

## تحلیل مکانی-زمانی گرد و غبار با استفاده از داده‌های سنجش ازدوری در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹

### (مطالعه موردی: استان خوزستان)

سروه داروند<sup>۱</sup>، حسن خسروی<sup>۲\*</sup>، هادی اسکندری دامنه<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه هرمزگان

Email: (hakhosravi@ut.ac.ir)

### چکیده

توفان گرد و غبار، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سامانه‌های جوی بوده و شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک خشک و بدون پوشش یا با پوشش سطحی کم و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود. در سال‌های اخیر وقوع این پدیده در خاورمیانه در حال افزایش است. توفان‌های گرد و غبار می‌تواند روی تغییرات آب و هوایی اثر گذاشته و سبب آسیب‌های جدی برای مردم شود. در این پژوهش برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی گرد و غبار در استان خوزستان از داده‌های سنجش از دوری سنجنده MODIS در بازه زمانی ماهانه برای سه ماه تابستان، ژوئن، جولای و آگوست با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر در طول دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۰ از ماهواره ترا استفاده گردید. روند تغییرات AOD استان خوزستان نشان داد از جنوب و جنوب غرب استان به سمت شمال استان مقدار شاخص افزایش یافته است که در سه ژوئن، جولای و آگوست و تابستان در همه سال‌ها مشهود بوده است. بررسی متوسط ماهانه و فصلی توفان گرد غبار نشان داد که از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۹ روند مثبت بوده از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۱۹ این روند کاهش و معنی دار بوده است. همچنین روند تغییرات ماهانه و فصلی نشان دهنده آن است که شیب تغییرات AOD در طول دوره مطالعه، افزایشی بوده است. بیشترین نوسانات مقدار AOD در طول سال‌های مختلف، در ماه ژوئن دیده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** گرد و غبار، استان خوزستان، AOD، تغییرات مکانی-زمانی، تصاویر ماهواره‌ای

### مقدمه

توفان گرد و غبار، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سامانه‌های جوی بوده و شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک خشک و بدون پوشش یا با پوشش سطحی کم و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود. در سال‌های اخیر وقوع این پدیده در خاورمیانه در حال افزایش است. توفان‌های گرد و غبار می‌تواند روی تغییرات آب و هوایی اثر گذاشته و سبب آسیب‌های جدی برای مردم شود (نبوی و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر تأثیری که تغییر الگوی بارش، افزایش دما و ناهنجاری در اقلیم در خشک شدن منابع آبی در سطح کشور ایران و جهان داشته‌اند، در دو دهه اخیر موج عظیمی در اجرای پروژه‌های سدسازی توسط وزارت خانه‌های نیرو و کشاورزی در کشور به وجود آمد که طی آن هزاران سد کوچک و بزرگ در کشور ساخته شد. عدم اجرای استراتژی علمی و کارشناسی در اجرای این پروژه‌ها موجب شد توازن هیدرولوژیکی و طبیعی کشور به هم بخورد و همزمان با تأثیر تغییر اقلیم موجبات خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها فراهم شود؛ که در نتیجه آن بحران‌های زیست‌محیطی همچون توفان‌های شن و نمک را به همراه داشته است (ولی زاده کامران و نامداری، ۱۳۹۹). همچنین برای مدیریت کاهش گرد و غبار و رسوب‌گذاری مرتبط با آن، تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی و مکانی کانون‌های گرد و غبار بسیار مفید خواهد بود (Kim و همکاران، ۲۰۱۵). سنجش از دور ماهواره‌ای به عنوان یک ابزار مناسب برای بررسی تغییرات شرایط سطح زمین در طول زمان می‌باشد. سنجنده‌های ماهواره‌ها به دلیل این که اندازه‌گیری‌های ثابت و قابل تکرار را در یک مقیاس مکانی فراهم می‌آورند، به خوبی برای این کار مناسب هستند (Wang و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین با توجه به آثار منفی توفان‌های گرد و غبار و همچنین روند افزایشی آن‌ها در غرب کشور و به ویژه استان خوزستان، تجزیه و تحلیل داده‌های آماری طولانی مدت، شناخت مناطق منشأ و مسیرهای ورودی گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور در شناسایی هر چه بیشتر این پدیده و پیش‌بینی زمان وقوع آن در برنامه‌ریزی‌های توسعه منطقه‌ای و ناحیه‌ای می‌تواند مؤثر واقع شود و به منظور یکی از شاخص‌های تصمیم‌گیری در مدیریت بحران توفان‌های گرد و غبار مورد استفاده قرار گیرد (نبوی و همکاران، ۱۳۹۸). محدودیت داده‌های ایستگاهی در برآورد شاخص کمی گرد و غبار، سطح وسیعی که توفان‌های گرد و غباری در بر می‌گیرند و تغییرات شدید این پدیده از نظر زمانی و

