

پایش گردوغبار و بررسی ارتباط آن با عوامل توپوگرافی، اقلیمی و پوشش گیاهی در استان خوزستان

کاظم رنگزن،* فاطمه بالویی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷

چکیده

طوفان گردوغبار، فرایند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سامانه‌های جوّی قرار دارد و اساساً شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک برهنه و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود. محصولات آئروسول MODIS، پرمصرف‌ترین محصولات در مقیاس منطقه‌ای و جهانی در مطالعات گردوغبار هستند. این مطالعه با هدف پایش گردوغبار و بررسی ارتباط آن با عوامل مختلف توپوگرافی (درجه شیب، جهت شیب و ارتفاع)، پوشش گیاهی و اقلیم (عامل بارش) با استفاده از رگرسیون خطی و به کمک تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در استان خوزستان صورت گرفت. نتایج ارتباط گردوغبار با عوامل ذکر شده نشان داد از بین تمام عوامل، ارتفاع و جهت شیب بیشترین همبستگی به ترتیب (۸۳ درصد) و (۷۲ درصد) را با پدیده گردوغبار در جهت عکس دارند؛ به طوری که افزایش در مقدار ارتفاع باعث کاهش گردوغبار و جهت‌های رو به جنوب و مناطق هموار، افزایش در مقدار این پدیده را خواهند داشت. بررسی معناداری همبستگی میان عامل گردوغبار با فاکتورهای درجه شیب، جهت شیب، بارش و ارتفاع با استفاده از آماره p-value و در سطح ۹۵ درصد اطمینان انجام گرفت. مقدار p-value به ترتیب برای هر کدام از عوامل مذکور به ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰، ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۴ به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده، بین گردوغبار و عوامل درجه شیب، جهت شیب، بارش و ارتفاع رابطه معناداری برقرار است. نتایج این پژوهش نشان داد که با بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان به شناسایی کانون‌های گردوغبار به‌عنوان ابزار ارزشمندی به‌منظور مبارزه با عامل بیابان‌زایی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: مادیس، عمق اپتیکی آئروسول (AOD)، سری زمانی، توپوگرافی، اقلیم، پوشش گیاهی.

۱. استاد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، kazemrangzan@scu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز است.

مقدمه

ذرات معلق در هوا نقش مهمی در تعادل تشعشعات جوی و تغییرات آب‌وهوایی دارند. رابطه بین ذرات معلق در هوا و سیستم‌های آب‌وهوایی با افزایش درک ما از این موضوعات به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (ژئو و همکاران، ۲۰۲۲). منابع طبیعی رایج در ایجاد آلودگی‌های هوا عبارت‌اند از: گردوغبار بیابان، فوران‌های آتش‌فشانی، آتش‌سوزی، نمک دریا و ترکیبات زیست‌زا از پوشش گیاهی و منابع انسانی شامل سوزاندن زیست‌توده از مناطق کشاورزی، احتراق سوخت فسیلی، آلودگی صنعتی، انتشار گازهای خروجی از آگزوز ترافیک و بهره‌برداری غیرمنطقی از منابع زمین (چن و همکاران، ۲۰۲۱). طوفان گردوغبار، فرایند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سامانه‌های جوی قرار دارد و اساساً شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک برهنه و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود (می و همکاران، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر، خطر گردوغبار از نظر گسترش فضایی و فراوانی رخداد، به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. طوفان گردوغبار به‌طور معمول در مناطق خشک عرض‌های معتدله، حاره و جنب حاره، و مناطقی با میانگین بارش سالانه ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر از سایر مناطق مشهود بوده است؛ در نتیجه سرعت زیاد باد بر روی سطح خاک بدون پوشش و مستعد، سبب فرسایش بادی می‌گردد (گودی، ۲۰۰۹). علاوه‌بر مسئله پوشش گیاهی که تأثیر بسزایی در میزان گردوغبار دارد، گردوغبار ناشی از فرسایش بادی، چالش مهم مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با تغییرات آب‌وهوایی در سال‌های اخیر تشدید شده است (ادیب، ۲۰۱۸). نعیمی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی و شناخت عوامل اقلیمی از جمله باد، رطوبت، تبخیر و تعرق، دما و بارش و تأثیر آن بر بروز تشدید پدیده گردوغبار و تحریک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان‌های غرب استان خراسان رضوی پرداختند. بررسی

روند تغییرات اقلیمی حاکی از مساعد بودن شرایط برای افزایش ریزگردها بود. غلامی و همکاران (۲۰۲۱) ارتباط میان گردوغبار را با استفاده از شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) و عوامل بارش و پوشش گیاهی با استفاده از شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که ارتباط معنی‌داری در بیشتر شهرستان‌های استان خراسان رضوی بین گردوغبار با پوشش گیاهی و بارش وجود دارد. جنت رستمی و همکاران (۲۰۰۱)، به ارزیابی نقش پوشش گیاهی و عوامل اقلیمی در دشت‌های جنوبی البرز بر توزیع زمانی و مکانی پدیده گردوغبار پرداختند. نتایج نشان داد بین عوامل اقلیمی و پوشش با گردوغبار ارتباط وجود دارد. کروساکی و میکامی^۶ (۲۰۰۵) به بررسی رخداد گردوغبار و ارتباط آن با سطح باد و تغییرات پوشش گیاهی در شرق آسیا مطالعاتی انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با افزایش سرعت باد و کاهش پوشش گیاهی میزان برداشت گردوغبار افزایش یافت. دیگر مطالعات (فن^۷ و همکاران، ۲۰۱۴؛ اوانس^۸ و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوربان^۹ و همکاران؛ ۲۰۰۹؛ کنگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۱)، نیز بین عوامل اقلیمی و پوشش گیاهی با پدیده گردوغبار ارتباط معناداری یافتند. AOD معیاری است که بیان‌کننده تضعیف رادیانس ورودی به اتمسفر بر اثر جذب و پراکنش توسط ذرات معلق در یک ستون عمودی است، که می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای آن را محاسبه کرد (رنگزن و همکاران، ۲۰۱۴). گردوغبار عمده‌ترین نوع از آئروسول‌ها هستند که انتقال انرژی تابشی را به‌صورت مستقیم (جذب و پخش تابش) و غیرمستقیم (ویژگی‌های میکروفیزیک، تشکیل هسته تراکم و نور) تحت تأثیر قرار می‌دهند (محمدپور و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور کلی آئروسول‌ها و به‌ویژه گردوغبار از نظر تغییراتی که در فیزیک و شیمی اتمسفر ایجاد می‌کنند، اقلیم

۶ Krosaki and Mikami

۷ Fan

۸ Evans

۹ Urban

۱۰ King

۱ Zou

۲ Chen

۳ Mi

۴ Gaudie

۵ Aib

(۲۰۲۱)، رنگزن و همکاران (۲۰۲۲)، پن^۷ و همکاران (۲۰۱۰)، مائو^۸ و همکاران (۲۰۱۴)، ژونگ^۹ و همکاران (۲۰۱۵)، آمازروئی^{۱۰} (۲۰۱۹)، شارما^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۲) و لی^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۳). در چند سال اخیر، کشور ایران به‌ویژه استان خوزستان شاهد افزایش قابل توجه در رخداد گردوغبار بوده است؛ به طوری که تعداد روزهای غبارآلود ناشی از ورود امواج گردوغبار فرامنطقه‌ای از دوازده روز در سال ۱۹۹۸ به ۱۳۶ روز در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته و منجر به کاهش محسوس کیفیت هوا شده (رنگزن و همکاران، ۲۰۱۴) و از آنجاکه تحقیقات منسجمی با بررسی عوامل مختلف توپوگرافی، پوشش گیاهی و اقلیمی به‌ویژه در استان خوزستان صورت نگرفته است، بررسی عوامل تأثیرگذار، در شناسایی اولویت‌بندی کنترل کانون‌های گردوغبار از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین این بررسی می‌تواند ابزاری مفید در مدیریت بحران گردوغبار باشد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳، در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است (شکل ۱). در بین شهرهای خوزستان، بیشترین ارتفاع از سطح دریا را شهر ایذه با ۷۶۰ متر و کمترین ارتفاع را شهر هندیجان با ۲ متر دارد. علاوه بر گردوغبار با منشأ خارجی سطح وسیعی از استان خوزستان تحت پوشش کانون‌های بیابانی فعال است، که این امر باعث ایجاد طوفان‌های گردوغبار محلی می‌گردد (رنگزن و همکاران، ۲۰۱۴).

یک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (آی پی سی سی^۱، ۲۰۱۳). البته مقدار AOD ثبت شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله رطوبت نسبی جو، ساختار کانی‌شناسی ذرات، شرایط هیگروسکوپی ذرات و... است (رنگزن و همکاران، ۲۰۱۴). فناوری سنسور از دور در شناسایی منشأ گردوغبار و مشخصه‌های آن نقش بسزایی دارد (بدریناث^۲ و همکاران، ۲۰۱۱؛ گی^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). بخش عمده‌ای از تحقیقات در ارتباط با گردوغبار و ویژگی‌های آن توسط داده‌های حاصل از ماهواره و سنجنده‌ها مانند MODIS، TOMS و MISR انجام شده است (کاسکیوتس^۴ و همکاران، ۲۰۱۲). در میان این سنسورهای ماهواره‌ای، محصولات آئروسول MODIS پرکاربردترین محصولات در مقیاس منطقه‌ای و جهانی هستند. بازیابی‌های آئروسول MODIS عمدتاً براساس سه الگوریتم تولید می‌شوند: الگوریتم‌های هدف تیره (DT)، آبی عمیق (DB) و الگوریتم‌های MAIAC (کوین^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). از بین الگوریتم‌های ذکر شده، الگوریتم MAIAC می‌تواند ویژگی‌های آئروسول دقیق‌تری را ارائه دهد و نظارت منطقه‌ای آئروسول را در مقیاس‌های فضایی دقیق‌تر برآورده کند (تائو^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

پارامتر AOD در طول موج ۰/۵ میکرون برای ردیابی ذرات معلق موجود بر فراز اقیانوس‌ها و خشکی هاست. این پارامتر، عددی بی‌بعد بین ۰ تا ۵ بوده، که مشخص‌کننده میزان ممانعت ذرات معلق از انتقال نور است (ملکی و همکاران، ۲۰۲۲). از جمله منابعی که با بررسی آلودگی هوا با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفته است، عبارت‌اند از: مطالعات رنگزن و همکاران (۲۰۱۴)، ارجمند و همکاران (۲۰۱۸)، فاریابی و همکاران (۲۰۱۹)، محمدی و همکاران (۲۰۱۹)، محمدپور و همکاران (۲۰۲۰)، رنگزن و همکاران (۲۰۲۱)، جعفری و علیدادی (۲۰۲۲)، عراقی‌زاده و مسعودیان

۷ Pan

۸ Mo

۹ Zng

۱۰ Amazroui

۱۱ Sharma

۱۲ Lin

۱ IPCC

۲ Bdarinath

۳ Ge

۴ Kiskaoutis

۵ Qin

۶ Tao

۱۹۹۰).

