# بررسی تغییرات مکانی گردوغبار در استان سیستان و بلوچستان و تأثیر آن بر پایداری شهری

دکتر ابوالفضل قنبری [۱*]، صدیقه ترانه [۲]

۱*- دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ، دانشگاه تبریز

۲- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

ایمیل نویسنده مسئول: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۶/۱۴

**چکیده**

تحقیق حاضر به بررسی تغییرات مکانی مخاطره طبیعی طوفان گردوغبار در شهرهای استان سیستان‌وبلوچستان از دیدگاه پایداری شهری پرداخته است. این پژوهش، ساختاری کاربردی و به لحاظ نوع روش، توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. داده‌های سنجنده مادیس شاخص AOD از سال ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ و همچنین داده های ماهواره سنتینل-۵ شاخص AI برای سه دوره سال ۱۴۰۰، ۱۳۹۹ و ۱۳۹۸ با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شدند و در پایان با داده‌های هواشناسی این تصاویر مقایسه و شهرهایی که بیشتر تحت تأثیر گردوغبار قرار دارند، بررسی شدند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد؛ زابل، میرجاوه و چابهار غبارآلوده‌ترین و ایرانشهر و نیکشهر کمترین گردوغبار را داشته‌اند. در نهایت تصاویر این دوماهواره با داده‌های هواشناسی در نرم افزار SPSS با ضریب همبستگی پیرسون مقایسه شدند تصاویر سنتینل۵ سال ۱۴۰۰ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۲ و سال ۱۳۹۹ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۹ و سال ۱۳۹۸ با ضریب همبستگی ۰.۱۳۶ و سطح معنی داری ۹۹ درصد با داده های هواشناسی دارای رابطه مستقیم می‌باشند. که این نتایج نشان می‌دهد تصاویر سنتینل۵ می‌تواند به عنوان مکملی در شناسایی کانون‌های گردوغبار مفید واقع شود. کنترل منشأ شکل‌گیری پدیده گردغبار به برنامه‌های کلان ملی و فراملی نیاز دارد. زدودن کامل پدیده گردوغبار امکان‌پذیر نیست و باید برنامه‌های آبخیزداری، فنی و عملیاتی در تثبیت منشا گردوغبارها انجام داد. احیای دریاچه‌ها و تالاب‌ها، بهینه‌سازی راندمان مصرف آب از طریق آموزش کشاورزان و حذف گیاهان پر مصرف است و جایگزینی با گونه‌های گیاهی با راندمان بالا و دوره تولید کوتاه‌تر و استفاده از روش‌های مدیریت شهری نوین می‌توان اثرات و پیامدهای این پدیده مخرب را در آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی، کیفیت زندگی شهری و سلامت شهروندان کاهش داد و با در نظر گرفتن راهکارها و پیشنهاداتی که ارایه شد و دقت در انجام آن‌ها، می‌توان گامی مؤثر در جهت پیشبرد اهداف توسعه پایداری شهری و رسیدن هرچه بهتر به این هدف برداشت.

**کلمات کلیدی**

"طوفان"، "گردوغبار"، "توسعه پایدار شهری"، "سنجنده مادیس"،"ماهواره سنتینل"،"سیستان و بلوچستان".

## ۱- مقدمه

شهرنشینی و افزایش جمعیت شهرها افزایش مهاجرت به شهرها و به تبع آن توسعه شهرهای بزرگ و کوچک و در نتیجه آثار مخرب و فاجعه آمیزی از جمله مصرف بی- رویه انرژی تخریب جنگل‌ها و انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری بر زیستگاه‌های طبیعی کره زمین داشته است، بطوریکه شهرها به عنوان جایگاه اصلی فعالیت‌های انسانی و بزرگترین مصرف کننده منابع طبیعی، کره زمین را مورد تهدید قرار داده‌اند (فارغ زاده و جمشیدی، ۱۳۹۶). این عوامل سبب نگرانی‌های برنامه‌ریزان شهری شده است و زمینه مطالعه جدی مدیران، برنامه‌ریزان شهری و همچنین سیاست مداران را فراهم نموده است. یکی از مباحث مهم پیرامون مسائل شهری، مفهوم توسعه پایداری شهری است که توسعه‌ای مبتنی بر نیازهای واقعی و تصمیم گیری‌های عقلایی، با در نظر گرفتن ملاحظات مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی محسوب می‌گردد. پایداری می‌تواند چهار جنبه داشته باشد: پایداری در منابع طبیعی، پایداری سیاسی، پایداری اجتماعی و پایداری اقتصادی. در حقیقت توسعه پایدار تنها بر جنبه زیست محیطی اتفاقی تمرکز ندارد، بلکه به جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی آن هم توجه می‌کند (زند مقدم و اصغری، ۱۳۹۸). در حال حاضر رویکرد توسعه پایدار دیدگاه جدیدی است که به جای تمرکز بر کاهش آسیب‌پذیری و نگاه مقابله‌ای به افزایش آن و انعطاف پذیری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی تأکید می‌کند (بهوندی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعات اخیر در زمینه الگوهای توسعه پایدار و نحوه دستیابی به این توسعه، سعی در معرفی ویژگی‌های آن و چگونگی اجرائی کردن این مفهوم داشته‌اند. اما مباحث مربوط به توسعه پایداری شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته است این در

حالی است که شهرهای مختلف در جهان به صورت مصرف کنندگان شتابزده منابع طبیعی درآمده و تولید کننده‌های پرتوان زباله و ضایعات هستند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). در دهه‌های اخیر به دنبال توسعه شهرها و گسترش و پیشرفت تکنولوژی در دنیای صنعتی و تغییرات شدید اقلیمی و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی و طولانی مدت، آلودگی هوا روند رو به رشدی را طی کرده و یکی از همراهان دائمی جوامع بشری شده است. آلودگی هوا به معنای مخلوط شدن هوا با گازها، قطرات و ذراتی است که کیفیت هوا را تغییر می‌دهند. در بین عوامل مختلف پدید آورنده این آلودگی عوامل جغرافیایی و اقلیمی به عنوان عامل طبیعی و غیرقابل پیش‌بینی و عوامل انسان-ساز که در اثر فعالیت‌های نادرست انسانی به وجود می-آیند، به عنوان عامل مصنوعی و قابل کنترل مورد بررسی قرار می‌گیرند. یکی از آلودگی‌های هوا که در سال‌های اخیر گاهی در مناطق غرب، جنوب غربی و اخیراً مرکز ایران شاهد آن بوده‌ایم، پدیده ریزگردها یا به بیان درست‌تر طوفان گردوغبار است (کریم دوست و اردبیلی، ۱۳۸۹). آلودگی هوا بسیار پیش‌تر از آنکه انسان آن را بشناسد، وجود داشته است؛ اما مسئله ریزگردها، به نسبت دیگر مسائل زیست محیطی، با توجه به افزایش چشمگیر آن در یک دهه گذشته، مسئله جدیدی است (یوسف وند و همکاران، ۱۳۹۹). طوفان‌های شن و گردوغبار معمولاً زمانی رخ می‌دهند که بادهای قوی مقادیر زیادی شن و گردوغبار را از خاک‌های لخت و خشک وارد جو می‌کنند. آنها خطرات شدیدی را نه تنها برای سلامت انسان بلکه برای محیط‌های بادگیر به همراه دارند. جدا از تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی، عوامل زمینی از جمله پوشش گیاهی، شرایط خاک و ناهمواری زمین نیز می‌توانند منعکس کننده حساسیت زمین به وقوع طوفان‌های شن و گردوغبار باشند. در بسیاری از مطالعات، پوشش گیاهی که می‌تواند فرسایش بادی را کاهش دهد به عنوان اصلی-ترین عامل زمینی مؤثر بر فعالیت‌های طوفان‌های شن و گردوغبار در نظر گرفته شده است. دمای سطح زمین به عنوان شاخصی از میزان رطوبت خاک می‌تواند بر فعالیت‌های طوفان‌های شن و گردوغبار به‌ویژه دامنه دمایی روزانه در مناطق خشک تأثیر بگذارد. عوامل توپوگرافی نیز تا حد زیادی به حساسیت زمین به فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار در آسیای مرکزی کمک می‌کنند (Weng et al, ۲۰۲۲). طوفان گردوغبار با سرعت باد بالاتر از ۷ متر بر ثانیه شروع می‌شود و رابطه قوی با ساختار خاک، پوشش گیاهی، وضعیت خشکسالی و غیره دارد. در برخی مناطق در طول طوفان گردوغبار، دید می‌تواند به ۱ کیلومتر، گاهی اوقات حتی ۱۰-۲۰ متر کاهش یابد. زمانی که سرعت باد ۱۰-۱٤ متر بر ثانیه و دید بین ۵۰۰-۱۰۰۰ متر باشد، طوفان گردوغبار قوی در نظر گرفته می‌شود. یک طوفان گردوغبار فاجعه بار با سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه، دید کمتر از ۵۰ متر و مدت زمان ۱۲ ساعت و بیشتر مشخص می‌شود. دو نوع طوفان گردوغبار برای منطقه وجود دارد، طوفان‌های جبهه‌ای مناطق وسیعی را پوشش می‌دهند (۱۰۰-۵۰۰ کیلومتر مربع)، در حالی که طوفان‌های محلی فقط در مناطق کوچک توسعه می‌یابند (Indoitu et al, ۲۰۰۹). بسیاری از مکان‌های قابل سکونت انسان‌ها در معرض مخاطرات طبیعی قرار دارند. نکته قابل تأمل آن است که مخاطرات طبیعی را نمی‌توان از بین برد بلکه باید با اقدامات کاهشی به مدیریت این پدیده پرداخت و یا این که میزان تأثیرپذیری در برابر این نوع مخاطرات را کاهش داد. امروزه خسارت‌های فراوان اقتصادی مخاطرات طبیعی به خصوص گردوغبارها به جوامع انسانی موجب شده است که مفهوم پایداری توسعه برای کاهش آثار بحران-ها، به حوزه‌ای مهم در عرصه مدیریت بحران تبدیل شود. در کل پدیده گردوغبار مشکلات عدیده‌ای را در حوزه‌های مختلف محیط‌زیست و اکوسیستم منطقه‌ای ایجاد کرده و مانع شدن بر ایجاد توسعه پایدار را در پی خواهد داشت که در این راستا جای دارد تا با برنامه‌ریزی مناسب و صحیح در این زمینه راهی برای کنترل و کاهش اثرات زیست محیطی آن یافت و بتوان گامی موثر در جهت رفاه عمومی جامعه و کمک به ایجاد توسعه‌ی پایدار برداشت (سلطانی و همکاران،۱۳۹۳). به منظور مبارزه با این طوفان ها، شناسایی منطقه‌ای منشأ تولید گردوغبار ما را قادر می-سازد تا بر مناطق بحرانی تمرکز کرده و ویژگی‌های منحصر به فرد در پاسخ به شرایط زیست محیطی را مشخص کنیم. با چنین دانشی ما بهتر می‌توانیم مدل‌های جهانی گردوغبار را بهبود بخشیم و اثرات تغییرات آب و هوا بر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در آینده ارزیابی کنیم (Esmaili et al, ۲۰۰٦). در این مطالعه با توجه به موقعیت استان سیستان و بلوچستان و قرار گرفتن در حاشیه خلیج فارس و بیابان‌های ساحلی، این استان در معرض طوفان گردوغبار قرار دارد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی و تحلیل روند روزهای توأم با گردوغبار و آنالیز بادهای گرد و غبارزا در استان سیستان و بلوچستان است. از سال ۲۰۰۰ به بعد نیز به علت کاهش فعالیت‌های کنترلی در استان و سدسازی‌های انجام شده در کشورهای