مکانی، باعث شده است که سنجش از دور ماهواره‌ای با توجه به تفکیک زمانی و مکانی قابل قبول بهترین ابزار برای بررسی توزیع مکانی و زمانی گرد و غبار محسوب شود ( ولی زاده کامران و نامداری، ۱۳۹۹). این در حالی است که استفاده از تصاویر ماهواره MODIS با ارائه پارامتر کمی AOD می‌تواند راهکار مناسبی برای ردیابی تغییرات کمی گرد و غبارها در مناطق مختلف باشد؛ به طوری که با پیش تغییرات زمانی و مکانی بلند مدت، موجبات درک بهتر تأثیرات گرد و غبار بر نواحی تحت تأثیر فراهم شود. پارامتر AOD به عنوان مهم‌ترین پارامتر ذرات معلق جو، بیانگر ستون یکپارچه‌ای از ذرات معلق اتمسفری از سطح زمین تا بالای اتمسفر است، شاخص بسیار مناسبی برای تشخیص غلظت ریزگردهای اتمسفری است ( Yu و همکاران، ۲۰۱۷). محصول AOD مستخرج از تصاویر سنجنده MODIS را می‌توان در دوره‌های نسبتاً دراز مدت ۱۶ ساله اخذ کرد ( Pu و Ginoux، ۲۰۱۸).

تاکنون برای شناسایی گرد و غبار، بررسی کانون‌های تولید گرد و غبار و تحلیل زمانی- مکانی گرد و غبار مطالعات زیادی صورت گرفته است، به ویژه آن‌که با پیشرفت علم و تولید داده‌های ماهواره‌ای شرایط به گونه‌ای فراهم شده است که در سطح جهانی امکان مطالعات علمی در این خصوص با دقت مناسب به وجود آمده است (Rashki و همکاران، ۲۰۱۶). در ایران هم در چند سال اخیر مطالعات آماری بسیاری در رابطه با توفان‌های گرد و غبار انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از بررسی تصاویر MODIS پدیده‌ی گرد و غبار را در نیمه غربی ایران در طول دوره‌ی آماری ۲۰۰۸-۱۹۷۹ ردیابی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که ایستگاه‌های دزفول و بوشهر دو مرکز بحرانی توفان گرد و غبار در نیمه غربی ایران هستند. از طرفی فصل بهار بیش‌ترین رخداد گرد و غبار را دارد. KIM (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر MODIS و داده‌های هواشناسی مسیرهای انتقال و نواحی منشأ توفان‌های گرد و غبار آسیایی مؤثر بر کره جنوبی را در طول یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۴-۱۹۶۵) بررسی نمود. نتایج نشان‌دهنده آن است که ۸۷ درصد از رخداد‌های گرد و غبار در فصل بهار بوده و طی سه سال ۲۰۰۲-۲۰۰۰ روند افزایشی شدید داشته است. Indoitu و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات زمانی و مکانی توفان‌های گرد و غبار را در آسیای مرکزی در طی هفت دهه‌ی اخیر مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که روند کاهش معنی‌داری در فراوانی توفان‌های گرد و غبار و تغییر قابل توجه در مناطق منابع فعال ریزگردها صورت گرفته است. Schepanski و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه خود را در منطقه صحاران که در جنوب بیابان صحرای آفریقا واقع است، انجام دادند. نتیجه نشان داد که تفکیک زمانی داده‌های ماهواره‌ای یک عامل مهم در تشخیص نواحی منبع گرد و غبار می‌باشد. همچنین زمان شروع توفان، نقش بسیار زیادی در چگونگی توزیع مکانی مناطق منشأ برداشت گرد و غبار دارد. Kang و همکاران (۲۰۱۸)، روند وقوع پدیده‌ی گرد و غبار را در فلات تبت در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که فراوانی این رویداد از دهه ۱۹۷۰ روند کاهش معنی‌داری داشته است. نبوی و همکاران (۱۳۹۸) ارزیابی توزیع زمانی توفان‌های گرد و غبار و ارتباط عوامل مؤثر با فراوانی وقوع این پدیده در استان خوزستان طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۰ انجام دادند. نتایج نشان داد در تمامی ایستگاه‌ها در سطوح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد، میان فراوانی روزهای غبارآلود با فراوانی روزهای حاوی جهت باد غالب منطقه رابطه مثبت وجود دارد. ۶۵ درصد وقایع گرد و غبار در شهرستان‌های اهواز و آبادان که در مرکز و جنوب غربی استان خوزستان واقع شده‌اند، رخ داده‌اند. دلیل این امر می‌تواند نزدیکی مکانی بیشتر این دو ایستگاه نسبت به کانون‌های گرد و غبار در داخل و خارج از کشور باشد. ولی زاده کامران و نامداری (۱۳۹۹) بررسی تغییرات زمانی و مکانی غلظت گرد و غبار در حوزه نفوذ ریزگردهای دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد نمودارها در مناطق مورد مطالعه روند مشابهی داشته‌اند و علی‌رغم وجود نوسانات سال به سال، روند افزایش کلی در غلظت گرد و غبارها دیده می‌شود و با افزایش بارش‌های فصل سرد و بارش‌های بهاره شیب تغییرات افزایشی AOD نیز کمتر شده است.