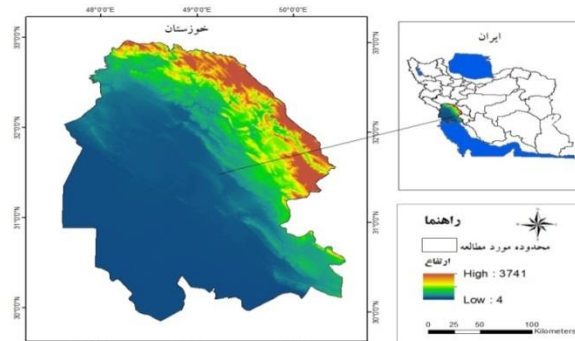
عوامل اقلیمی و توپوگرافی

در مطالعه حاضر از بین عوامل اقلیمی، داده‌های سالانه مربوط به بارندگی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک آقاجاری، بندر ماهشهر، دهدز، هندیجان، حسینه، ایذه، لالی، امیدیه آقاجاری، رامهرمز، شادگان، آبادان، بهبهان، اهواز، شوشتر، شوش، صفی‌آباد، مسجدسلیمان، اهواز (کشاورزی) و گتوند به‌منظور بررسی تأثیر بارش بر میزان تغییرات گردوغبار در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های استفاده‌شده در جدول ۱ نشان داده شده است. اطلاعات مربوطه با همکاری سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. همچنین DEM ۹۰ متری از سنجنده SRTM سایت زمین‌شناسی آمریکا (<http://earthexplorer.usgs.gov>) به‌منظور تهیه لایه‌های درصد شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی تهیه گردید. شکل ۲، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

Table (1): Specifications of the used stations

| ردیف | نام ایستگاه | نوع ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| ۱ | آبادان | سینوپتیک | 48.21 | 30.37 |
| ۲ | آقاجاری | سینوپتیک | 49.82 | 30.69 |
| ۳ | اهواز | سینوپتیک | 48.74 | 31.34 |
| ۴ | اهواز (کشاورزی) | سینوپتیک | 48.55 | 31.25 |
| ۵ | بندر ماهشهر | سینوپتیک | 49.15 | 30.54 |
| ۶ | بهبهان | سینوپتیک | 50.21 | 30.60 |
| ۷ | بستان | سینوپتیک | 48.01 | 31.70 |
| ۸ | دهدز | سینوپتیک | 50.28 | 31.70 |
| ۹ | گتوند | سینوپتیک | 48.80 | 32.22 |
| ۱۰ | هندیجان | سینوپتیک | 49.70 | 30.24 |
| ۱۱ | ایذه | سینوپتیک | 49.85 | 31.84 |
| ۱۲ | مسجدسلیمان | سینوپتیک | 49.24 | 31.98 |
| ۱۳ | امیدیه | سینوپتیک | 49.68 | 30.74 |
| ۱۴ | رامهرمز | سینوپتیک | 49.59 | 31.27 |
| ۱۵ | صفی‌آباد | سینوپتیک | 48.43 | 32.25 |
| ۱۶ | شوشتر | سینوپتیک | 48.83 | 32.05 |
| ۱۷ | حسینه | سینوپتیک | 49.70 | 30.24 |
| ۱۸ | لالی | سینوپتیک | 49.09 | 32.33 |
| ۱۹ | شادگان | سینوپتیک | 48.64 | 30.65 |
| ۲۰ | شوش | سینوپتیک | 48.23 | 32.19 |



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Study area

عمق اپتیکی آئروسول (AOD)

عمق اپتیکی آئروسول (AOD)، یکی از پارامترهای بسیار مهم در زمینه تحقیقات مربوط به گردوغبارهاست. عمق اپتیکی آئروسول در واقع به پراکنش آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق استان خوزستان است که با استفاده از پارامتر AOD محصول مادیس وضعیت گردوغبار آن مورد بررسی قرار گرفت. محصول داده MCD19A2 V6 یک محصول مادیس Terra و Aqua ترکیبی چندزاویه از سطح ۲ شبکه‌بندی شده با تصحیح اتمسفر (MAIAC) عمق اپتیکی آئروسول (AOD) است که با دقت مکانی ۱ کیلومتر تولید می‌شود. برای این منظور داده‌های روزانه MCD19A2 AOD در محدوده ۰/۵۵ میکرومتر مربوط به باند سبز برای فصل تابستان هر سال در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ به دست آمد. برای هر سال براساس کل تصاویر اخذشده که حدود ۶۰۰ تصویر در هر سال است، میانگین عمق اپتیکی آئروسول در بستر سامانه گوگل ارث انجین به دست آمد.

شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

به‌منظور بررسی ارتباط بین عوامل محیطی از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. برای هر سال براساس کل تصاویر اخذشده، که حدود ۲۴ تصویر در هر سال است، میانگین شاخص پوشش گیاهی در بستر سامانه گوگل ارث انجین به صورت سری زمانی محاسبه شد. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های شناخته‌شده در زمینه مطالعات پوشش گیاهی است (کاسا،

پوشش گیاهی، از رگرسیون خطی استفاده شد. در این روش، ارتباط خطی بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ که شکل عمومی رابطه آن به شرح زیر است:

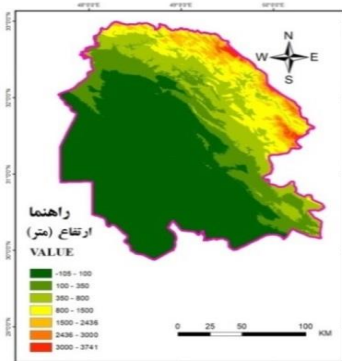
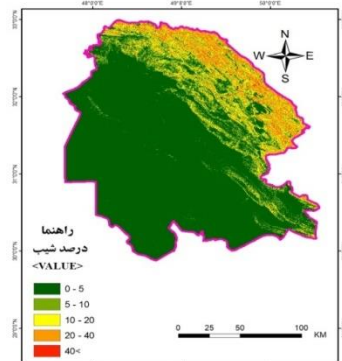
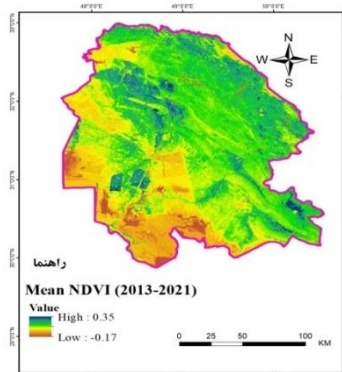
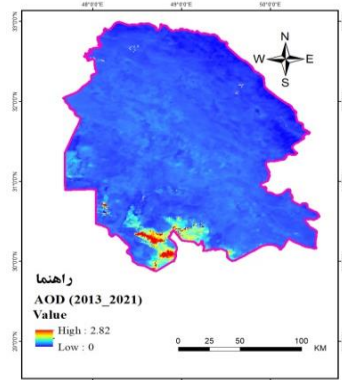
$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

در رابطه بالا، β ضریب رگرسیون بوده، x_i و k متغیرها هستند و ε خطای رگرسیون است (بیانکوفری، ۲۰۱۵).

از P-value برای تعیین احتمال مشاهده یک نتیجه خاص یا نتایج بدتر از آن با فرض درست بودن فرضیه صفر استفاده می‌شود. فرضیه صفر عبارتی است که فرض می‌کند هیچ تفاوت یا رابطه‌ای بین دو گروه یا دو متغیر وجود ندارد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر نخست برای ارزیابی وضعیت گردوغبار، اقدام به اخذ محصول عمق اپتیکی آئروسول از سنجنده مادیس شد. برای بارسازی و پایش هرچه بیشتر پدیده گردوغبار، با توجه به اینکه در استان خوزستان، تمرکز گردوغبار اغلب به اواخر فصل بهار و تابستان اختصاص دارد، ماه‌های خرداد تا شهریور هر سال به منظور بررسی انتخاب شد. شاخص AOD، یک ابزار در تحلیل گردوغبار است. پس از دانلود تصاویر، دوره آماری ۹ ساله (۲۰۱۳-۲۰۲۲) به عنوان دوره آماری مورد مطالعه در استان خوزستان در نظر گرفته شد. میانگین عمق اپتیکی گردوغبار هر سال براساس تصاویر اخذ شده همان سال به دست آمد. شکل (۳) و (۴) میانگین رویدادهای گردوغبار را نشان می‌دهد. بررسی شکل (۳) و (۴) نشان می‌دهد عمده مقدار پراکنش گردوغبار در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ بود؛ به طوری که قسمت اعظمی از استان با پدیده گردوغبار در این سال‌ها روبه‌رو بوده است. بررسی وضعیت گردوغبار در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ نشان داد گرچه قسمت بیشتر استان خوزستان با میانگین نسبتاً پایین AOD مواجه است، بیشینه مقدار AOD مربوط به کلاس‌های با ارزش ۰/۷۱ تا ۱/۵ و بیش از ۱/۵ واقع در جنوب غربی استان است. حداکثر مقدار AOD