عراق، سوریه، ایران و به خصوص ترکیه به همراه کاهش بارندگی در عراق مهم‌ترین عامل ایجاد گردوغبار در ایران است. این روند نیز دوباره افزایش داشته است (خواجه و همکاران ۱۳۹۳). در سالهای اخیر به دنبال رخدادهای مکرر طوفان‌های گردوغباری و همچنین آلودگی هوا، بسیاری از دانشمندان از علوم مختلف مطالعه ریزگردها را مورد توجه قرار داده و از دیدگاه‌های مختلف آن‌ها را مورد پژوهش قرار داده‌اند و عمدتاً بیشتر مطالعات بر پایش ماهواره‌ای (داخلی و خارجی) و روش‌های همدیدی و همچنین مطالعات آماری انجام گرفته است. در رابطه با اثر گردوغبار بر محیط‌زیست و سلامت نیز مطالعاتی انجام شده است، به طور کلی در این مطالعات مشخص شده است که غبار اتمسفری مانع از نفوذ نورخورشید شده و محصولات کشاورزی را تا ۲۲ درصد کاهش می‌دهد و منجر به افزایش شیوع بیماری‌ها ازجمله مننژیت، تبدره، آسم، بیماری‌های ویروسی صدمه به DNA سلول‌های پوست و ریه می‌گردد (شاهسونی و همکاران ۱۳۸۹، Peters et al, ۲۰۰۵، Wellenius, ۲۰۰۶).در مطالعه طوفان‌های گردوغبار جهت مسیریابی مخاطرات، سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک زمانی بالاتر و برای اطلاع از جزئیات و منبع مخاطرات سنجنده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر مفید می‌باشند. از سنجندهMODIS, SEAWIFS برای آشکار سازی طوفان‌های گردوغبار استفاده شده است. برای مطالعات خصوصیات سطح زمین شاخص‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده استفاده شده است. طوفان‌های گردوغبار زمانی اتفاق می‌افتد که از شاخص پوشش‌گیاهی نرمال شده کمتر از ۰.۲، سرعت باد بیشتر یا مساوی هفت متر بر ثانیه و شاخص رطوبت سطحی خاک کمتر از ۰.۲ باشد ( Qu et al, ۲۰۰۶، Reiji Kimura et al, ۲۰۰۹). همچنین کمبود بارش محلی، دمای بالا و تبخیر شدید و خشکسالی دریاچه‌ها باعث افزایش فرسایش خاک و ایجاد ریزگردها و طوفان‌های گردوغبار می‌شود (Gao et al, ۲۰۱۱). توزیع ریزگرد به شدت تحت تأثیر توپوگرافی و فعالیت‌های اقتصادی منطقه می‌باشد (ZiPeng et al, ۲۰۱۳).

Anthony and Parollari et al (۲۰۱۶)، با استفاده از سنجش از دور و اطلاعات هواشناسی طوفان‌های گردوغبار در خاورمیانه را بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد پارامترهای دمای سطح زمین و رطوبت نسبی و پوشش گیاهی منطقه نقش مهمی در شکل‌گیری و پایش طوفان گردوغبار داشته است. نتایج به دست آمده اختلاف پوشش گیاهی در سال‌های مختلف در مناطقی که طوفان به شدت رخ داده است، را نمایش داد. همچنین در مناطق خشکی که پوشش گیاهی از بین رفته بود، باتوجه به میزان عمق اپتیکی آئروسل‌ها AOD مدل‌سازی و پیش بینی آب‌وهوا از طریق WRF انجام شد. Li et al (۲۰۱۰) ، بزرگترین گردوغبار شرق استرالیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص اختلاف دمای روشنایی مورد ارزیابی قرار داده و با بیان کارایی قابل توجه این روش در شناسایی توده‌های گردوغبار، چگونگی وقوع این پدیده را شناسایی نمودند. (Rashki et al, ۲۰۱٤)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TOMS، MODIS و MISR تأثیر تغییرات سطح آب دریاچه خشک شده هامون را در افزایش تولید گردوغبار در منطقه جنوب شرق ایران بررسی کردند و حوضه هامون واقع در جنوب شرق ایران و غرب مرزهای افغانستان را به عنوان یکی از مناطق منشاء مهم در جنوب آسیا معرفی کردند. شایسته و غریبی (۱٤۰۱)، با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل ۵ به شناسایی کانون‌های گردوغبار در استان همدان در محدوده زمانی ۱۲ ساله و ۲ ساله پرداختند. جهت شناسایی و نظارت برکانون‌های گردوغبار پارامترهای وضعیت کاربری اراضی، شاخص خاک لخت، شاخص توده آب مورد استفاده قرار گرفتند. طبقه بندی غلظت آئروسل‌ها در سه گروه تراکمی در محدوده مطالعاتی نشان داد که به ترتیب مساحت پهنه‌های دارای غلظت بالا در تصاویر مادیس ۹۸۷۵/۱ و سنتینل ۷۱۰۰/۵ کیلومترمربع است که در تصاویر سنتینل به پیوسته و در تصاویر مادیس به صورت پراکنده هستند. بیشترین تمرکز آئروسل‌ها در تصاویر سنتینل در مراتع فقیر و خاک اراضی غیرقابل کشت و در تصاویر مادیس در مراتع فقیر و کشاورزی دیم قرار دارد. دو تصویر دارای همبستگی ۸۱ درصد هستند و در نهایت تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ می تواند در پایش کانون‌های گردوغبار مفید واقع گردد. دمی زاده و همکاران (۱٤۰۰)، مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT را مورد بررسی قرار دادند. بررسی نقشه‌های مدل HYSPLIT بیانگر وجود سه مسیر کلی ورود و ایجاد طوفان‌های گردوغبار به منطقه می‌باشد که شامل مناطق جنوب غربی کشور، مسیر جنوبی شمالی و مسیر شمالی و شمال غربی است. همچنین، بر اساس نتایج مدل، در حدود ۵۳.۷ درصد مسیر حرکت و انتشار گردوغبار پس از وقوع طوفان به سمت شمال و شمال شرقی است که این امر باعث گسترش آلودگی و تشدید غلظت گردوغبار در شهرهایی نظیر بندرعباس، قشم، میناب، رودان، جیرفت، کهنوج، بم،