با توجه به آنچه بیان شد در این مطالعه تلاش شد توسط داده‌های میانگین ماهانه AOD و با بکارگیری روش‌های تفسیری نمودارها و نقشه‌ها، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی و توزیع مکانی این شاخص برای بررسی گرد و غبار استان خوزستان انجام پذیرد.

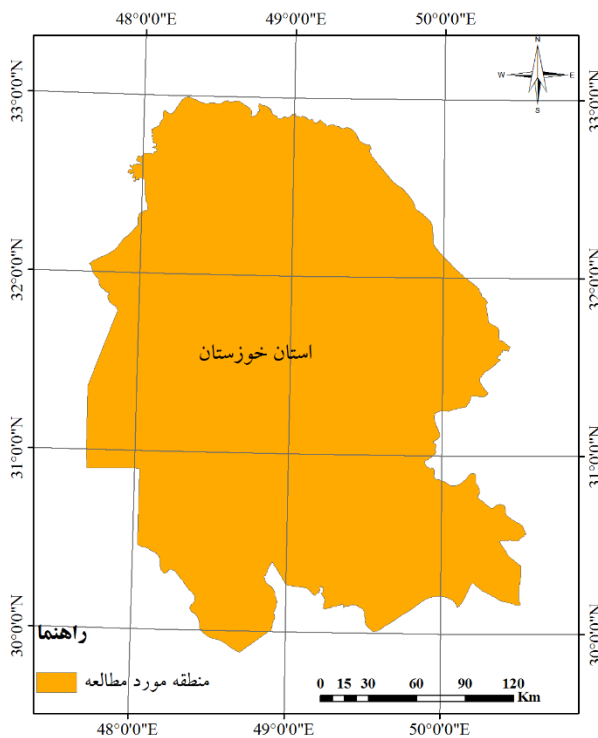
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان خوزستان می‌باشد. این استان مساحتی بالغ ۶۴ هزار و ۶۶۴ کیلومتر بین ۲۹ درجه ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ



در جنوب ایران قرار دارد. استان خوزستان از شمال به استان لرستان از جنوب به خلیج فارس از مشرق به استان چهارمحال بختیاری و از غرب به عراق و استان ایلام محدود می‌شود. از نظر تقسیمات کشوری و جغرافیایی شامل ۱۶ شهرستان می‌باشد. جمعیت استان خوزستان طبق آخرین سرشماری ۴ میلیون و ۴۲۰ هزار نفر است (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴ و نبوی و همکاران، ۱۳۹۹) شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان خوزستان را نشان می‌دهد.