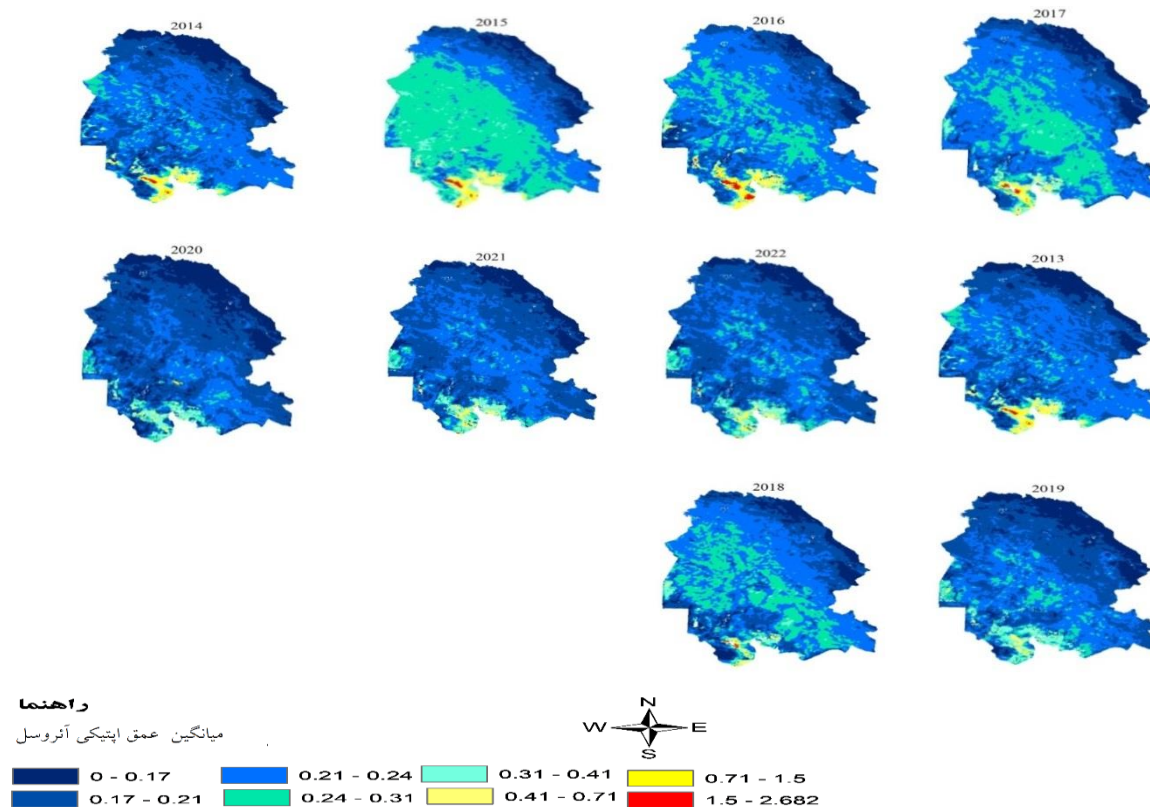
شکل (۲): داده‌های مورد استفاده

Figure (2): used Data

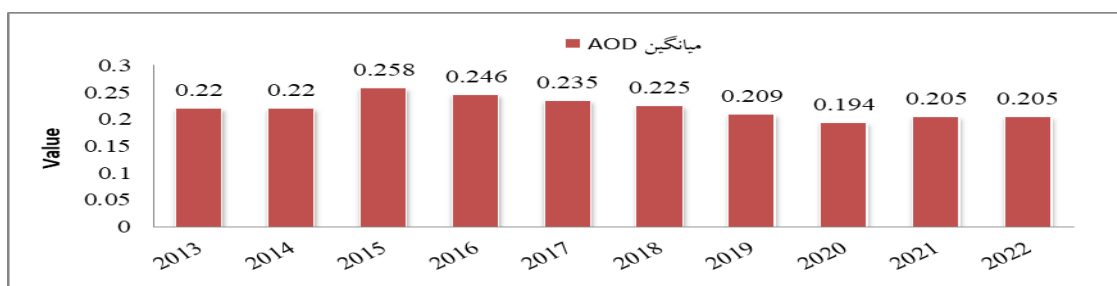
رگرسیون خطی

در این پژوهش، برای بررسی ارتباط میان عمق اپتیکی آئروسول با پارامترهای جهت شیب، درصد شیب، ارتفاع، بارش و

در این سال‌ها ۲/۸۲ بود و با توجه به اینکه AOD بین صفر تا ۵ است، در سال‌های ذکر شده مناطق جنوبی با میانگین بالای پدیده گردوغبار روبه‌رو بوده است. براساس گزارشی که توسط سازمان هواشناسی کشور اعلام شده، میانگین روزهای غبارآلود در طی ۵۰ سال گذشته در مناطق جنوبی استان افزایش یافته و به‌ویژه شهرستان آبادان به‌طور میانگین ۷۶ روز در طول سال دارای پدیده گردوغبار بوده است (شاهسونی و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل (۳): پراکنش مکانی-زمانی میانگین عمق اپتیکی آئروسول (AOD)
Figure (3): Spatio-temporal distribution of average aerosol optical depth (AOD)



شکل (۴): نمودار میانگین عمق اپتیکی آئروسول (AOD)
Figure (4): Average Aerosol Optical Depth (AOD) diagram

محیطی و اقلیمی با پدیده گردوغبار شد. به‌منظور بررسی اثر میزان تغییرات پوشش گیاهی بر گردوغبار، سری زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ انتخاب شد. میانگین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای هر سال به‌صورت جداگانه با استفاده از ماهواره لندست ۸ در بستر سامانه ارث انجین محاسبه شد. با ایجاد

پدیده طوفان‌های گردوغبار از دو جنبه اصلی قابل بررسی است: ۱. بررسی زمانی مکانی شدت و فراوانی؛ ۲. بررسی طوفان‌های گردوغبار در ارتباط با پارامترهای اقلیمی (ملکی و همکاران، ۲۰۲۲). پس از استخراج اطلاعات مربوط به سری زمانی و مکانی گردوغبار، اقدام به بررسی همبستگی عوامل

بهبهان، باوی، شوشتر و امیدیه دارای بالاترین میانگین AOD است. همان‌طور که در نمودار شکل (۷) قابل ملاحظه است، بیشترین میزان NDVI مربوط به شهرستان اندیکا و ایذه با کمترین مقدار گردوغبار است. آبادان، شادگان و هندیجان بارزش پایین شاخص پوشش گیاهی دارای حداکثر مقدار در شاخص AOD هستند. رابطه بین نوع پوشش گیاهی و گردوغبار نشان‌دهنده این واقعیت است که انواع مختلف پوشش گیاهی با تفاوت در تراکم و ساختار اثرات متفاوتی دارند؛ تراکم پوشش گیاهی از سطح در برابر کاهش اثر باد محافظت می‌کند و یا وجود درختان منجر به زبری سطح می‌شود، که انرژی باد سطحی و در نتیجه انتشار گردوغبار را کاهش می‌دهد (انگلتیدتر^۱ و همکاران، ۲۰۰۳).

در جدول (۲)، به ترتیب از بیشترین میزان همبستگی بین دو شاخص تا کمترین را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که قابل مشاهده است، بیشترین مقدار همبستگی برای شهرستان هویزه (۰/۵۶ درصد) و کمترین آن برای شهرستان شوش (۰/۰۱ درصد) بود.