ایرانشهر، خاش، میرجاوه و زاهدان می‌شود. قادری و عزیزی (۱۳۹۹)، برای پایش و مسیریابی گردوغبار در استان خوزستان و غرب کشور از داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس محصول MOD۰۲۱KM استفاده کردند. نتایج همبستگی نشان داد پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت رابطه‌ای با گردوغبارهای استان خوزستان و غرب کشور نداشته‌اند، و از کشورهای همسایه عراق، عربستان، سوریه و اردن وارد شده است بنابراین می‌توان گردوغبار را پدیده‌ای خارجی محسوب کرد. میری (۱۳۹۹)، با استفاده از شاخص‌های DDI (روزهایی که سرعت باد بیشتر از ۱۵ متر بر ثانیه و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشد) و DSI (شاخص غبارناکی) و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM۱۰ طوفان‌های گردوغبار سیستان را مورد تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدن که در بازه زمانی ۲۷ ساله مورد بررسی شرایط غبارناکی بر منطقه سیستان حاکم بوده و در مقایسه با سایر مناطق ایران از وضعیت بحرانی‌تری از غبارناکی برخوردار بوده است. امیدوار و سپندار (۱۳۹۷)، وضعیت گردوغبار در ٦ ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه در دوره ی ۲۰۱۰- ۱۹۸۷ را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای MODIS و با کاربرد شاخص دمای درخشایی، آشکارسازی گردوغبار انجام و قلمرو گسترش آن مشخص شد. نتایج تحقیق نشان داد که در سطح زمین هنگامی که سامانه‌ی پرفشار اروپائی به شمال و غرب عقب نشینی می‌کند در مناطق شرقی دریای مدیترانه کم فشار سودانی گسترش یافته و این سامانه در جهت جنوب غرب به شمال‌شرق جابجا می‌شود و با ورود آن‌ها به منطقه آشفتگی ایجاد می‌شود و به دلیل نبود رطوبت باعث گردوخاک می‌شود، منابع عمده‌ی گردوغبارهای وارده به استان کرمانشاه شامل بیابان‌های شمال عربستان، جنوب و غرب عراق و تا حدودی شمال صحرای افریقا می‌باشند. خواجه امیری و سالاری (۱۳۹۷)، در تحقیقی به واکاوی آماری همدیدی و همچنین شرایط پیدایش و منشأ طوفان‌های گردوغبار در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ در ایستگاه سینوپتیک چابهار که شاهد افزایش ناگهانی گردوغبار نسبت به دوره‌های قبل بوده است پرداخته شد. نتایج حاصل بیانگر آن است که ماه جولای با مجموع ۱۲٦ روز و ماه سپتامبر با مجموع ۳۲ روز در ماه دارای بیشترین و کمترین و سال ۲۰۰۸ با ۱۲۲ روز و سال ۲۰۱۰ با مجموع ۸ روز در طول سال به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار بوده‌اند. بررسی نقشه‌های همدیدی اعم از نقشه‌های سطح بالا و سطح زمین نشان داد که هسته اولیه این رخداد بر روی بیابان‌های عربستان شکل گرفته است که در ادامه با تقویت و گسترش این هسته و ایجاد شیو فشار و همچنین تأثیر هماهنگ فراز شکل گرفته بر روی عربستان و و فرود عمیق در شرق کشور، منطقه مورد بررسی نیز تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته است و گسترش آن به شهرهای نیمه شمالی استان یعنی زاهدان و زابل نیز رسیده است. ارجمند و همکاران (۱۳۹۷)، به منظور بررسی گردوغبار در منطقه جازموریان از داده‌های ماهواره‌ای شامل شاخص گردوغبار AAI و شاخص عمق نوری گردوغبار AOD بدست آمده از سنجنده های TOMS، MISR، OMI وMODIS استفاده گردید. نتایج نشان داد که ساخت سدهای متعدد بر سر راه رودهای تغذیه کننده جازموریان و در نتیجه وقوع خشکسالی‌ها علت وجود گردوغبار دراین منطقه می‌باشد. و عمده وقایع گردوغبار در دو فصل بهار وتابستان اتفاق می افتد.در گذشته به طور کلی پایش ذرات گردوغبار به کمک ایستگاه‌های زمینی انجام می‌پذیرفت که به دلیل ماهیت اندازه‌گیری نقطه‌ای اگرچه از دقت بالایی برخوردار بودند اما گستره مکانی بسیار محدودی 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. این در حالی است که در بسیاری از مناطق بیابانی که عمدتاً طوفان‌های گردوغبار از آن‌ها سرچشمه می‌گیرند، به دلیل صعب‌العبور بودن و عدم دسترسی آسان؛ امکان تهیه چنین داده‌هایی نیز همواره میسر نیست. 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. به کمک داده‌های 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 و حتی لحظه‌ای پایش و مطالعه نمود.

استان سیستان‌وبلوچستان یکی از کانون‌های پر خطر از نظر وجود گردوغبارها و آلودگی‌ها در ایران است. گردوغبارها در سال‌های اخیر مشکلات زیادی را برای شهروندان و سیستم شهری ایجاد کرده است که می‌توان به اختلال در شبکه انتقال برق، کاهش راندمان کشاورزی، کاهش حضور گردشگران در منطقه، کاهش منابع آب و افزایش بیماری‌ها به خصوص مشکلات تنفسی، مانع از

توسعه و رشد شهرها و... شده است که برای رفع آن نیازمند اختصاص بودجه‌های بیشتر و صرف هزینه‌های زیاد می‌باشد. ریزگردها بر مسکن شهری، ترابری شهری، تسهیلات و تأسیسات و مالی شهری تأثیر بسزایی داشته و برای ترمیم هر یک نیاز به صرف بودجه زیاد می‌باشد. در استان سیستان‌وبلوچستان هنوز تحقیق جامعی در راستای سنجش میزان تأثیرپذیری پایداری شهری از مسئله گردوغبارها صورت نگرفته است که این مسئله تهدیدی جدی برای پایداری توسعه شهری محسوب می‌شود. بر این اساس قبل از هر برنامه‌ریزی نیازمند سنجش میزان تأثیرپذیری پایداری شهری در استان از گردوغبارها می‌باشد و بر همین اساس مهمترین مسئله پژوهش حاضر این است که مخاطرات محیطی(گردوغبار) کدام شهرهای استان سیستان‌وبلوچستان را تحت تأثیر قرار داده است؟ منشأ گردوغباری که وارد استان سیستان‌وبلوچستان می‌شود کجاست و این گردوغبار توسط چه سامانه‌هایی و از چه مسیرهایی وارد جو می‌شوند؟

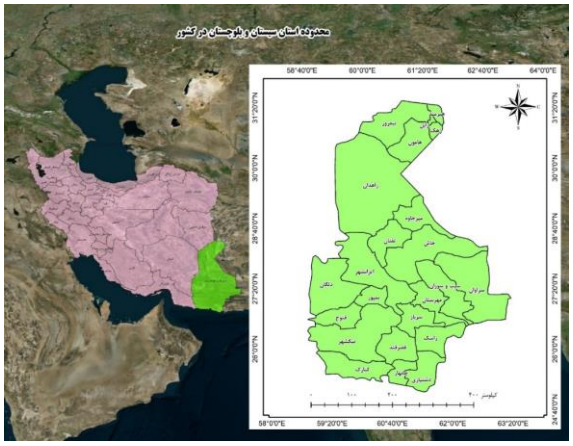
۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

از آن جایی که استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران سال‌ها درگیر پدیده گردوغبار است این منطقه به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. استان سیستان‌وبلوچستان با وسعت ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع بیشتر از ۱۱٪ از مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. و وسیع ترین استان کشور می‌باشد. از شمال به خراسان جنوبی، از غرب به استان کرمان و هرمزگان، از جنوب به دریای عمان و از شرق به کشور افغانستان و پاکستان محدود است و دارای اقلیم گرم و خشک با متوسط بارندگی سالانه کم (۱۴۰ میلیمتر)، درجه حرارت بالا (میانگین سالانه ۲۲ درجه سانتی گراد) و بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد(سازمان هواشناسی کشور،۱۴۰۱).

- داده ها

سنجنده مادیس اطلاعات خود را از ماهواره ترا و آکوا دریافت می‌کند و دامنه‌ی طیفی آنها از ۰.۴ الی ۱۴.۳۸۵ میکرومتر (مرئی تا مادون قرمز) را پوشش می‌دهد. قدرت تفکیک بالای زمانی




شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

داده‌ها سبب می‌شود که طوفان‌های این پدیده به طور مداوم بررسی شود. این تصاویر عمق اپتیکی را در تمام سطح کره زمین در مدت زمان ۱ تا ۲ روز به دست می‌دهند و هر چه این عمق بیشتر باشد مقدار گردوغبار در جو بیشتر است. عمق اپتیکی آئروسل سطحی را نشان می‌دهد که ذرات موجود در هوا (آئروسل‌ها) از عبور نور از جو، جلوگیری می‌کنند. آئروسل‌ها، نور ورودی از خورشید را پراکنده و جذب می‌کنند که باعث کاهش دید و افزایش عمق اپتیکی می‌شود. عمق اپتیکی کمتر از ۰.۱ آسمانی صاف با حداکثر دید را نشان می‌دهد با افزایش عمق اپتیکی آئروسل به ۰.۵، ۱ و بیشتر از ۳، آئروسل‌ها آنقدر متراکم می‌شوند که خورشید پنهان می‌شود در این تحقیق از محصول ترکیبی عمق اپتیکی آئروسل سنجنده مادیس (ماهواره ترا و آکوا) استفاده شده است. این محصول به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۲ کیلومتر در اختیار می‌باشد و می تواند یک دید سریع و یکدست از سطح آئروسل موجود در جو ارایه دهد (سایت worldview.earthdata).ماهواره Sentinel ۵ در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷ صرفاً برای پایش و کنترل آلاینده‌های هوا به فضا ارسال شد. سنجنده Tropomi به صورت روزانه نقشه‌های آلودگی هوا را تهیه می‌کند و از باندهای ماوراءبنفش (۳۲۰-۲۷۰ نانومتر)، محدوده مرئی (۳۱۰-۵۰۰ نانومتر) و مادون‌قرمز طول موج کوتاه (۲۳۸۵-۲۳۰۵ نانومتر) پشتیبانی می‌کند. این ماهواره به نحو قابل قبولی در شناسایی گازهای $O_3$, $NO_2$, $SO_2$, CO و AIمفید است. برنامه GEE (Google Earth Engine) بستری برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی در مقیاس سطح کره زمین است. در GEE مجموعه بسیار بزرگی از سری زمانی انواع تصاویر ماهواره‌ای در هر دو محدوده اپتیک و راداری است و از طریق رابط برنامه نویسی