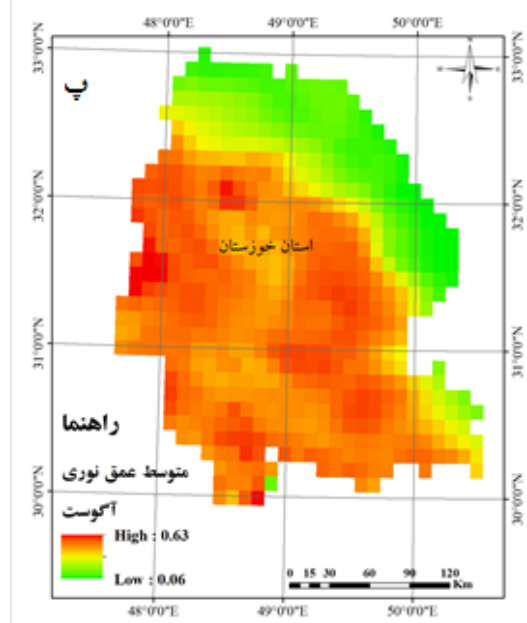
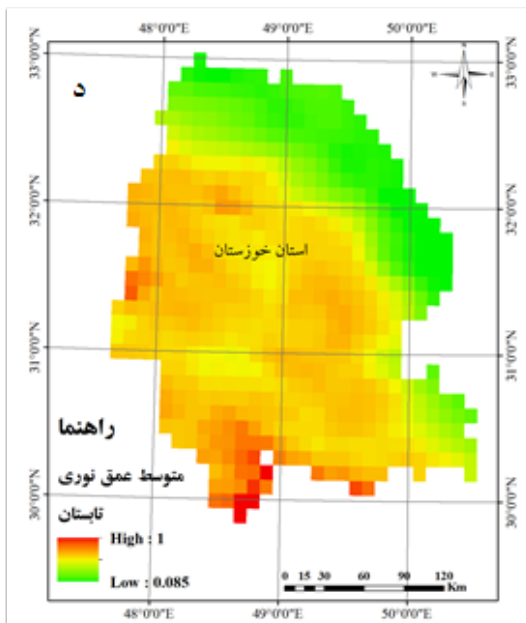
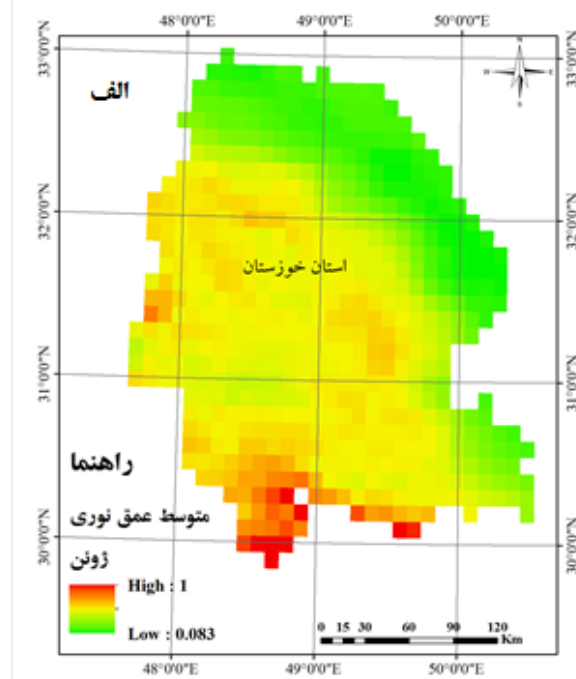
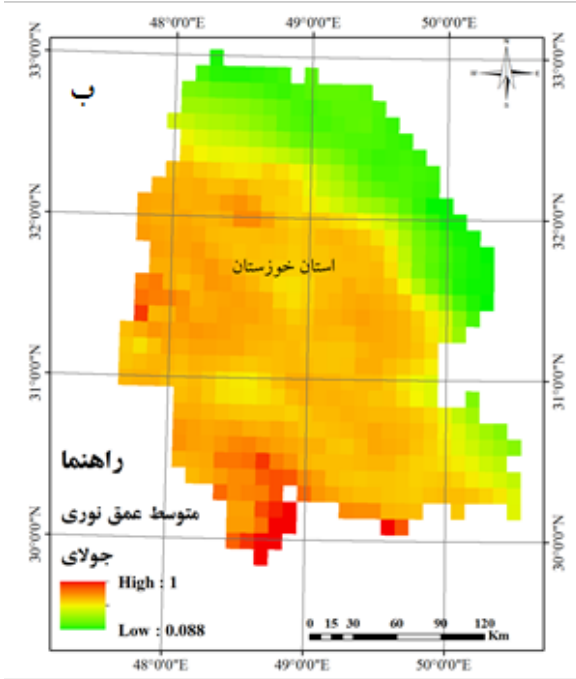
شکل ۱. موقعیت جغرافیای استان خوزستان