جدول (۲): همبستگی شاخص گردوغبار با پوشش گیاهی از سال

۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲

Table (2): Correlation of dust index with vegetation from 2013 to 2022

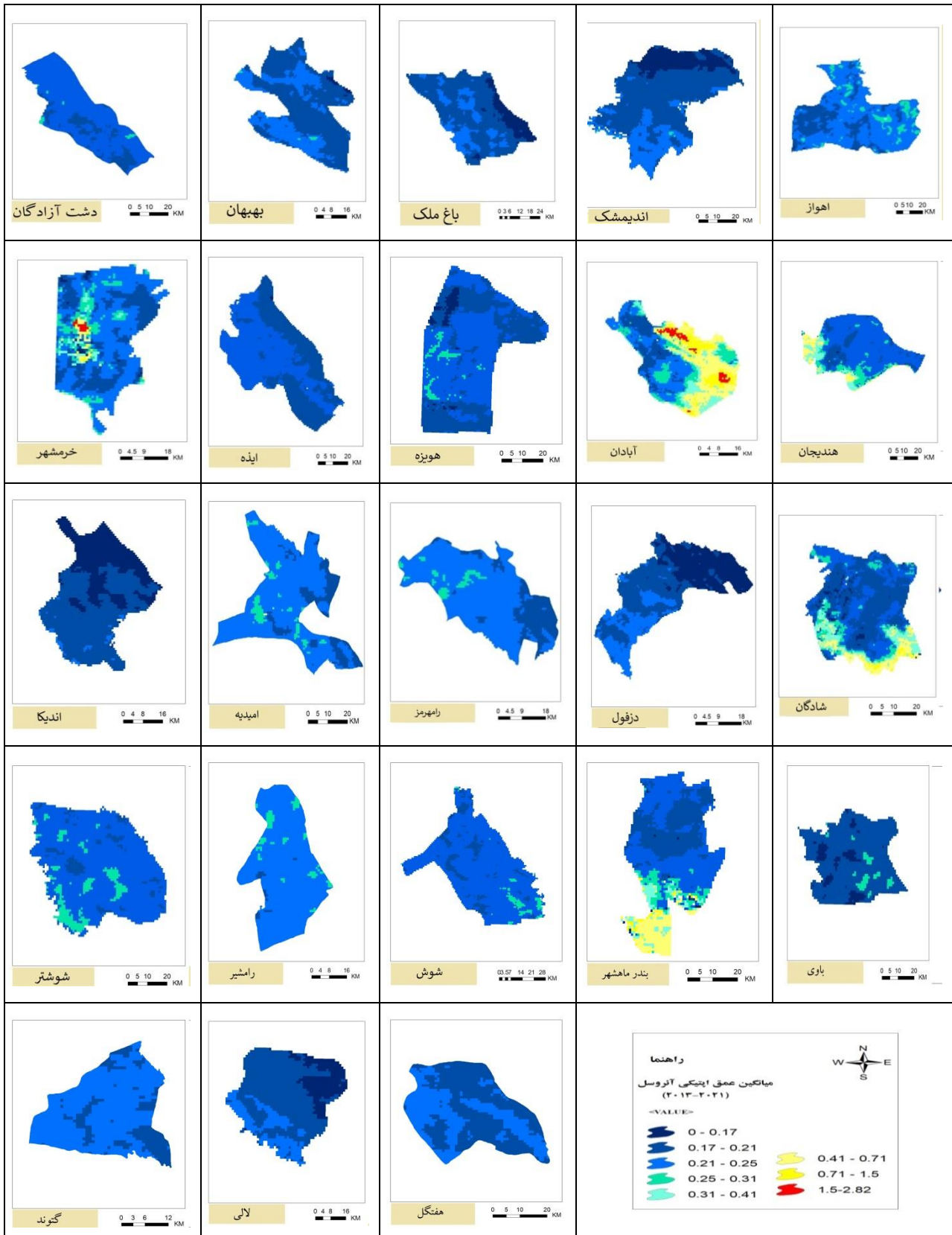
| ردیف | نام شهرستان | معادله رگرسیون خطی | مقدار همبستگی (R ²) |
|------|-------------|-------------------------|---------------------------------|
| ۱ | هویزه | $y = -0.5753x + 0.1713$ | 0.56 |
| ۲ | بندر ماهشهر | $y = -0.2029x + 0.1054$ | 0.50 |
| ۳ | اندیمشک | $y = -1.1067x + 0.2858$ | 0.47 |
| ۴ | دزفول | $y = -1.1507x + 0.3199$ | 0.40 |
| ۵ | خرمشهر | $y = -2.9722x + 0.3699$ | 0.4 |
| ۶ | لالی | $y = -0.845x + 0.2788$ | 0.40 |
| ۷ | اندیکا | $y = 0.3756x + 0.0429$ | 0.37 |
| ۸ | آبادان | $y = -0.0393x + 0.0626$ | 0.34 |
| ۹ | شوش | $y = -0.0409x + 0.2213$ | 0.01 |
| ۱۰ | آبادان | $y = -0.0393x + 0.0626$ | 0.34 |
| ۱۱ | شوشتر | $y = 0.209x + 0.2043$ | 0.25 |
| ۱۲ | شادگان | $y = -0.0714x + 0.0627$ | 0.21 |
| ۱۳ | امیدیه | $y = -0.1673x + 0.1211$ | 0.0077 |
| ۱۴ | بهبهان | $y = 0.1232x + 0.0778$ | 0.0053 |

یک شبکه نقطه‌ای، اطلاعات پوشش گیاهی و گردوغبار در نقاط متناظر به صورت سری زمانی به دست آمد و پس از آن همبستگی میان شاخص پوشش گیاهی و گردوغبار با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه شد. اطلاعات مربوط به همبستگی در جدول (۲) آورده شده است. شکل (۵) و (۶)، میانگین تغییرات بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ را برای پوشش گیاهی و گردوغبار به تفکیک شهرستان نشان می‌دهد. بررسی سال‌های مورد مطالعه نشان داد که جنوب غربی استان خوزستان (شهرستان آبادان، بندر ماهشهر، شادگان و هندیجان)، بیشینه مقدار AOD در تمام سال‌ها را به خود اختصاص داده است؛ حتی زمانی که مناطق دیگر با پدیده فراوان گردوغبار روبه‌رو نبوده‌اند.

پس از سال ۲۰۱۸، شهرستان هویزه که بخشی از تالاب بین‌المللی هورالعظیم در آنجا و قسمتی دیگر آن در کشور عراق واقع شده، به طور چشمگیری در مرکز کانون گردوغبار با میانگین بالا قرار می‌گیرد؛ به طوری که سال‌های قبل از ۲۰۱۸ روند آن مانند مناطق مرکزی و شمال استان بوده است. همچنین بیشترین همبستگی میان تغییرات شاخص پوشش گیاهی و گردوغبار مربوط به همین شهرستان است (شکل ۳). صداقت و نظری پور (۲۰۲۰)، در یک بررسی ارتباط شاخص پوشش گیاهی در تالاب هورالعظیم واقع در شهرستان هویزه را با اطلاعات روزهای گردوغبار ایستگاه بستان و صفی‌آباد بررسی کردند؛ نتایج آن همسو با پژوهش حاضر نشان می‌دهد با کاهش میزان رطوبت در تالاب هورالعظیم شرایطی ایجاد شده است که بر افزایش فراوانی رخداد طوفان‌های گردوغبار اثرگذار است. گردوغبارها و ریزگردها در چند سال اخیر در ایران افزایش یافته‌اند که علت آن خشک شدن تالاب‌های ایران و عراق است. با انتقال آب و خشک شدن بیش از ۲ میلیون هکتار از تالاب‌های عراق و بیش از ۴۰ درصد تالاب‌های خوزستان، این تالاب‌ها تبدیل به کانون ریزگرد شده و یکی از راه‌حل‌ها برای حل این معضل، احیای تالاب‌هاست. تالاب هورالعظیم و شادگان در استان خوزستان جزء آن دسته از تالاب‌هایی هستند که با بحران خشکی مواجه‌اند. پس از آن مناطق مرکز و جنوب شرقی استان از جمله شهرستان اهواز،

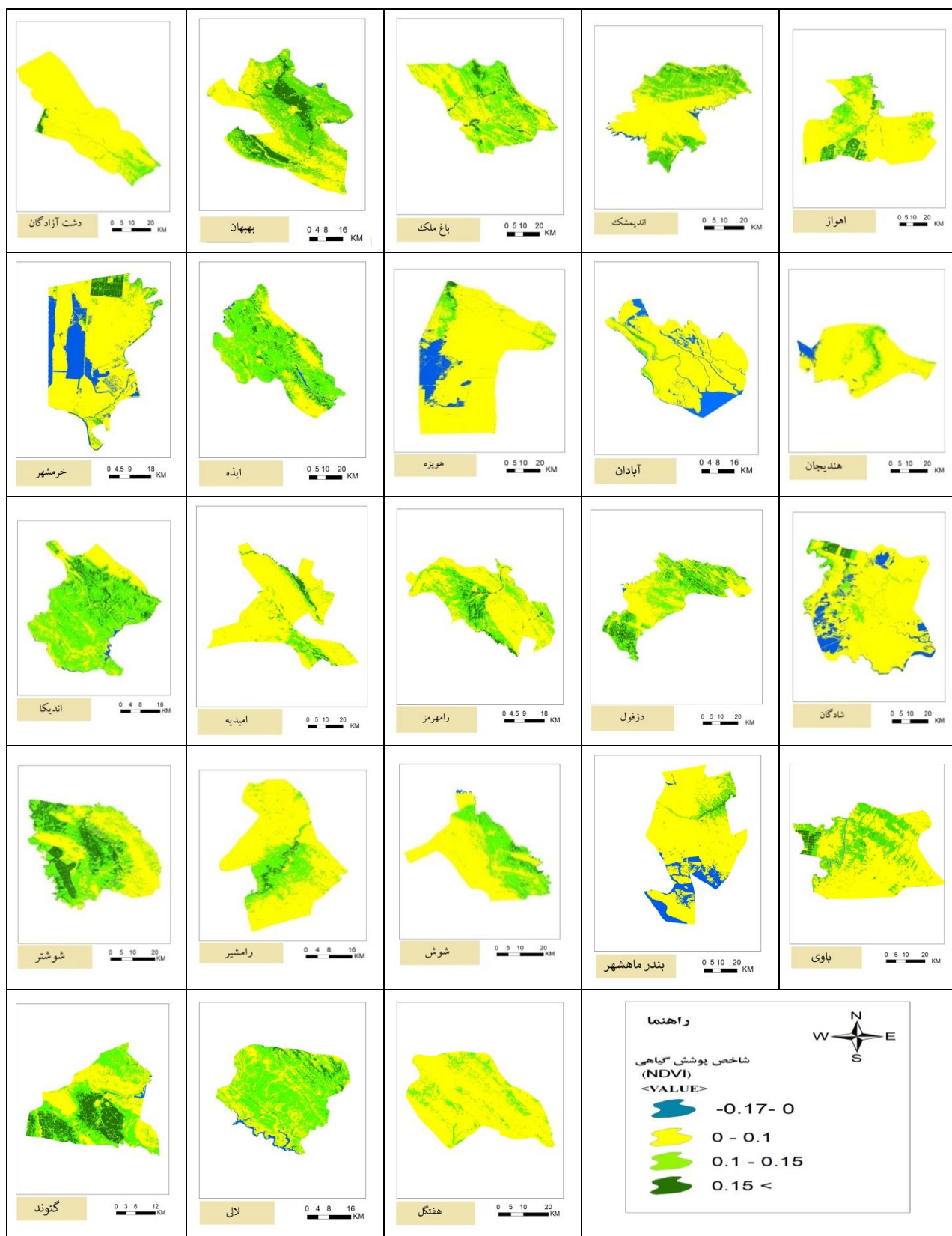
^۱ Engelstaedter

| | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-------------|----|--------|-------------------------|-------------|----|
| 0.0171 | $y = -0.0774x + 0.215$ | مسجد سلیمان | | 0.05 | $y = -0.2406x + 0.2419$ | باغ ملک | ۱۵ |
| 0.0173 | $y = -0.2437x + 0.1439$ | رامشیر | ۲۱ | 0.02 | $y = 0.2839x + 0.0263$ | باوی | ۱۶ |
| 0.0134 | $y = 0.2139x + 0.027$ | اهواز | ۲۲ | 0.21 | $y = -0.2644x + 0.2429$ | دشت آزادگان | ۱۷ |
| 0.01 | $y = -0.0409x + 0.2213$ | شوش | ۲۳ | | | | |
| | | | | 0.057 | $y = 0.9166x - 0.0817$ | گتوند | ۱۸ |
| | | | | 0.0003 | $y = -0.0209x + 0.0904$ | هفتگل | ۱۹ |