کاربردی API تحت اینترنت و محیط IDE (توسعه تعاملی مبتنی بر وب) امکان نمونه‌سازی سریع و تجسم نتایج را فراهم می‌کند. با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون، API تحت وب اجرا و الگوریتم و نقشه‌های مورد نیاز تولید می‌شود. مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و پروداکت‌های به دست آمده در GEE شامل محصولاتی از جمله متغیرهای محیطی، تغییرات آب و هوا و اقلیم، کاربری و پوشش زمین، توپوگرافی و داده‌های اقتصادی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای شامل (Aqua/Terra) Modis ، Sentinel ۱, ۲, ۳, ۵ ، Landsat ۱ -۸، VIIRS، GPM و GOES است.با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون در محیط برنامه GEE اقدام به فراخوانی پروداکت‌های مختلف مربوط به شاخص AOD بر روی تصاویر ماهواره ترا و آکوا (سنجنده مادیس) در طول دوره زمانی ۲۲ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰) و شاخص Absorbing_Aerosol_Index تصویر ماهواره‌ای سنتینل -۵ برای سال ۱۴۰۰، ۱۳۹۹، ۱۳۹۸ ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به صورت میانگین تصاویر از سنتینل ۵ در مقیاس مکانی استان سیستان و بلوچستان استخراج شدند. در ابتدا، برای هر یکی از پروداکت‌های مادیس و سنتینل -۵ یک تابع خام تعریف شد. هر تابع میانگین غلظت آلاینده‌ها را در یک مرز مطالعاتی مشخص و یک بازه زمانی تعیین می‌کنند. هر تابع دارای چندین ورودی است و اولین ورودی مجموعه داده است که شامل تصاویر ماهواره‌ای با یک زمان شروع و یک زمان پایان است. به عنوان ورودی تابع انتخاب و خروجی نیز به صورت مجموعه‌ای از تصاویر فراخوانی شده در فیلتر زمانی (سال بازه مطالعاتی) مکانی (مرز منطقه مطالعاتی) اجرا شد. هر تابع نیز بر روی باند ویژه مرتبط با مجموعه تصاویر مدنظر اعمال شد. سپس نقشه مکانی میانگین غلظت آئروسل‌ها در هر سال به فرمت تیف مورد تحلیل قرار گرفت. مشخصات محصولات استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده است و سپس این نقشه ها در نرم افزار ArcGIS آماده شدند و در نهایت از داده‌های هواشناسی میانگین سرعت باد برای اعتبار سنجی داده‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در SPSS بین دو تصویر ماهواره‌ای مادیس و سنتینل ۵ در این تحقیق استفاده شد.

جدول ۱- میان مشخصات محصولات ترا و آکوا و سنتینل-۵ برای شاخص‌های AOD-AI

| باند | مجموعه تصاویر | محصول | ماهواره |
|---|---|---|---|
| Optical_ Depth _۰۵۵ | MODIS/ ۰۰۶/ MCD۱۹A۲_ GR ANULES | MCD۱۹A۲,۰۰ ٦: □□□□□ □ Aqua MAIAC Land Aerosol Optical Depth Daily ۱km | ترا / آکوا |
| Absorbing _ Aerosol_ Index | COPERNICUS/ S۵P/ NRTI/ L۳_AER_AI | Sentinel- ۵P NRTI AER AI: Near Real-Time UV Aerosol Index | سنتینل – ۵ |

**۳- نتایج**

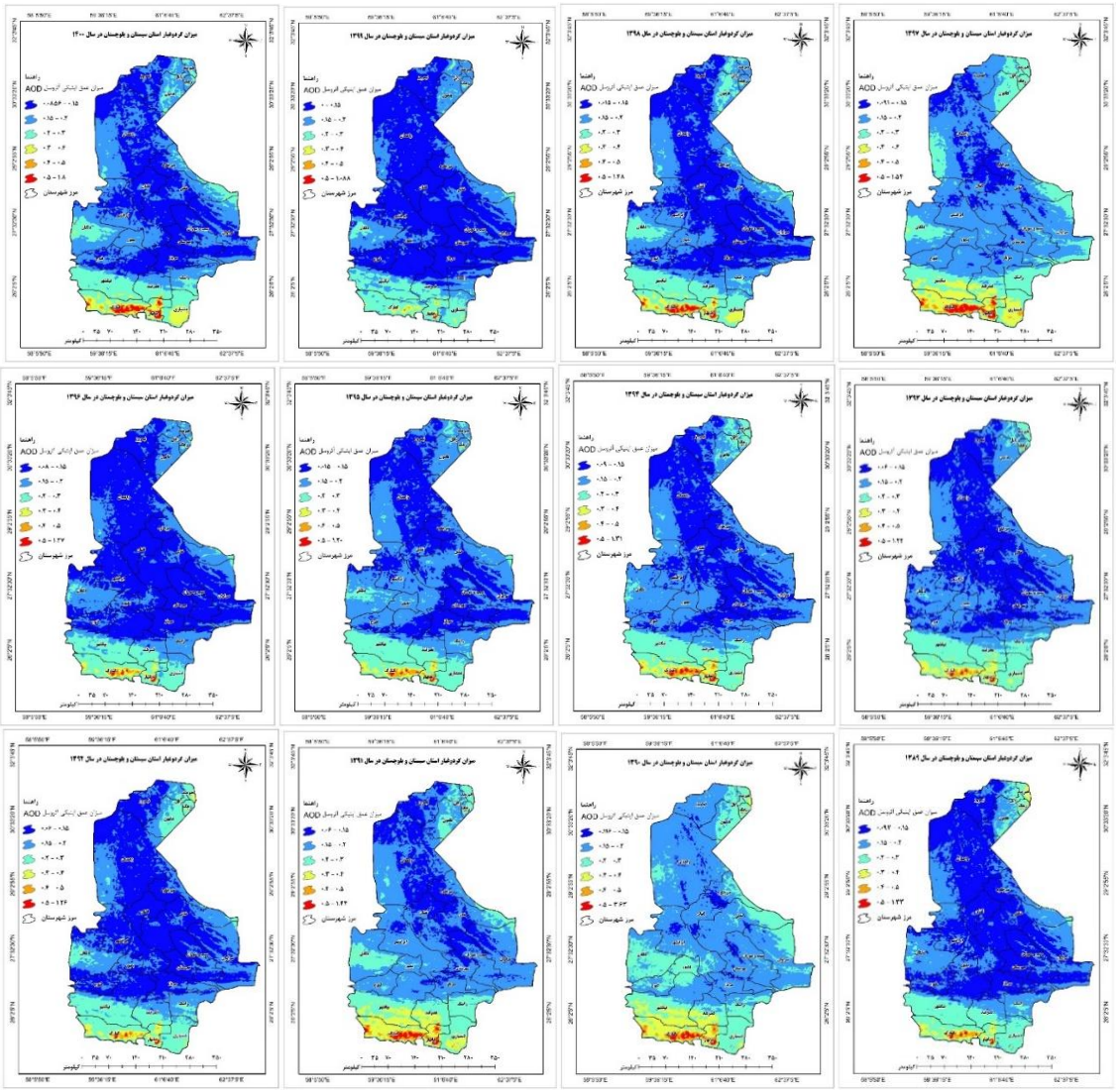
بعد از استخراج تصاویر مادیس میانگین سالانه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ از سامانه گوگل ارث انجین در محیط نرم افزار ArcGIS میزان عمق اپتیکی آئروسل در ٦ کلاس طبقه بندی شدند. رنج هر کلاس در جدول زیر تهیه شد:

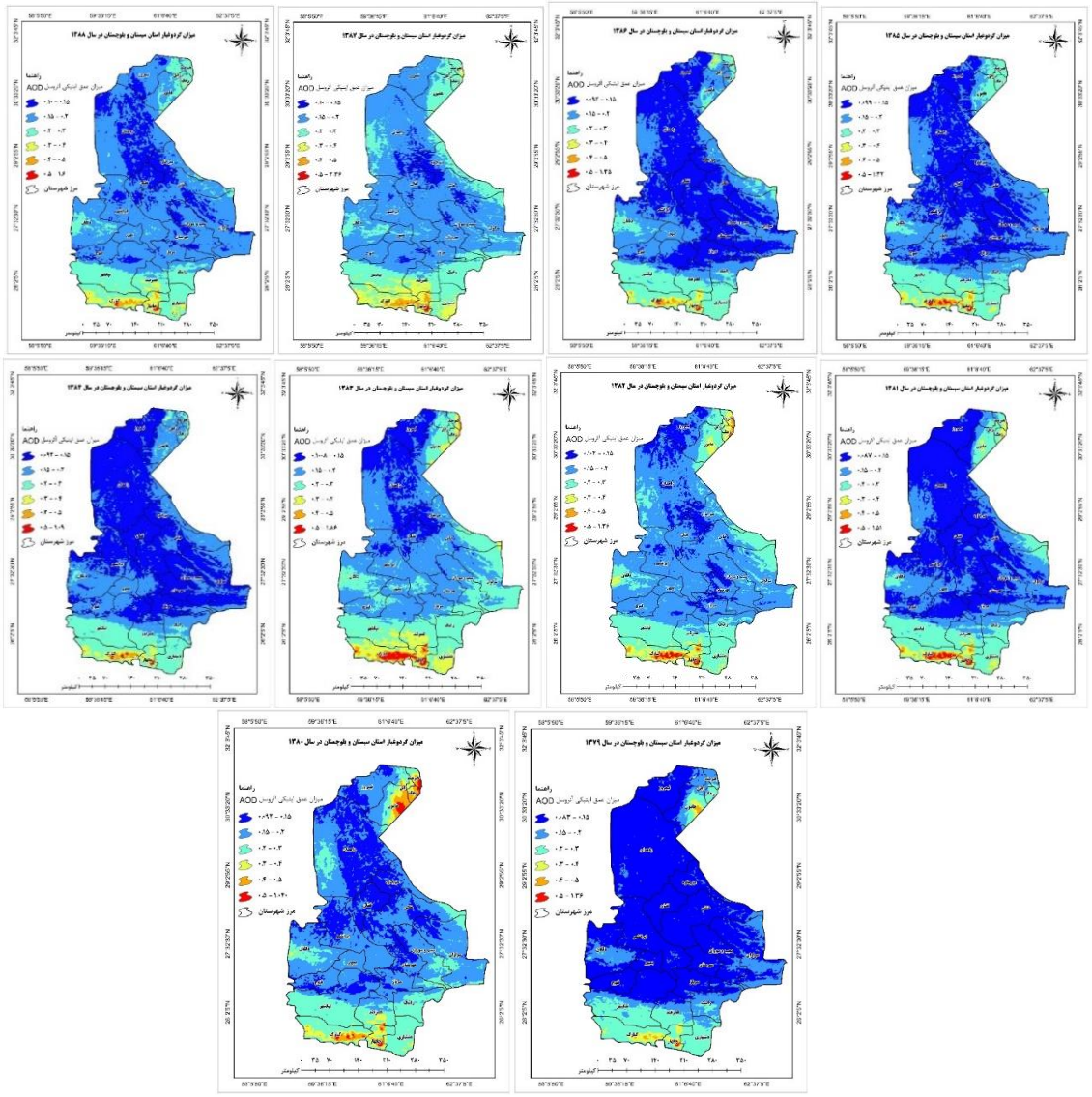
جدول ۲ : طبقه‌بندی عمق اپتیکی آئروسل(AOD)