در این پژوهش از داده‌های سنجنش از دور برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی گرد و غبار در استان خوزستان استفاده شد. این محصولات شامل محصول AOD ماهانه سنجنده MOD04\_L2 ماهواره ترا با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است. این داده‌ها با توان تفکیک یک کیلومتر از پایگاه اطلاعاتی ناسا، در مقیاس ماهانه با فرمت HDF دانلود شد (<http://ladsweb.nasacom.nasa.gov/data>). جهت نمایش تغییرات مکانی گرد و غبار به صورت نقشه از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. پس از اخذ داده‌های ماهانه مودیس در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ برای سه ماه تابستان، تصاویر AOD زمین مرجع شد و تغییر فرمت داده‌ها از فرمت HDF به فرمت TIF توسط افزونه مربوط به این تصویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد و به فرمت قابل پردازش در محیط ArcGIS تغییر پیدا کرد. تصویر AOD برای هر ماه برای استان خوزستان بریده شد و میانگین ماهانه و متوسط فصل تابستان غلظت گرد و غبار در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه استخراج گردید. بر اساس اعداد استخراج شده از متوسط AOD در هر پلیگون، نمایش تغییرات زمانی و کشف روند تغییرات AOD در قالب نمودارهای توالی زمانی میسر گردید، به طوری که بتوان با تفسیر خصوصیات هر یک از نمودارها میانگین، روند تغییرات داده‌ها را تحلیل کرد. با بررسی وضعیت تغییرات این امکان فراهم می‌شود که وضعیت بحرانی استان از نظر میزان تاثیر پذیرفتن، از توفان‌های گرد و غباری باهم مقایسه کرد.

## نتایج و بحث

با هدف نمایش و توزیع مکانی غلظت گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه، نقشه میانگین تغییرات استخراج شد. و هر نقشه بر اساس حداقل و حداکثر عمق نوری طبقه‌بندی شد (شکل ۲). بدین ترتیب به طور نسبی نحوه تغییرات گرد و غبار می‌توان بررسی کرد و مقایسه مکانی شدت تغییرات AOD را انجام داد. در شکل ۲، الف متوسط تغییرات عمق نوری در ماه ژوئن نشان می‌دهد از لحاظ مکانی حداکثر مقدار این شاخص که حدود ۱ می‌باشد در قسمت جنوبی استان دیده شده است. متوسط تغییرات عمق نوری در ماه جولای نشان می‌دهد

حداکثر مقدار آن مشابه ماه قبل در قسمت‌های جنوبی استان می‌باشد شکل ۲، ب. متوسط تغییرات عمق نوری در ماه آگوست حداقل مقدار آن در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی است و بیشترین مقدار در قسمت جنوبی استان است شکل ۲، پ. متوسط تغییرات عمق نوری سه ماه تابستان را نشان می‌دهد به طوری که هرچند به سمت مناطق جنوبی می‌رویم مقدار آن افزایش پیدا می‌کند شکل ۲، د.