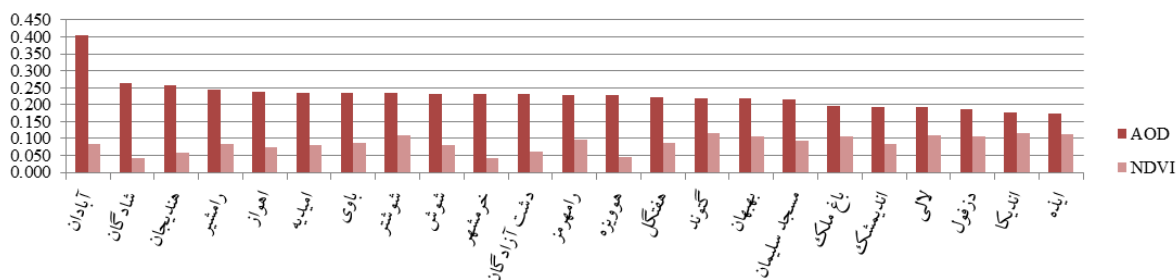


شکل (۵): پراکنش مکانی میانگین AOD در استان خوزستان به تفکیک شهرستان (۲۰۲۲-۲۰۱۳)

Figure (5): Spatial distribution of average AOD in Khuzestan province by city (2013-2022)

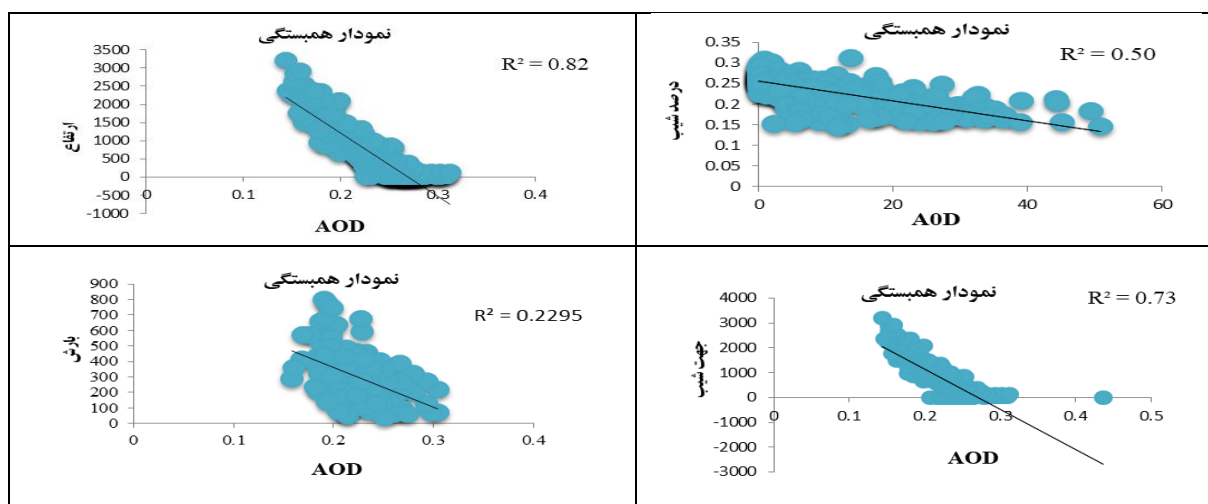


شکل (۶): پراکنش مکانی میانگین NDVI در استان خوزستان به تفکیک شهرستان (۲۰۱۳-۲۰۲۲)
 Figure (6): Spatial distribution of average NDVI in Khuzestan province by city (2013-2022)



شکل (۷): میانگین AOD در استان خوزستان به تفکیک شهرستان (۲۰۱۳-۲۰۲۲)

Figure (7): Average AOD in Khuzestan province by city (2013-2022)



شکل (۸): نمودار همبستگی شاخص گردوغبار با عوامل ارتفاع، بارش، درجه شیب و جهت شیب (۲۰۱۳-۲۰۲۲)

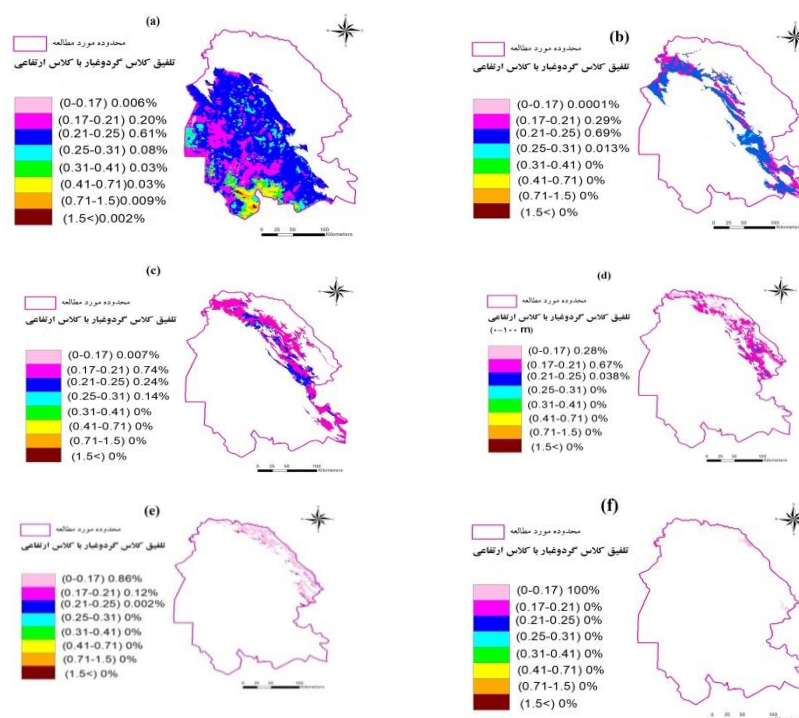
Figure (8): Correlation diagram of dust index with altitude, precipitation, slope degree and slope direction factors (2013-2022)

تصاویر AOD، در محل نقاط ارزش‌های پیکسل تصاویر استخراج گردید. شکل (۸) نمودار همبستگی بین ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب و بارش را با AOD نشان می‌دهد. براساس مقدار ضریب همبستگی به دست آمده، بیشترین همبستگی بین گردوغبار با شاخص ارتفاع (۰/۸۲ درصد) و پس از آن با جهت شیب (۰/۷۳ درصد) است و کمترین مقدار همبستگی با عامل بارش با ضریب ۰/۲۲ درصد است، که این نتایج با تحقیقات بروغنی و همکاران (۲۰۱۹)، داروند و همکاران (۲۰۲۱)، که به پتانسیل‌یابی کانون‌های گردوغبار پرداختند، هم‌راستا بود. پس از آنکه همبستگی بین گردوغبار و عوامل اقلیمی و محیطی بالا به دست آمد، محاسبه معناداری این میزان همبستگی ضرورت دارد. بررسی معناداری همبستگی میان عامل گردوغبار با فاکتورهای درجه شیب، جهت شیب، بارش و ارتفاع با استفاده از آماره p-value در سطح ۹۵ درصد اطمینان انجام گرفت. مقدار p-value به ترتیب برای هر یک از عوامل مذکور ۰/۰۰۱،

مقدار همبستگی بین گردوغبار و شاخص پوشش گیاهی برای برخی شهرستان‌ها، زیاد و در بیشتر آن‌ها همبستگی پایین بود، بنابراین NDVI که تنها سلامت نسبی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد به‌تنهایی نمی‌تواند دلیل وقوع پدیده گردوغبار را نشان دهد، در نتیجه بررسی عوامل دیگر نیز ضروری به نظر می‌رسد. ناپایداری اقلیمی اگر در مناطق خشک و فاقد رطوبت شکل گیرد، باعث ایجاد طوفان گردوغبار می‌شود (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۲۲)؛ بنابراین ضرورت بررسی ارتباط بین عوامل اقلیم و گردوغبار اهمیت بسیاری دارد. برای بررسی همبستگی بین دو عامل بارش و عمق اپتیکی آئروسول، نخست میانگین‌های بارش سالانه برای هر ایستگاه در بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ آماده شد. سپس در محل ایستگاه‌های مورد استفاده ارزش AOD از روی تصاویر استخراج شد و مقدار R^2 به دست آمد. همچنین پس از ایجاد یک شبکه نقطه‌ای از روی فاکتورهای درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع و میانگین کل

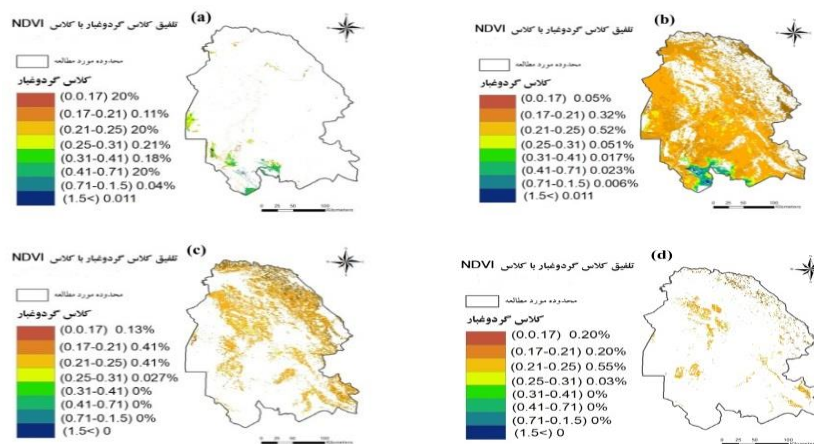
جهت شیب، بارش و ارتفاع رابطه معناداری برقرار است. پس از استخراج اطلاعات مربوط به شیب، درجه شیب، جهت شیب و شاخص پوشش گیاهی ارتباط کلاس‌های مختلف گردوغبار با کلاس‌های عوامل ذکر شده بررسی گردید. اطلاعات به دست آمده از این بررسی در شکل‌های (۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) آورده شده است.