| کلاس گردوغبار | عمق اپتیکی آئروسل |
|---|---|
| بدون گردوغبار | < - ۰/۱۵ |
| ضعیف | ۰/۱۵ - ۰/۲ |
| متوسط | ۰/۲ - ۰/۳ |
| شدید | ۰/۳ - ۰/٤ |
| خیلی شدید | ۰/٤ - ۰/۵ |
| بسیار طوفانی | ۰/۵ - > |

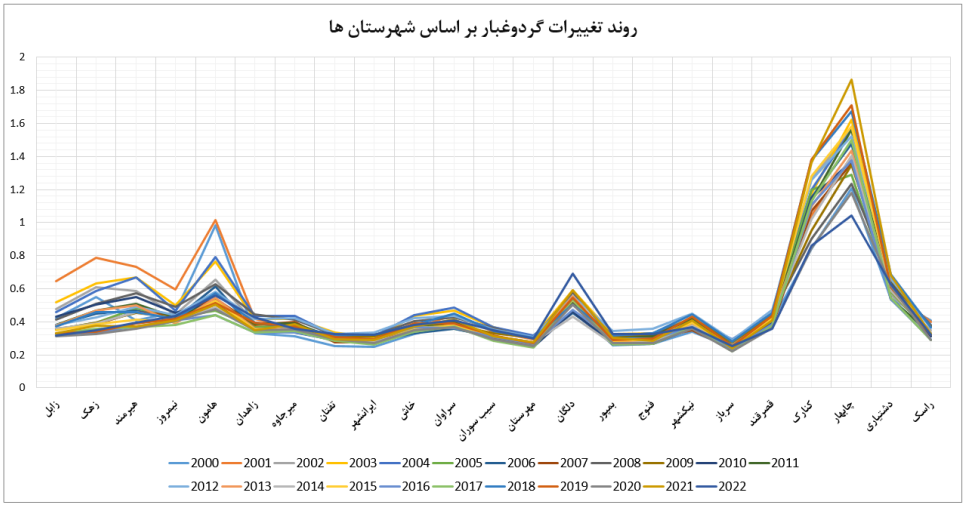
نتایج بدست آمده از تصاویر ماهواره مادیس در طول دوره ۲۲ ساله نشان می‌دهد در نواحی شمالی استان شهرهای زابل، زهک، هیرمند و هامون؛ در نواحی شرقی استان شهرهای میرجاوه، خاش و بخش‌های شمالی شهر سراوان؛ در نواحی غربی استان در بخش‌های غرب شهر زاهدان و شهر دلگان؛ در نواحی جنوب استان شهرهای نیکشهر، قصرقند، دشتیاری، چابهار و کنارک در طول این دوره ۲۲ ساله درگیر گردوغبارها بوده‌اند. در جنوب استان به دلیل وجود استقرار یک مرکز کم‌فشار بر روی شمال-شرق کشور و منطقه مورد مطالعه و استقرار یک مرکز پرفشار بر روی بیابان‌های عربستان است که تقابل این دو مرکز و ایجاد شیو فشار و همچنین تأثیر هماهنگ فراز شکل گرفته بر روی عربستان و نیمه غربی کشور و فرود عمیق در شرق کشور سبب

انتقال و ریزش گردوغبار به منطقه شده است که بیشترین گردوغبار را دارند در نواحی مرکزی استان به دلیل نواحی کوهستانی و ارتفاعات کمترین گردوغبار را داشته است. روند تغییرات گردوغبار به صورت میانگین ماهانه در هر سال از گوگل ارث انجین استخراج شدند و سپس میانگین برای هر سال جداگانه تهیه و نمایش داده شد. همانطور که در نمودار(۱) روند تغییرات گردوغبار بر اساس نام شهرستان‌ها نشان می‌دهد شهرستان‌های چابهار و کنارک بیشترین میزان گردوغبار را تا مقدار ۱.۸ تجربه کرده است و بعد شهرستان هامون تا مقدار ۱ و شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند، نیمروز و دلگان بین ۰.٤ تا ۰.٦ میزان عمق آئروسل را در طول این دوره ۲۲ ساله تجربه کرده‌اند. روند تغییرات گردوغبار بر اساس ترتیب سال‌ها در نمودار (۲) نمایش داده شد. همانطور که نمودار زیر نشان می‌دهد میزان گردوغبار در طول سال‌ها روند کاهشی یا افزایشی نداشته است و به طور متوسط در تمامی شهرها میزان عمق اپتیکی آئروسل بین ۰.۲ تا ۰.۷ را در کلاس متوسط، شدید، خیلی شدید و طوفانی داشته‌اند. شهرهای شمالی استان زابل، زهک، هیرمند، هامون و نیمروز در سال۲۰۰۱(۱۳۸۰) و ۲۰۰۳(۱۳۸۲) نسبت به بقیه سال‌ها بیشترین میزان گردوغبار را داشته است و شهرهای کنارک و چابهار در طول تمام سال‌ها بیشترین گردوغبار را در رنج بین ۰.۹ تا ۱.۸ در کلاس خیلی طوفانی قرار دارند و در طول سال‌ها هم این مقدار افزایشی داشته است.

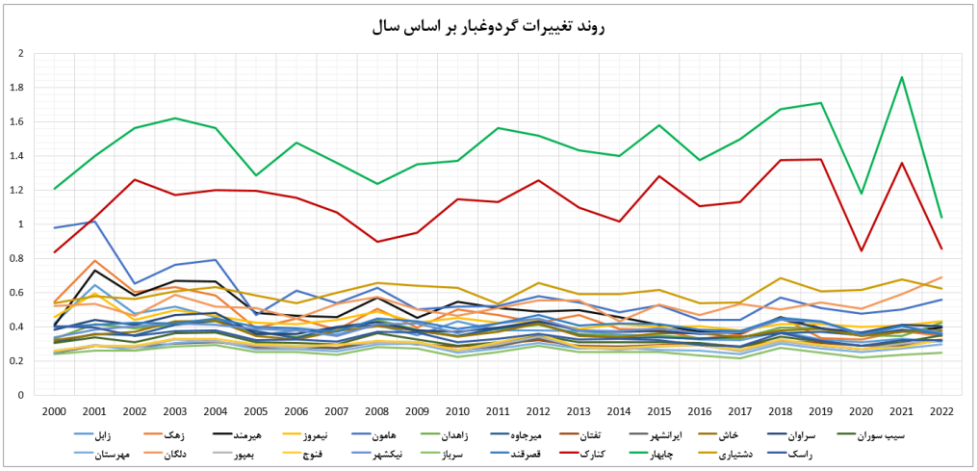




شکل ۳ : میانگین سالانه شاخص عمق اپتیکی آئروسل از سال ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰




نمودار ۱ : روند تغییرات گردوغبار بر اساس شهرستان‌ها

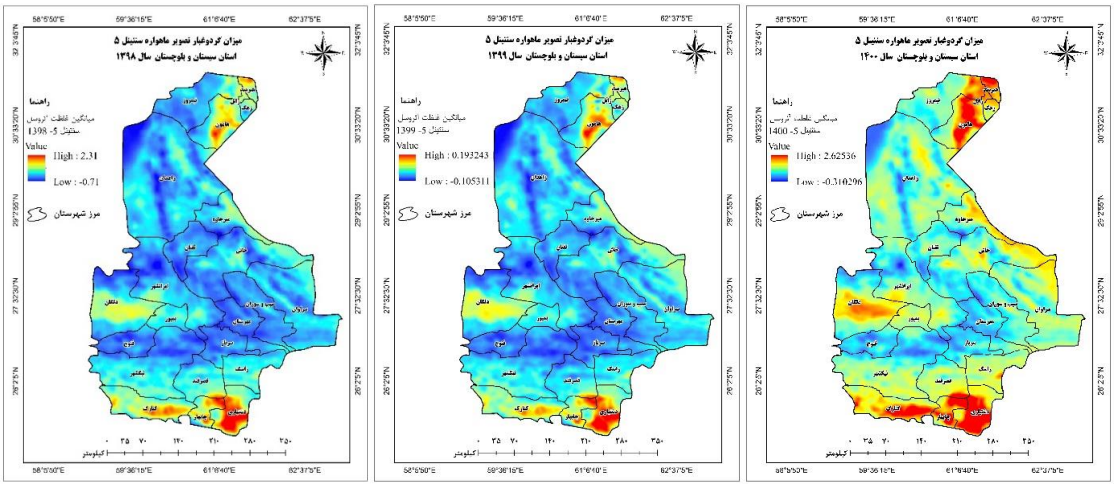



نمودار ۲ : روند تغییرات گردوغبار بر اساس سال

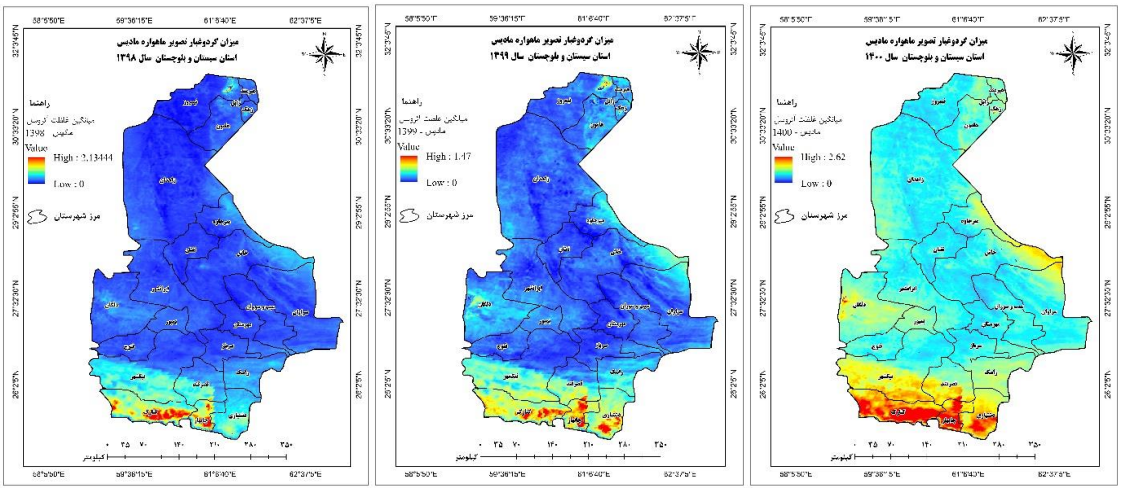
سپس سه دوره سال ۱۴۰۰، ۱۳۹۹، ۱۳۹۸ برای ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور که در طول سال بیشترین گردوغبار را دارند به صورت میانگین از ماهواره سنتینل ۵ شاخص Absorbing_Aerosol_Index و مادیس شاخص AOD در استان استخراج شدند. همانطور که تصاویر این دو ماهواره نشان می‌دهد شهرهای شمالی، جنوبی و غرب استان درگیر گردوغبار هستند. یکی از مهم‌ترین موارد مطالعات اقلیمی شناخت روابط موجود بین متغیرهای مورد مطالعه است. مهم‌ترین شاخص تبیین روابط بین متغییرها ضریب همبستگی است. در این مطالعه داده‌های میانگین سرعت باد به عنوان متغییر مستقل و تصاویر ماهواره سنتینل-۵ و مادیس به عنوان متغییر وابسته در محیط نرم افزار SPSS با تکنیک همبستگی پیرسون مورد تحلیل واقع شدند. جدول ۳ نتایج ضریب همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد. تصاویر سنتینل-۵ در سال ۱۴۰۰ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۲ و سال ۱۳۹۹ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۹ و سال ۱۳۹۸ با ضریب همبستگی ۰.۱۳۶ و سطح معنی‌داری ۹۹ درصد با داده‌های هواشناسی دارای رابطه مستقیم می‌باشند. که این نتایج نشان می‌دهد تصاویر سنتینل ۵ می‌تواند به عنوان مکملی در شناسایی کانون‌های گردوغبار مفید واقع شود.

| داده ها | سنتینل -۵ | مادیس |
|---|---|---|
| های هواشناسی سال ۱۴۰۰داده | ۰.۲۷۲** | ۰.۰۳۲ |
| های هواشناسی سال ۱۳۹۹داده | ۰.۲۷۹** | ۰.۱۰۸* |
| های هواشناسی سال ۱۳۹۸داده | ۰.۱۳۶** | -۰.۲۳۰** |

جدول۳: نتایج ضریب همبستگی بین متغییرها

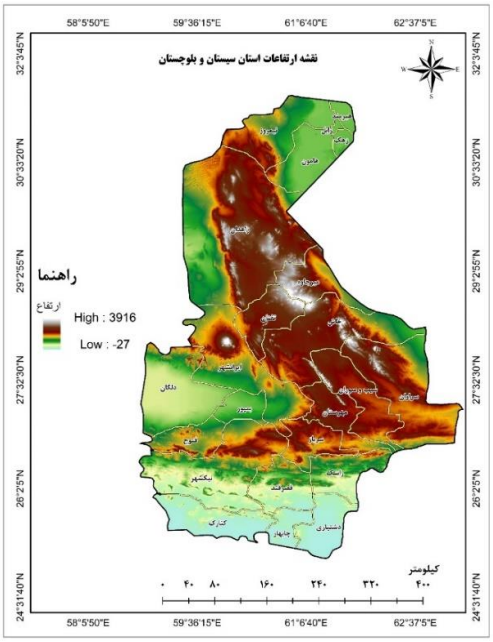



شکل٤: تصاویر سنتینل ۵ سال ۱۴۰۰، ۱۳۹۹، ۱۳۹۸

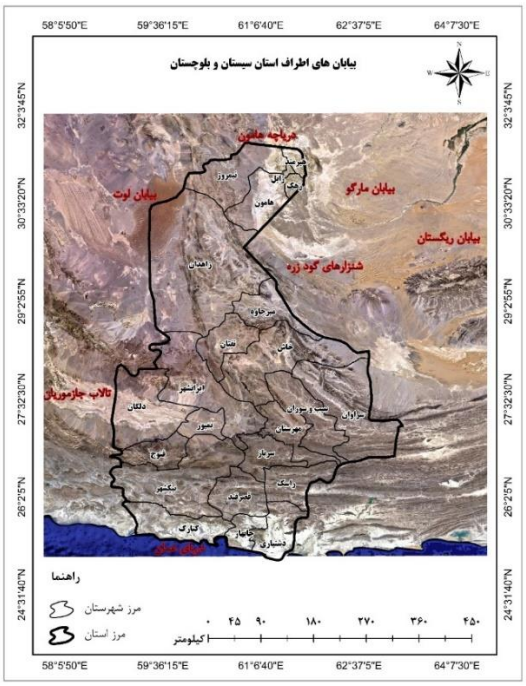



شکل۵: تصاویر مادیس سال ۱۴۰۰، ۱۳۹۹، ۱۳۹۸

همانطور که شکل (٦) نشان داده شد بیشترین ارتفاعات و کوهستان‌های استان سیستان‌وبلوچستان از شمال غرب تا جنوب شرق امتداد دارند و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در مرکز استان ۳۹۱٦ و حداقل ارتفاع ۲۷- می‌باشد. بنابراین وجود خشکسالی‌های متعدد در این مناطق، کاهش پوشش‌گیاهی و خشک‌شدن دریاچه هامون در شمال استان، وجود بیابان‌های مارگو، ریگستان و شنزارهای گودزره در کشور افغانستان و پاکستان در شرق استان و همچنین بیابان لوت و خشکسالی تالاب جازموریان در غرب و به دلیل وجود مرکز کم‌فشار بر روی شمال‌شرق کشور و استقرار یک مرکز پرفشار بر روی بیابان‌های عربستان طوفان‌های گردوغبار را از سمت جنوب به داخل استان انتقال می‌دهد. شکل (۷).




شکل ٦ : نقشه ارتفاعات استان سیستان و بلوچستان




شکل ۷ : نقشه بیابان‌های اطراف استان سیستان و بلوچستان

## ٤- نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه مورد بررسی قرار گرفت می‌توان بیان داشت که ریزگردها مدتی است که به دغدغه‌ای همگانی در سطح منطقه‌ای و بین المللی تبدیل شده‌اند. فعالیت طوفان‌های گردوغبار و ریزگردها در سال‌های اخیر به مشکل زیست محیطی مهمی در نواحی شرقی و جنوب شرقی کشور ایران تبدیل شده است. ریزگردها آسیب های اجتماعی و اقتصادی زیادی را می تواند ایجاد نماید که اثرات آن شامل کاهش تولید کشاورزی و کاهش آب زیرزمینی، کاهش جریان آب در رودخانه‌ها و جویبارها، در معرض خطر قرار گرفتن اکوسیستم‌های طبیعی یا انسانی،