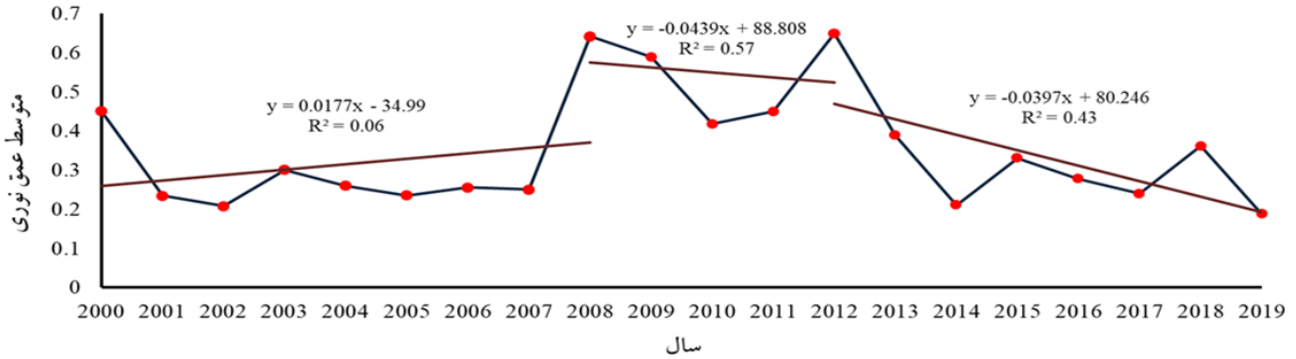
شکل- تغییرات مکانی شاخص AOD برای ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و تابستان به ترتیب در شکل ۲، الف، ب، پ و د در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹

### تغییرات AOD در مقیاس مختلف زمانی

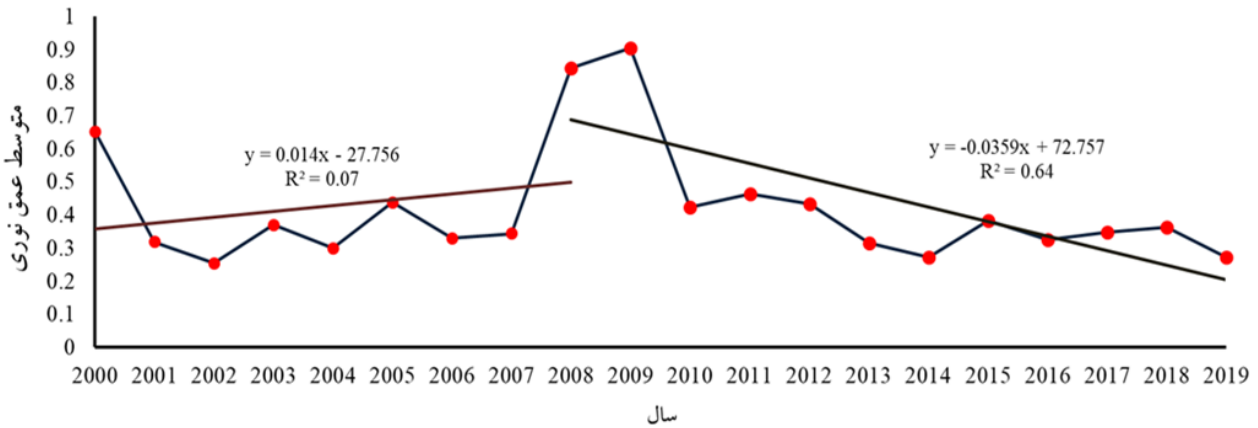
نمودار تغییرات غلظت برای سه ماه ژوئن، جولای و آگوست و میانگین فصلی برای استان خوزستان در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد. شکل ۳ روند تغییرات میانگین ماه ژوئن را در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ روند افزایشی و از بازه ۲۰۰۹ به بعد روند کاهشی و معنی دار بوده به طوری که  $R^2$  آن برابر با ۰/۵۷ بوده است. شکل ۳ روند تغییرات میانگین ماه جولای از سال ۲۰۰۰