اگر p -value کوچک باشد (معمولاً کمتر از ۰/۰۵)، نشان می‌دهد که نتایج مشاهده شده بعید است به طور تصادفی رخ داده باشند. از سوی دیگر، اگر P -value بزرگ باشد (معمولاً بیشتر از ۰/۰۵)، نشان می‌دهد که نتایج مشاهده شده می‌توانست به صورت شانسی اتفاق بیفتند. براساس نتایج به دست آمده بین گردوغبار و عوامل درجه شیب،



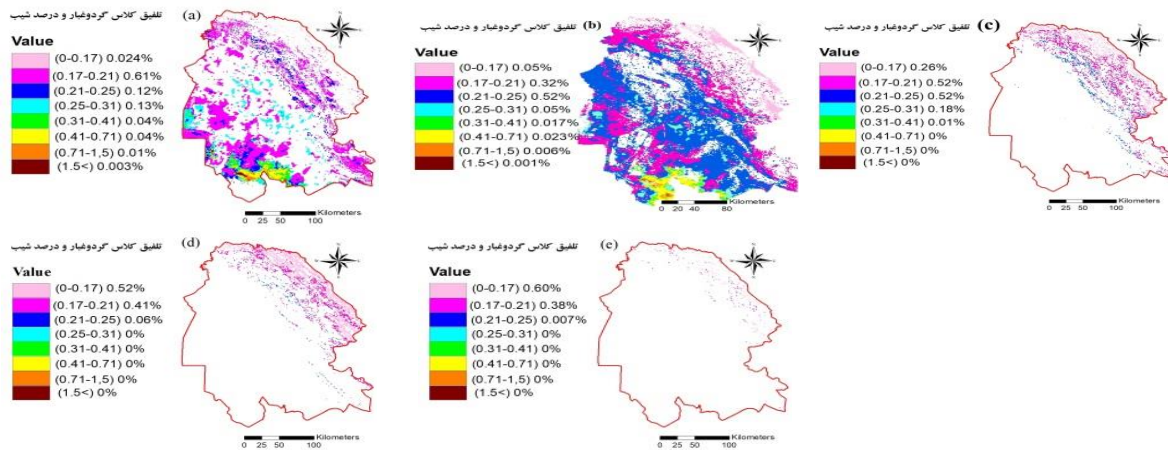
شکل (۹): درصد میانگین کلاس‌های شاخص گردوغبار در طبقات ارتفاعی، طبقات ارتفاعی: (a) ۰-۳۵۰ متر، (b) ۳۵۰-۸۰۰ متر، (c) ۸۰۰-۱۵۰۰ متر، (d) ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر، (e) ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر، (f) ۳۰۰۰-۳۷۴۱ متر

Figure (9): Average percentage of dust index classes in altitude classes, altitude classes: (a) 0-350 m, (b) 350-800 m, (c) 800-1500 m, (d) 1500-2500 m, (e) 2500-3000 meters, (f) 3000-3741 meters



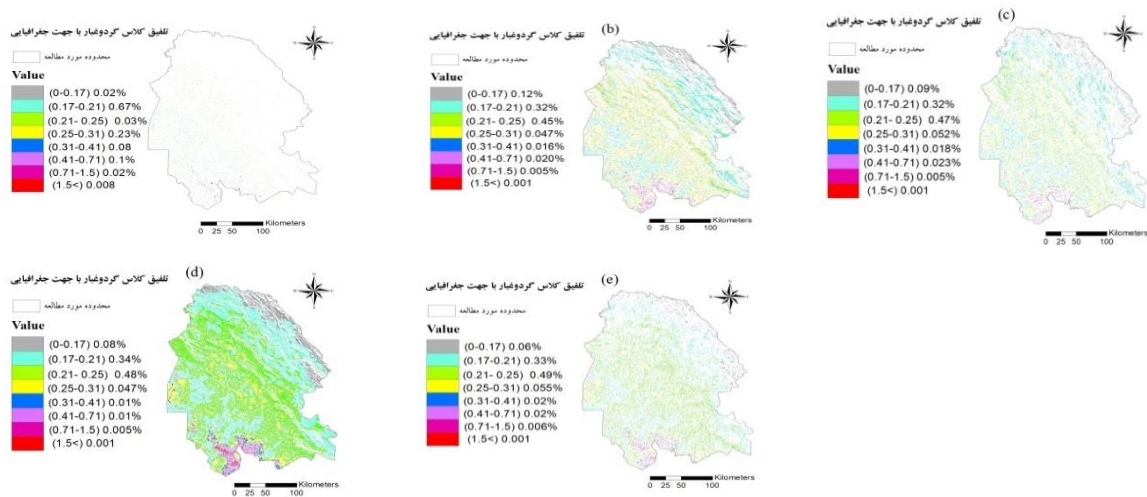
شکل (۱۰): درصد میانگین کلاس‌های شاخص گردوغبار در کلاس‌های پوشش گیاهی، طبقات NDVI: (a) > 0 ، (b) $0 < NDVI < 0.1$ ، (c) $0.1 < NDVI < 0.15$ ، (d) < 0.15

Figure (10): Average percentage of dust index classes in vegetation classes, NDVI classes: (a) > 0 , (b) $0 < NDVI < 0.1$, (c) $0.1 < NDVI < 0.15$, (d) < 0.15



شکل (۱۱): درصد میانگین کلاس‌های شاخص گردوغبار در کلاس‌های درصد شیب، کلاس درصد شیب: (a) ۰-۵، (b) ۵-۱۰، (c) ۱۰-۲۰، (d) ۲۰-۴۰، (d) >۴۰

Figure (11): Average percentage of dust index classes in slope percentage classes, slope percentage class: (a) 0-5, (b) 5-10, (c) 10-20, (d) 20-40, (d) 40<0



شکل (۱۲): درصد میانگین کلاس‌های شاخص گردوغبار در پنج جهت جغرافیایی، جهات جغرافیایی: (a) هموار، (b) شمال، (c) شرق، (d) جنوب، (e) غرب

Figure (12): Average percentage of dust index classes in five geographical directions, geographical directions: (a) flat, (b) north, (c) east, (d) south, (e) west

همکاران (۲۰۰۸) و سنگ^۴(۲۰۰۹) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که ارتفاع می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین عامل بر ترکیب گیاهی و در نتیجه رویش تنوع جنگل‌ها باشد. در شکل (۱۰) درصد میانگین کلاس گردوغبار و پوشش گیاهی آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، کمترین پراکنش گردوغبار مربوط به کلاس NDVI با پوشش متراکم و کلاس ۰/۱۷- تا ۰ مربوط به پوشش آب است. بیشترین مقدار پراکنش AOD متعلق به کلاس ۰ تا ۰/۱ مربوط به کلاس

پس از تلفیق کلاس‌های گردوغبار با کلاس‌های ارتفاعی (شکل ۹) معلوم شد بیشترین پراکنش گردوغبار به طبقه ارتفاعی ۰ تا ۳۵۰ متر اختصاص داشت و در بین آن‌ها ۶۱ درصد از کلاس‌های گردوغبار به عمق اپتیکی ۰/۲۱ تا ۰/۲۵ تعلق داشت. با افزایش میزان ارتفاع پراکنش مکانی AOD کاهش می‌یابد و همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده، کلاس ارتفاعی ۳۰۰ تا ۳۷۴۱ متر دارای کمترین مقدار AOD است. میاجیما و تاکاشی^۱(۲۰۰۷)، جیانگ^۲(۲۰۰۷)، چاولا^۳