فرسایش خاک، ازبین رفتن احشام و حیات وحش، همچنین کاهش درآمد کشاورزان، کاهش درآمد مالیاتی دولت، افزایش هزینه آب و حمل‌ونقل، افزایش مهاجرت کشاورزان به شهرهای کوچک و بزرگ و کاهش تولید می‌گردد. این پژوهش با هدف فهم مسائل و چالش‌های پیش روی سیاست گذاران در حوزه توسعه پایدار و به طور خاص پدیده ریزگردها در شرق کشور انجام شده است. پدیده ریزگردها در حوزه زیست محیطی باعث برهم خوردن تعادل نظام زیستی جامعه شده است. این نوع تغییر اقلیم به حدی بر سبک و کیفیت زندگی مردم تأثیر گذار بوده است که از یک سو بستر بی اعتمادی به نهادهای مسئول را فراهم آورده و از سوی دیگر پایداری توسعه را در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی بشدت تهدید می‌کند. پدیده ریزگردها را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عاملی در نظر گرفت که کیفیت زندگی ساکنین و رشد توسعه شهرها را پایین آورده است. کنترل منشأ شکل‌گیری این پدیده به برنامه‌های کلان ملی و فراملی نیاز دارد. این تحقق با مشخص نمودن منشا ریزگردها و نواحی اصلی ایجاد گردوغبار و شهرهایی که بیشتر تحت تأثیر این ریزگردها قرار دارند، راهکارها و پیشنهاداتی در جهت کاهش این پدیده طبیعی ارائه گردیده است. نتایج داده‌های سنجنده مادیس شاخص AOD از سال ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ استخراج شدند نشان می‌دهد در نواحی شمالی استان شهرهای زابل، زهک، هیرمند و هامون؛ در نواحی شرقی استان شهرهای میرجاوه، خاش و بخش‌های شمالی شهر سراوان؛ در نواحی غربی استان در بخش‌های غرب شهر زاهدان و شهر دلگان؛ در نواحی جنوب استان شهرهای نیکشهر، قصرقند، دشتیاری، چابهار و کنارک در طول این دوره ۲۲ ساله درگیر گردوغبارها بوده‌اند و ایرانشهر و نیکشهر کمترین گردوغبار را داشته‌اند. روند تغییرات گردوغبار نشان می‌دهد شهرستان‌های چابهار و کنارک بیشترین میزان گردوغبار را تا مقدار ۱.۸ تجربه کرده است و بعد شهرستان هامون تا مقدار ۱ و شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند، نیمروز و دلگان بین ۰.٤ تا ۰.٦ میزان عمق آئروسل را در طول این دوره ۲۲ ساله تجربه کرده‌اند. میزان گردوغبار در طول سال‌ها روند کاهشی یا افزایشی نداشته است و به طور متوسط در تمامی شهرها میزان عمق اپتیکی آئروسل بین ۰.۲ تا ۰.۷ را در کلاس متوسط، شدید، خیلی شدید و طوفانی داشته‌اند. شهرهای شمالی استان زابل، زهک، هیرمند، هامون و نیمروز در سال ۲۰۰۱(۱۳۸۰) و ۲۰۰۳(۱۳۸۲) نسبت به بقیه سال‌ها بیشترین میزان گردوغبار را داشته است و شهرهای کنارک و چابهار در طول تمام سال‌ها بیشترین گردوغبار را در رنج بین ۰.۹ تا ۱.۸ در کلاس خیلی طوفانی قرار دارند و در طول سال‌ها هم این مقدار افزایشی داشته است. در نهایت تصاویر ماهواره سنتینل-۵ و مادیس با داده‌های هواشناسی در نرم افزار SPSS با ضریب همبستگی پیرسون مقایسه شدند تصاویر سنتینل-۵ سال ۱۴۰۰ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۲ و سال ۱۳۹۹ با ضریب همبستگی ۰.۲۷۹ و سال ۱۳۹۸ با ضریب همبستگی ۰.۱۳٦ و سطح معنی‌داری ۹۹ درصد با داده‌های هواشناسی دارای رابطه مستقیم می‌باشند. که این نتایج نشان می‌دهد تصاویر سنتینل-۵ می‌تواند به عنوان مکملی در شناسایی کانون‌های گردوغبار مفید واقع شود. منابع تولید گردوغبار در منطقه خشک‌سالی دریاچه هامون در شمال استان و تالاب جازموریان در غرب و بیابان کویر در شمال غربی استان و ریگستان‌های بزرگ در کشور افغانستان و پاکستان و طوفان گردوغبار نواحی جنوبی ناشی از استقرار یک مرکز کم‌فشار بر روی شمال‌شرق کشور و منطقه مورد مطالعه و استقرار یک مرکز پرفشار بر روی بیابان‌های عربستان است که تقابل این دو مرکز و ایجاد شیو فشار و همچنین تأثیر هماهنگ فراز شکل گرفته بر روی عربستان و نیمه غربی کشور و فرود عمیق در شرق کشور سبب انتقال و ریزش گردوغبار به داخل استان شده است.

این پژوهش با تحقیق ارجمند و همکاران ۱۳۹۷ همسو می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد چند نقطه در جنوب شرق ایران به عنوان کانون تولید گردوغبار؛ زابل، منطقه‌ای در پاکستان نزدیک به مرز ایران، سواحل مکران و منطقه جازموریان شناسایی گردید و علت افزایش رخداد طوفان‌های گردوغبار را می‌توان در نتیجه ساخت سدهای متعدد بر سر راه رودهای تغذیه کننده جازموریان و در نتیجه خشک شدن تدریجی آن دانست و افزایش ناگهانی در مقادیر می‌تواند در نتیجه وقوع خشکسالی‌ها باشد. با نتایج میری(۱۳۹۹)، حسین آبادی و همکاران(۱۳۹۹) و میر و همکاران (۱۴۰۰) همسو می‌باشد. فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغبار در منطقه سیستان نسبت به سایر مناطق بیش‌تر و بحرانی‌تر می‌باشد. و سرعت باد تغییرات زیادی نداشته است. بارندگی‌ها کاهش و دما افزایش یافته است. از آنجایی که غبارناکی منطقه سیستان به وضعیت تالاب هامون مرتبط است به نظر می‌رسد بهترین راه جهت کاهش طوفان‌های گردوغبار احیای این دریاچه بوده تا بتوان شرایط تشکیل این پدیده را به حداقل رساند. در پژوهش راهی‌زهی و همکاران (۱۳۹۸) برای آشکارسازی پدیده گردوغبار با استفاده تحلیل آمار فضایی با دو

شاخص آماره عمومی محلی انسلین و شاخص لکه‌های داغ، نقشه‌های خوشه‌ای گردوغباری تهیه شده‌اند که استان را به سه خوشه تقسیم بندی کرده است. نواحی جنوبی، چابهار، کنارک، زرآباد از خوشه بالای گردوغباری برخوردارند و در شرق سراوان، سیب و سوران و مهرستان و در شمال زاهدان به عنوان خوشه های بالا- پایین گردوغباری شناسایی همچنین ناحیه غربی استان، بزمان، دلگان، کاروانسر قسمتی از شهرستان خاش، نوک‌آباد و اسکل‌آباد از ارزش پایین گردوغباری برخوردارند شناسایی شدند همچنین جهت حرکت باد در شمال استان شمال غربی بوده است در حالی در جنوب استان جهت باد جنوب غربی بوده است. همچنین این تحقیق نتایج خسروی و همکاران (۱۴۰۰) را تایید می‌کند. بیشینه مقدار غلظت هواویزه متعلق به نواحی همچون زابل، زهک، هیرمند، هامون، ایرانشهر، بمپور، حوضه جازموریان، چابهار و کنارک می‌باشد. به طور متوسط بیشترین تغییرات زمانی غلظت هواویزه مربوط به نواحی جنوبی استان شامل دشتیاری، پلان و چابهار می‌باشد.

جهت حل مشکل در سطح منطقه‌ای پیشنهاداتی انجام شده یکی از راه حل‌ها استفاده از آب دریای عمان جهت به زیر آب بردن مناطق خشک می‌باشد که می‌توان دریاچه‌ها وتالاب‌ها را احیا کرد. راه حل دوم بهینه سازی راندمان مصرف آب از طریق آموزش کشاورزان و حذف گیاهان پر مصرف است و جایگزینی با گونه‌های گیاهی با راندمان بالا و دوره تولید کوتاه‌تر و استفاده از ارقام مقاوم خشکسالی می‌باشد. راه حل سوم اصلاح روش‌های آبیاری، شبکه‌های آبیاری و تجهیز و نوسازی اراضی، لایروبی کانال‌ها، نهرها و زهکش‌ها، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای می‌باشد. باید برای بیابان‌زدایی، برنامه جامعی را به اجرا درآورد و اگرچه مالچ پاشی تنها یک مسکن است و متعاقب آن می‌بایست با بررسی شرایط محیطی نسبت به درختکاری با استفاده از گونه‌های مقاوم گرمسیری و خشک بیابانی و کم آب به تقویت جنگل‌ها و مراتع اقدام نمود. با کشت گیاهان بومی و مناسب منطقه که بتوانند در برابر طوفان مقاومت کنند، می‌توان بادشکن‌هایی طبیعی بوجود آورد که با برخورد طوفان به این سدها مقدار زیادی از ذرات همراه آن زمین-گیر شده و از جابجایی بیشتر آن جلوگیری به عمل می‌آید. پیشنهاداتی که در سطح بین المللی انجام شده اینکه دولت بایستی با کارگروه‌های متخصص بین‌المللی در این حوزه، تعاملات خود را گسترش دهد و در این زمینه برنامه‌های مدون و سیاست‌های مشخص ایران را برای مقابله با پدیده ریزگردها و وضعیت‌های مشابه به سمع و نظر دولت‌های منطقه و جهان برساند. یکی از راه حل‌ها بازگرداندن حق‌آبه دریاچه هامون در شمال سیستان-وبلوچستان است و راه حل دوم جلوگیری از احداث سدهای متعدد بویژه بر روی رودخانه‌های فراه رود و هیرمند می‌باشد. پس، آنچه مسلم می‌باشد این است که زدودن کامل پدیده گردوغبارامکان‌پذیر نیست و با استفاده از روش‌های مدیریت شهری نوین می‌توان اثرات و پیامدهای این پدیده مخرب را در آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی، کیفیت زندگی شهری و سلامت شهروندان کاهش داد و با در نظر گرفتن این راهکارها و دقت در انجام آن‌ها، می‌توان گامی مؤثر در جهت پیشبرد اهداف توسعه پایداری شهری و رسیدن هرچه بهتر به این هدف برداشت.