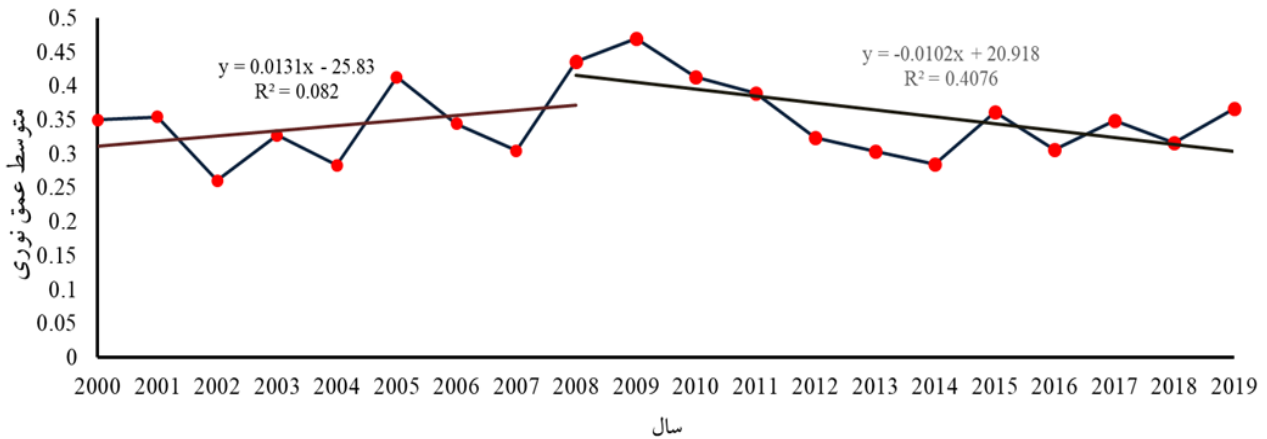
تا ۲۰۰۹ روند افزایشی بوده و از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ روند کاهشی و معنی دار است و مقدار  $R^2$  برابر ۰/۶۴ بوده است. شکل ۳ روند تغییرات میانگین ماه آگوست را در طول دوره‌ی مطالعاتی نشان می‌دهد مقدار AOD افزایش یافته است اما تغییرات آن مشابه تغییرات دو ماه قبل می‌باشد و از سال ۲۰۰۹ دچار روند کاهشی شده است. به طور کلی می‌توان گفت شباهت زیادی میان روند تغییرات در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست وجود دارد از سال ۲۰۰۹ به بعد دچار یک روند کاهشی چشمگیری شده است. همچنین روند تغییرات مشاهده شده در سه ماه، نشان دهنده آن است که شیب تغییرات AOD در طول دوره مطالعه، افزایشی بوده است. بیشترین نوسانات مقدار AOD در طول سال‌های مختلف، در ماه ژوئن دیده شده است.



شکل ۳. نمودار متوسط عمق نوری ماه ژوئن در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

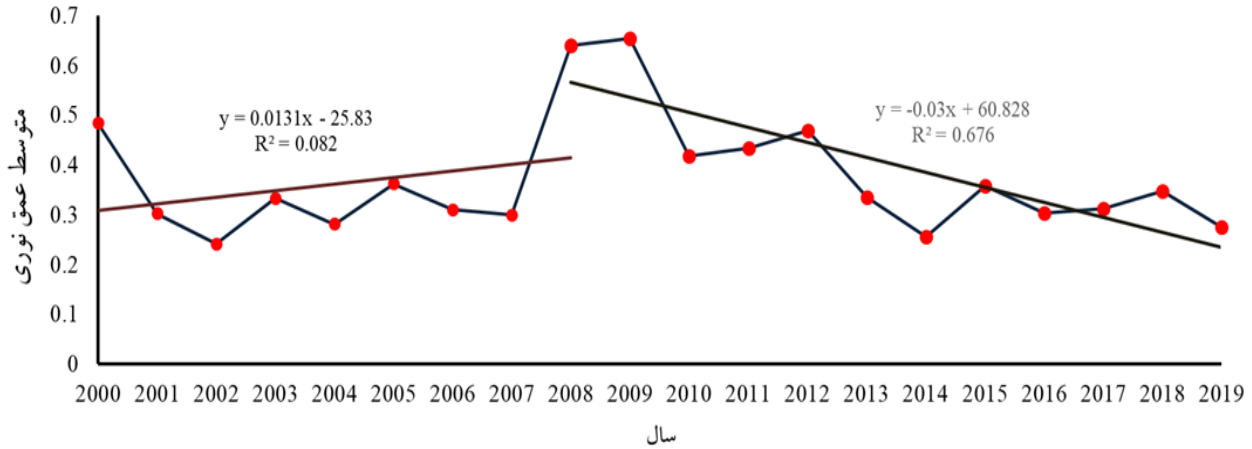


شکل ۴. نمودار متوسط عمق نوری ماه جولای در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰



شکل ۵. نمودار متوسط عمق نوری ماه آگوست در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

تغییرات میانگین فصلی (شکل ۶) همانند نمودار میانگین ماهانه روند بسیار مشابه تغییرات غلظت گرد و غبار در خوزستان نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت روند کلی افزایشی است. از سال ۲۰۰۹ به بعد مقدار AOD با کاهش معنی‌داری همراه بوده است.