۳ Cawla

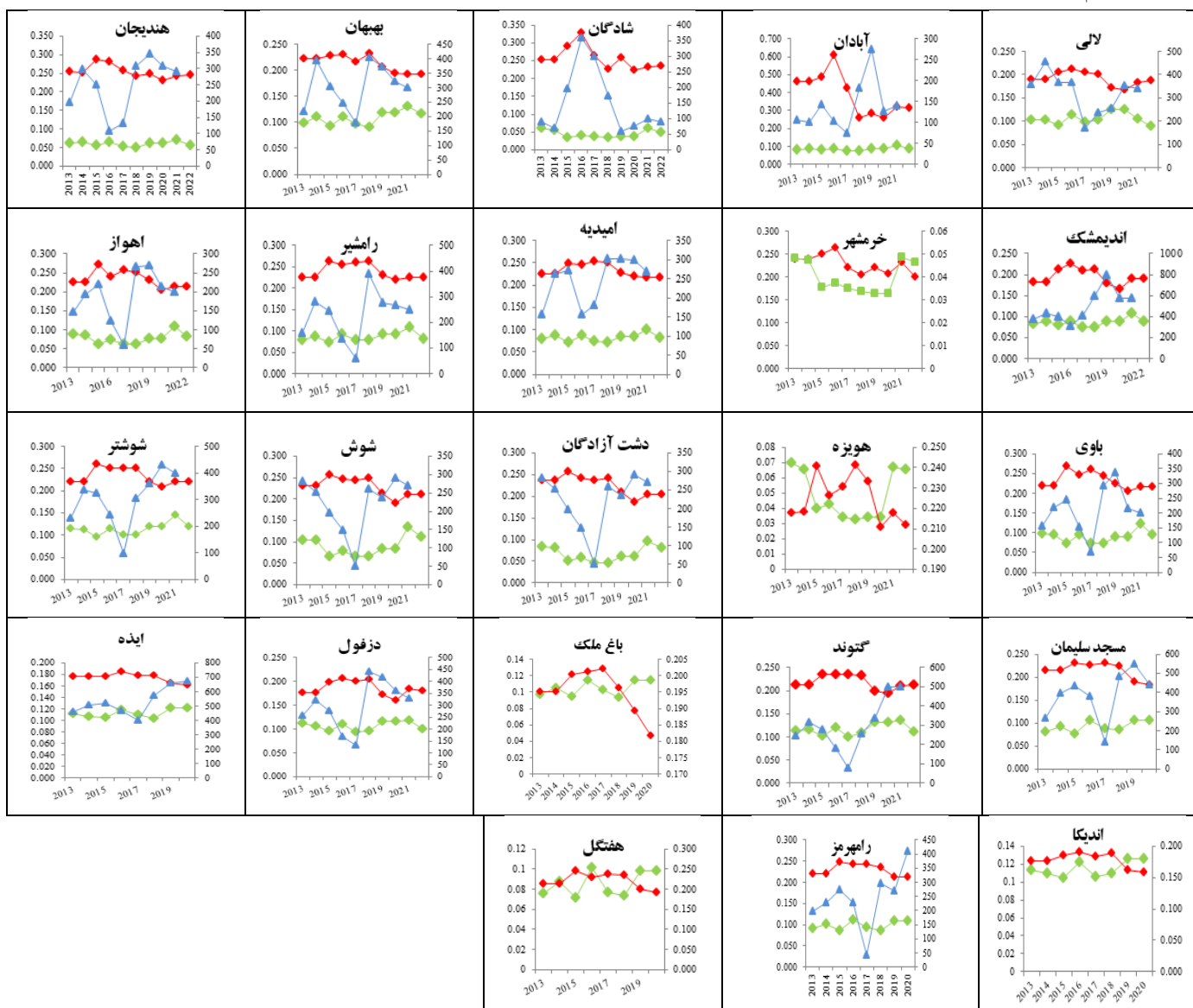
۴ Sing

۱ Majima & Takahashi

۲ Jang

زمین بایر و پوشش گیاهی با تراکم پایین است و کلاس گردوغبار ۰/۲۱ تا ۰/۲۵ با مقدار ۵۲ درصد بیشترین سهم از کلاس AOD را دربر داشت. فن^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، ایوانس^۲ و همکاران (۲۰۱۶)، اوربان^۳ و همکاران (۲۰۰۹)، کنگ^۴ و همکاران (۲۰۲۱) نیز ضمن بررسی اثر پوشش گیاهی بر گردوغبار، به نتایج مشابه با پژوهش حاضر دست یافتند. براساس شکل‌های (۱۱) و (۱۲)، دامنه‌های رو به جهت جنوب جغرافیایی و پس از آن مناطق هموار و شیب‌های ملایم، دارای بالاترین پراکنش مقدار گردوغبار در منطقه مورد

بررسی است. درنهایت برای هریک از شهرستان‌های استان خوزستان در بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۱۳-۲۰۲۲) میانگین سالانه عوامل عمق اپتیکی آئروسول، پوشش گیاهی و بارش محاسبه شد. همان‌طور که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است، در اغلب شهرستان از جمله آبادان، لالی، اندیمشک، امیدیه، باوی، دزفول، گتوند و مسجد سلیمان زمانی که پوشش گیاهی و بارش کاهش می‌یابد، مقدار AOD افزایش می‌یابد و برعکس.



شکل (۱۳): تغییرات سالانه بارش، عمق اپتیکی آئروسول و پوشش گیاهی، طی بازه ۲۰۱۳-۲۰۲۲ به تفکیک شهرستان‌های استان خوزستان

Figure (13): Average annual changes of precipitation, aerosol optical depth and vegetation during the period (2013-2022), Separated by the cities of Khuzestan province

2. Bans
3. Uban

۱. Fan

پدیده را خواهند داشت. عمده مقدار پراکنش گردوغبار در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ بود؛ به طوری که قسمت اعظمی از استان با پدیده گردوغبار در این سال‌ها روبه‌رو بوده است. همچنین بررسی سال‌های مورد مطالعه نشان داد جنوب غربی استان خوزستان (شهرستان آبادان، بندر ماهشهر، شادگان و هندیجان) بیشینه مقدار AOD در تمام سال‌ها را به خود اختصاص داده است؛ حتی زمانی که مناطق دیگر با پدیده قابل ملاحظه گردوغبار روبه‌رو نبوده‌اند. کاهش در میزان بارش که می‌تواند منجر به کاهش رطوبت خاک، پوشش گیاهی و افزایش خشکسالی گردد. همچنین تغییرات کاربری‌های سال‌های اخیر همگی از جمله عواملی هستند که منجر به افزایش پدیده گردوغبار به‌ویژه در استان خوزستان شده است. بررسی عوامل تأثیرگذار از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل اقلیمی در شناسایی و اولویت‌بندی کنترل کانون‌های گردوغبار از اهمیت بالایی برخوردار است. به علاوه محصول عمق ایتیکی سنجنده مادیس می‌تواند به‌عنوان ابزار ارزشمندی برای پایش و مدیریت این رخداد به برنامه‌ریزان محیط زیست کمک بسزایی نماید.

4. Kang

نتیجه‌گیری

بیابان‌زایی یکی از بارزترین مشکلات اکولوژیکی و زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بیابان‌زایی موجب مخاطراتی مانند کاهش تولیدات کشاورزی و دامداری، بلایای مکرر باد و شن و کاهش ارزش خدمات اکوسیستمی می‌شود. این امر فرسایش بادی و منابع انتشار گردوغبار را تشدید می‌کند و باعث کاهش کیفیت هوا می‌شود. در این مطالعه برای شناسایی نقاط گردوغبار، تغییرات میانگین وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ به دست آمد و سپس ارتباط آن با عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی با شاخص NDVI و توپوگرافی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارتباط گردوغبار با عوامل ذکر شده نشان داد ارتفاع و جهت شیب بیشترین همبستگی را (به ترتیب ۸۳ و ۷۲ درصد) با پدیده گردوغبار در جهت عکس دارد؛ به طوری که افزایش در مقدار ارتفاع باعث کاهش گردوغبار و جهت‌های رو به جنوب و مناطق هموار افزایش در مقدار این

منابع

- Adib, A., Oulapour, M., & Chatroze, A., 2018. Effects of wind velocity and soil characteristics on dust storm generation in Hawr-al-Azim Wetland, Southwest Iran. *Caspian J. Environ. Sci.*, 16(4), 333-374.
- Almazroui, M., 2019. A comparison study between AOD data from MODIS deep blue collections 51 and 06 and from AERONET over Saudi Arabia. *Atmospheric Research*, 225, 88-95.
- Araghizade, M., & Masoodian, S. A., 2021. Climate analysis and study of dust storms in Khorasan Razavi. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(3), 305-318. doi: 10.22059/jphgr.2021.301969.1007515
- Arjmand, M., Rashki, A., & Sargazi, H., 2018. Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, Southeast of Iran based on the Satellite Data. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168.
- Badarinath, K.V.S., Goto, D., Kharol, S.K., Mahalakshmi, D.V., Sharma, A.R., Nakajima, T., Hashimoto, M., & Takemura, T., 2011. Influence of natural and anthropogenic emissions on aerosol optical properties over a tropical urban site: a study using sky radiometer and satellite data. *Atmospheric Research* 100(1):111-120 DOI 10.1016/j.atmosres.2011.01.003.
- Biancofiore, F., Verdecchia, M.C., Piero, T., Barbara, A., Eleonora, B., Marcella, B., Sebastiano, D., Tommaso, S., & Colangeli, C., 2015. Analysis of Surface Ozone Using a Recurrent Neural Network ed. Edward A Keller. *Science of the Total Environment* 514(4): 379-87.
- Boroughani, M., pourhashemi, S., Zarei, M., & Aliabadi, K., 2019. Spatial modeling of the sensitivity of dust centers to its emission in eastern Iran using the enhanced BRT regression tree model. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 10(35), 14-28.
- Chawla, A., Rajkumar, S., Singh, K. N., Brij Lal, R. D. S. & Thukral, A. K., 2008. Plant species diversity along an altitudinal gradient of Bhabha Valley in Western Himalaya. *Journal of Mountain Science* 5: 157-177.
- Chen, X., Ding, J., Liu, J., Wang, J., Ge, X., Wang, R., & Zuo, H., 2021. Validation and comparison of

- high-resolution MAIAC aerosol products over Central Asia. *Atmospheric Environment*, 251, 118273.
10. Darvand, S., Khosravi, H., Keshtkar, H., Zehtabian, G., & Rahmati, O., 2021. Comparison of machine learning models to prioritize susceptible areas to dust production. *Journal of Range and Watershed Management*, 74(1), 53-68. doi: 10.22059/jrwm.2021.321033.1580
 11. Engelstaedter, S., Kohfeld, K. E., Tegen, I., & Harrison, S. P., 2003. Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: An evaluation using dust storm frequency data. *Geophysical Research Letters*, 30(6).
 12. Evans, S., Ginoux, P., Malyshev, S., & Shevliakova, E., 2016. Climate-vegetation interaction and amplification of Australian dust variability. *Geophysical Research Letters*, 43(22), 11-823.
 13. Fan, B., Li Guo, N, Li, J., Chen, H., Lin, X., Zhang, M., Shen, Y., Rao, C. W., & Lei, M., 2014. "Earlier vegetation green-up has reduced spring dust storms". *Scientific reports* 4, no. 1 (2014): 6749.
 14. Faryabi, A., Matinfar, H. R., Alavi Panah, S. K., & Norouzi, A. A., 2019. Dust detection in western and southwestern Iran based on DAI index algorithm and Modis spectral data. *Environmental Sciences*, 17(3), 151-162. doi: 10.29252/envs.17.3.151.
 15. Ge, J. M., Su, J., Fu, Q., Ackerman, T. P., & Huang, J. P., 2011. Dust aerosol forward scattering effects on ground-based aerosol optical depth retrievals. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 112(2), 310-319.
 16. Gholami, A, Rashki, A., & Azari, M., 2021. Investigating the trend of changes in dust and its relationship with precipitation and vegetation in Razavi province. *The first national conference of new technologies in the environment and sustainable development with the approach of Corona and the environment*, 26 Shahrivar. Iran.
 17. Goudie, A. S., 2009. Dust storms: Recent developments, *Journal of Environmental Management*, 90, 89-94.
 18. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the 25 Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley P. M., *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA*, 1535 pp., 2013
 19. Jafari, R., & Alidadi, S., 2022. Desert Dust Mapping and Identification Using MODIS Level 1 and AOD- AI Indices in South West of Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(33), 53-64. doi: 10.22052/deej.2021.10.33.39
 20. jannatrostami, M., Rahimi, M., & kaboli, H., 2021. Evaluation of vegetation role and climatic factors of southern plains of alborz in spatial and temporal distribution of dust phenomenon. *Journal of Range and Watershed Management*, 74(2), 339-358. doi: 10.22059/jrwm.2021.318086.1564
 21. Jiang, Y., Kang, M., Zhu, Y. & Ku, G., 2007. Plant biodiversity patterns on Helan Mountain, China. *Acta Oecologica* 32: 125-133.
 22. Kang, S., Lee, S. H., Cho, N., Aggossou, C., & Chun, J., 2021. Dust and sandstorm: ecosystem perspectives on dryland hazards in Northeast Asia: a review. *Journal of Ecology and Environment*, 45(1), 1-9.
 23. Kaskaoutis, D. G., Kahn, R. A., Gupta, P., Jayaraman, A. & Bartzokas, A., 2012. Desert Dust Properties, *Modelling, and Monitoring. Advances in Meteorology*.
 24. Kassa, A., 1990. Drought risk monitoring for Sudan using NDVI, 1982-1993. A Dissertation submitted to the University College London. (16)
 - Kogan, F.N., 1993. United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1: 197-199
 25. Kurosaki, Y., & Mikami, M., 2005. Regional difference in the characteristic of dust event in East Asia: relationship among dust outbreak, surface wind and land surface condition. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 83(1), 1-18
 26. Lin, C. A., Zhang, Y., Heath, G., Henze, D. K., Sengupta, M., & Lu, C. H., 2023. Improvement of aerosol optical depth data for localized solar resource assessment. *Solar Energy*, 249, 457-466.
 27. Maleki, S., Mir, M., & Rhdari, V. (2022). Investigating the change in the Sand and Dust Stormsâ intensity in affected areas in Sistan Plain. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(30), 111-125. doi: 10.22052/deej.2021.10.30.59
 28. Mao, K.B., Ma, Y., Xia, L., Chen, W. Y., Shen, X. Y., He, T.J., & Xu, T.R., 2014. Global aerosol change in the last decade: An analysis based on MODIS data, *Atmospheric Environment* 94: 680-686.
 29. Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., & Ping, W. 2008. A duststorm process dynamic monitoring with multitemporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*, 37, 965-970
 30. Miyajima, Y. & Takahashi, K., 2007. Changes with altitude of the stand structure of temperate forests on Mount Norikura, Central Japan. *Journal of Forest Resources* 12: 187-192.
 31. Mohammadi, A., Ghazavi, R., Mirzaei, R., & Naseri, H., 2019. Investigation of the vegetation Cover Pattern Change Using MODIS Images and its Relation with Rainfall distribution. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3), 843-

852. doi: 10.22059/jrwm.2019.280679.1381
32. Mohammadpour, K., Saligheh, M., Darvishi Bloorani, A., & Razieli, T., 2020. Analysis and Comparing Satellite Products and Simulated of AOD in West Iran (2000-2018). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 7 (1) :15-32
 33. Naeimi, M., Yousefi, M. J., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ebrahimikhusfi, Z., 2020. Climatic factors affecting dune mobility in the west of Khorasan Razavi Province, Iran. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 7(2), 25-45.
 34. Pan, L., Che, H., Geng, F., Xia, X., Wang, Y., Zhu, C., Chen, M., GAO W. & Guo, L. 2010. Aerosol optical properties based on ground measurements over the Chinese Yangtze Delta Region. *Atmos Environ*, 44: pp. 2587– 2596.
 35. Qin, W., Fang, H., Wang, L., Wei, J., Zhang, M., Su, X., & Liang, X., 2021. MODIS high-resolution MAIAC aerosol product: Global validation and analysis. *Atmospheric Environment*, 264, 118684.
 36. Rangzan, K., Zarasvandi, A., Abdolkhani, A., & Mojaradi, B., 2014. Modeling of Air Pollution using MODIS Data: Khuzestan Dust storm. *Advanced Applied Geology*, 4(4), 38-45.
 37. Rangzan , K., Zarasvandi, A., kabolizadeh, M., mohammadi, S., & mayahi, J., 2022. Spatiotemporal evaluation of PM2.5 concentration in Khuzestan province and examining the factors affecting it. *Environmental Sciences*, 20(2), 199-222. doi: 10.52547/envs.2022.33613
 38. Sang, W., 2009. Plant diversity patterns and their relationships with soil and climatic factors along an altitudinal gradient in the middle Tianshan Mountain area, Xinjiang, China. *Ecological research* 24: 303-314.
 39. Sedaghat, M., & Nazaripour, H., 2020. Monitoring variability of soil moisture in Hour-al-Azim Wetland and its relation to dust storms in southwest Iran. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(114), 133-145. doi: 10.22131/sepehr.2020.44598
 40. Shahsavani, A., nadafi, K., yarahmadi, M., kermani, M., & yarahmadi, E., 2012. Investigation patterns, formation mechanisms and impacts of dust haze. *Nivar*, 37(80-81), 65-82.
 41. Sharma, V., Ghosh, S., Kumari, M., Taloor, A. K., Singh, S., Arola, A., & Devara, P. C., 2022. Analysis and Variation of the Maiac Aerosol Optical Depth in Underexplored Urbanized Area of National Capital Region, India. *Journal of Landscape Ecology*, 15(3), 82-101.
 42. Tao, M., Wang, J., Li, R., Wang, L., Wang, L., Wang, Z., & Chen, L., 2019. Performance of MODIS high-resolution MAIAC aerosol algorithm in China: Characterization and limitation. *Atmospheric environment*, 213, 159-169.
 43. Urban, F. E., Reynolds, R. L., & Fulton, R., 2009. The dynamic interaction of climate, vegetation, and dust emission, Mojave Desert, USA. *Arid environments and wind erosion*, 243-267.
 44. Yar Ahmadi, D., Nasiri, B., Khushkish, A., & Nikbakht, H., 2022. The effect of weather fluctuations on the occurrence of dust (a case study of dust in the west and southwest of Iran). *Desert Ecosystem Engineering*, 3(5), 19-28
 45. Zhou, Y., Gao, X., Meng, X., Lei, J., & Halik, Ü., 2022. Characteristics of the Spatio-Temporal Dynamics of Aerosols in Central Asia and Their Influencing Factors. *Remote Sensing*, 14(11), 2684.
 46. Zong, X., Xia, X., & Che, H., 2015. Validation of aerosol optical depth and climatology of aerosol vertical distribution in the Taklimakan Desert. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 239-244.

Dust monitoring and investigation of its relationship with topographical, climatic and vegetation factors

Kazem Rangzan,* Fatemeh Balouei†

Received: 09/10/20223

Accepted: 28/02/2024

Extended Abstract

Introduction: Airborne particles play an important role in the balance of atmospheric radiation and climate change. The relationship between aerosols and climate systems has received increasing attention as our understanding of these issues increases. A dust storm is a complex process that is influenced by the interactions of atmospheric systems and is basically caused by conditions such as high wind speed, bare soil and dry air.

Materials and methods: Aerosol optical depth (AOD) is one of the most important parameters in the field of dust related research. Aerosol optical depth actually refers to the distribution of dust aerosols in the atmosphere. In this research, the dust condition was investigated using the AOD parameter of MODIS product. In order to investigate the relationship between environmental factors, NDVI was used. For each year, based on the total images taken, which is about 24 images per year, the average vegetation cover index was calculated in the Google Earth Engine system as a time series. In this study, among the climatic factors, annual rainfall data from synoptic stations were used to investigate the effect of rainfall on the amount of dust changes in the period from 2013 to 2022. Also, a 90-meter DEM was prepared from the SRTM sensor in order to prepare layers of slope percentage, slope direction and elevation classes.

Results: In the research, firstly, to evaluate the dust situation, the aerosol optical depth product was obtained from the MODIS sensor. In order to highlight and monitor as much as possible, the dust phenomenon of the months of June to September, corresponding to the late spring and summer season of each year, when the majority of dust storms are concentrated in these months, was chosen. After downloading the images, the 9-year statistical period (2013-2022) was considered as the studied statistical period in Khuzestan province. The average optical depth of dust was obtained each year based on the images taken in the same year.

The results show that most of the dust was spread in the years 2015, 2016, 2017 and 2018, so that a large part of the province faced the dust phenomenon in these years. The investigation of the dust situation in 2013 and 2014 showed that although most of Khuzestan province is facing a relatively low average AOD, the maximum AOD value is related to classes with values of 0.71 to 1.5 and more than 1.5 located in the southwest. is the province; The maximum value of AOD in these years was 2.82 and considering that AOD is between zero and 5 in the mentioned years, the southern regions have faced a high average dust phenomenon. The purpose of this study was to monitor dust and investigate its relationship with various factors of topography, vegetation and climate. The results of dust relationship with the mentioned factors showed that among all the factors, height and slope direction have the highest correlation (83 percent) and (72 percent) respectively with the phenomenon of dust in the opposite direction, so that an increase in the amount of height causes a decrease in dust and south-facing

1. Prof. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, kazemrangzan@scu.ac.ir

† PhD Student of RS and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

directions. And smooth areas will have an increase in the amount of this phenomenon. Therefore, by using remote sensing techniques, it is possible to identify dust centers as a valuable tool to combat the expression factor.

Discussion and Conclusion: Desertification is one of the most obvious ecological and environmental problems in arid and semi-arid regions. In this study, to identify dust spots, changes in the average occurrence of dust storms were obtained using MODIS sensor data from 2013 to 2022, and then its relationship with climatic factors, sun cover with NDVI index, and topography were evaluated. A decrease in the amount of precipitation that can lead to a decrease in soil moisture, vegetation cover and an increase in drought; Also, the changes in land use in recent years are all among the factors that have led to an increase in the phenomenon of dust, especially in Khuzestan province. Examining the influencing factors such as topography, vegetation and climatic factors is of great importance in identifying and prioritizing the control of dust centers, in addition, the MODIS optical depth sensor product can be of great help as a valuable tool for monitoring and managing this event.

Keywords: MODIS, aerosol optical depth (AOD), time series, topography, climate, vegetation.