شکل ۶. نمودار متوسط عمق نوری ماه آگوست در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش از تصویر شاخص AOD سنجنده مودیس ماهانه برای بررسی تغییرات ماهانه و فصل تابستان جهت بررسی نحوه تغییرات گرد و غبار در دوره زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ در استان خوزستان استفاده شد. مقدار AOD در سه ماه تابستان مشابه بوده است به طوری که حداکثر مقدار آن در سال ۲۰۰۹ است و با توجه به مقدار  $R^2$  به دست آمده می‌توان گفت به صورت معنی‌دار از سال ۲۰۰۹ به بعد دچار روند کاهشی شده است. با توجه به نقشه‌های مکانی، میانگین عمق نوری در قسمت‌های جنوبی استان حداکثر بوده است و هرچه به سمت مناطق شمالی حرکت کنیم از مقدار آن کاسته می‌شود. در میان سه ماه تابستان ماه جولای حداکثر مقدار AOD را نشان داده است. پیشنهاد می‌شود با توجه به داده‌های میدانی و ایستگاه‌های موجود در منطقه توفان‌های گرد و غبار را شناسایی و با استفاده از داده ماهواره‌ی مودیس با رزولیشن مکانی و زمانی مناسب پدیده مد نظر منشأیابی، ردیابی و عوامل موثر بر آن را مورد بررسی قرار داد.

## منابع

۱. مهربانی، ش.، سلطانی، س.، جعفری، ر.، ۱۳۹۴. بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگرد (منطقه مورد مطالعه: استان خوزستان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دوره: ۱۹. شماره ۷۱: ص ۸۰-۶۹.
۲. عزیزی، شمسی پور، میری، صفرراد، قاسم، علی اکبر، مرتضی، طاهر. ۱۳۹۳. تحلیل آماری-همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران. مجله محیط شناسی، دوره ۳۸. شماره ۶۳. ص ۱۳۴-۱۲۳.
۳. نبوی، س.، مرادی، ح.، شریفی کیا، م. ۱۳۹۸. ارزیابی توزیع زمانی توفان‌های گرد و غبار و ارتباط عوامل مؤثر با فراوانی وقوع این پدیده در استان خوزستان. نشریه اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۸. شماره ۱۱۱. ص ۲۰۳-۱۹۱.
۴. ولی زاده کامران، خ.، نامداری، س. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات زمانی و مکانی غلظت گرد و غبار در حوزه نفوذ ریزگردهای دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی. دوره ۲۴. شماره ۷۲. ص ۴۴۶-۴۲۷.

1. Indoitu, R., Orlovsky, L., & Orlovsky, N. (2014). Dust storms in Central Asia: spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*, 85, 62-70.
2. Kang, L., Huang, J., Chen, S., & Wang, X. (2018). Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961–2010. *Atmospheric Environment*, 125, 188-198.
3. Kim, J. (2010). Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004). *Atmospheric Environment*, 42(19), 4778-4789.
4. Kim, D.; M. Chin; H. Bian; Q. Tan; M.E. Brown; T. Zheng; R. You; T. Diehl; P. Ginoux, and T. Kucsera.
5. 2015. The effect of the dynamic surface bareness on dust source function, emission, and distribution. *Journal of*



# چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



- Geophysical Research: Atmospheres, 118: 871-886.
- Pu, B., Ginoux, P. (2018), "The impact of Pacific Decadal Oscillation on springtime dust activity in Syria", Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2016-592, Manuscript under review for journal Atmos. Chem. Phys.
  - Rashki, D., Kaskaoutis, G., Eriksson, P. G., de W., Rautenbach, C. J., Flamant, C., Abdi Vishkaee, F. (2016), "Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations", Nat Hazards, Vol:71: PP 563–585.
  - Schepanski, K., Tegen, I., & Macke, A. (2015). Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas. Remote Sensing of Environment, 123, 90-97.
  - Wang, S.; X. Mo; S. Liu; Z. Lin, and S. Hu. 2018. Validation and trend analysis of ECV soil moisture data on cropland in North China Plain during 1981–2010. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 48: 110-121.
  - Yu, M., Notaro, Y. Kalashnikova O. V. (2017), "Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought", J. Geophys. Res. Atmos., Vol: 120, PP 10,229–10,249.