منابع


- ارجمند، م.، راشکی، ع.، سرگزی، ح.، ۱۳۹۷. پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تأکید بر منطقه جازموریان. نشریه اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۷، شماره ۱۰۶، ص ۱۵۳-۱۶۸.
- امیدوار، ک.، سپندار، ن.، ۱۳۹۷. تحلیل همدید و پایش ماهواره ای پدیده ی گرد و غبار در استان کرمانشاه در بازه ی زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ مطالعه ی موردی: گرد و غبار فراگیر ۲۷ و ۲۸ خرداد ۱۳۸۸. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، دوره ۱۸، شماره ۴۹، ص ۱۸-۱.
- شهریاری، ک.، اردبیلی، ل.، ۱۳۸۹. بررسی پدیده گردوغبار و اثرات زیست محیطی آن. چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین دانشگاه ارومیه.

- بهوندی، س.، زندمقدم، م.، ارغان، ع.، کرکه‌آبادی، ز.، ۱۳۹۹. بررسی نقش مخاطرات محیطی(ریزگردها) براقتصاد جوامع شهری، مطالعه موردی: شهر اهواز. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال ۲۰، شماره ٥٦، ص ۲۹۷-۲۸۱.
- حسین آبادی، س.، یعقوب زاده، م.، فروزان مهر، م.، ۱۳۹۹. شناسایی گردوغبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس(مطالعه موردی: شهرستان زابل). کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. سال۸، شماره ۱، ص۱۸٦-۱٦۷.
- خواجه امیری خالدی، چ.، سالاری فنودی، م.، ۱۳۹۷. واکاوی آماری همدیدی توفان‌های گردوغبار در بندر چابهار. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.
- خواجه، م.، خیراندیش، ح.، پیشداد، سمیرا.، ۱۳۹۳. بررسی روند پدیده گردوغبار و مطالعه بادهای موثر بر آن (مطالعه موردی: شهربندرعباس، استان هرمزگان)، فصلنامه پژوهش های فرسایش محیطی، دوره چهارم، شماره٤ (١٦)، ص ٤٨-۳۷.
- راهی‌زهی, ح.، خسروی, م.، حمیدیان‌پور, م.، ۱۳۹۸. تحلیل فضایی زمانی غلظت گردوغبار در سیستان‌وبلوچستان با استفاده از سنجش ازدور (مطالعه موردی: گرد و غبار ۱۲ آگوست ۲۰۰۸),کنفرانس بین المللی گردوغبار در جنوب غرب آسیا, زابل.
- زند مقدم، م.، اصغری قاجاری، ج.، ۱۳۹۸. مدیریت بحران و نقش آن در توسعه شهری پایدار. نشریه علمی تخصصی شباک. سال ٥، شماره ٤٦.
- سلطانی، ک.، سلیمانی، ح.، جوادزاده، ز.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات ریزگردها بر توسعه پایدار با تأکید بر راه‌کارهای پیشگیری و کنترل آن(مطالعه موردی شهر اهواز). دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، تهران.
- شاهسونی، ع.، و همکاران.، ۱۳۸۹. اثرات طوفان‌های گردوغباری بر سلامت و محیط زیست، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، دوره۲ ،شماره٤ ،صفحات٥٦-٤٥.
- شایسته، ک.، غریبی، ش.، ۱٤۰۱. کاربرد سامانه GEE در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-٥. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۱(۳٤), ۱-۱٦.
- فارغ زاده, ن.، جمشیدی, ح.، ۱۳۹٦. شهر هوشمند با رویکرد توسعه پایدار, سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری شیراز.
- قادری، ب.، عزیزی، زهرا.، ۱۳۹۹. بکارگیری تصاویر ماهواره ای مادیس در منشایابی و تعیین مسیر طوفان های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران، نشریه هواشناسی و علوم جو، جلد ۳، شماره ۲، ص۱٤۸-۱٦۰.
- ملکی، س.، ملایی قلعه محمد، س.، منفرد، س.، ۱۳۹۱. توسعه پایدار و آلودگی محیطی با تأکید بر ریزگردها (نمونه مورد مطالعه: شهر اهواز). اولین همایش ملی جغرافیا، مخاطرات محیطی و توسعه پایدار. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
- میر، م.، ملکی، س.، راهداری، و.، ۱٤۰۰. بررسی تغییرات شدت و دامنه تأثیر طوفان‌های همراه باگردوغبار در دشت سیستان. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان. سال۱۰، شماره ۳۰، ص ۱۱۱-۱۲٥.
- میری، ع.، ۱۳۹۹. تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DDI و DSI و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM۱۰. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۷، شماره ۱، ص ۲۳-۱.
- دمی زاده، م.، مهدوی، ر.، نوروزی، ع.، غلامی، ح.، حلی ساز، ا.، ۱٤۰۰. بررسی مسیرهای انتشار گرد و غبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل .HYSPLIT مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۳، شماره۲، ص ٤٤٤-٤۳۱.
- یوسف وند، س.، سلمانوندی، ش.، قنبری، ع.، ۱۳۹۹. مخاطرات اجتماعی-سیاسی و اقتصادی ناشی از پدیده ریزگردها به عنوان مانعی فراروی پایداری توسعه (مورد مطالعه: استان کرمانشاه). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۲، شماره ۳.

- Esmaili, Omid & Tajrishy, Massoud & Daneshkar Arasteh, Peyman. (۲۰۰٦). Evaluation of dust sources in Iran through remote sensing and synoptical analysis. Atlantic Europe conference on remote imaging and, spectroscopy.

- Gao, T.; Han, J.; Wang, Y.; Pei, H., and Lu, Sh., (۲۰۱۱), Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during ۲۰۰۱–۲۰۰۸, Meteorological Applications, pp ۲۶۵-۲۷۸
- Li, X., Ge, L., Dong, Y., & Chang, H. C. (۲۰۱۰). Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. In ۲۰۱۰ IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. ۱۰۳۹-۱۰۴۲). IEEE.
- Peters A,( ۲۰۰۵),” Paticulate matter and heart disease: Evidence from epidemiological studies”, Toxicol Appl Pharmacol; ۱(۲۰۷): ۴۷۷-۸۰.
- Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., & Wang, L. (۲۰۰۶). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. IEEE Geoscience and remote sensing letters, ۳(٤), ٤٨٤-**٤٨٦.**
- R. Indoitu, L. Orlovsky, N. Orlovsky.(۲۰۱۲). Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations. Journal of Arid Environments,Volume ۸۵,Pages ۶۲-۷۰.
- Rashki, D., Kaskaoutis, G., Eriksson, P. G., de W., Rautenbach, C. J., Flamant, C., Abdi Vishkaee, F. (۲۰۱٤). "Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations". Nat Hazards. Vol:۷۱:۵۶۳–۵۸۵. DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰۶۹-۰۱۳-۰۹۲۷-۰ Remote Sens., ٤۲, ۵۵۷–۵۶۹.
- Reiji Kimura , Long Bai, Jiemin Wang,(۲۰۰۹),’ Relationships among dust outbreaks, vegetation cover, and surface soil water content on the Loess Plateau of China, ۱۹۹۹–۲۰۰۰’, Catena ۷۷ ۲۹۲–**۲۹.**
- Wei Wang, Alim Samat, Jilili Abuduwaili, Yongxiao Ge, Philippe De Maeyer, Tim Van de Voorde. (۲۰۲۲). Temporal characterization of sand and dust storm activity and its climatic and terrestrial drivers in the Aral Sea region. Atmospheric Research, Volume ۲۷۵, **۱۰۶۲٤۲.**
- Wellenius GA, Schwartz JMittleman MA ,( ۲۰۰۶),” Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart”,failure in seven United States cities, Am J Cardiol; ۱(۹۷): ۳۸۸-٤۰٤.
- ZiPeng, D., Xing, Y., XingMin, L., Jin, DAI. (۲۰۱۳). "Analysis of variation trends and causes of aerosol optical depth in Shaanxi Province using MODIS data". Chinese Science Bulletin ۵۸(۳۵).

# Investigating the spatial changes of dust in Sistan and Baluchistan province and its effect on urban sustainability

**Abolfazl Ghanbari[۱] ; Sedighe Taraneh[۲]**

[۱] Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Iran.

[۲] M.A in Remote Sensing and Geographic Information System, University of Tabriz, Iran.

**Abstract**

**Introduction**

Urbanization and the increase in the population of the cities, the increase in migration to the cities and as a result the development of large and small cities, and as a result, destructive and catastrophic effects such as the excessive consumption of energy, the destruction of forests and the extinction of plant and animal species have had on the natural habitats of the planet. is, so that cities, as the main place of human activities and the biggest consumer of natural resources, have threatened the planet (Farghzadeh and Jamshidi, ۲۰۱٦). These factors have caused the concerns of urban planners and have provided the ground for serious study by managers, urban planners and politicians. One of the important topics related to urban issues is the concept of sustainable urban development, which is considered a development based on real needs and rational decisions, taking into account various economic, social and environmental considerations.In recent decades, following the development of cities and the expansion and advancement of technology in the industrial world, severe climate changes and the occurrence of consecutive and long-term droughts, air pollution has gone through a growing trend and has become one of the permanent companions of human societies. Air pollution means mixing air with gases, droplets and particles that change the air quality. Among the various factors that cause this pollution, geographical and climatic factors are considered as natural and unpredictable factors and man-made factors that arise as a result of wrong human activities are investigated as artificial and controllable factors. One of the air pollutions that we have witnessed in recent years sometimes in the west, southwest and recently in the center of Iran is the phenomenon of fine dust or more correctly, dust storms (Karim Dost and Ardabili, ۲۰۰۹).In this study, due to the location of Sistan and Baluchistan province and being on the edge of the Persian Gulf and coastal deserts, this province is exposed to dust storms. The purpose of this research is to investigate and analyze the trend of days with dust and the analysis of dust-producing winds in Sistan and Baluchistan province. From ۲۰۰۰ onwards, due to the reduction of control activities in the province and the construction of dams in the countries of Iraq, Syria, Iran, and especially Turkey, along with the decrease in rainfall in Iraq, it is the most important cause of dust in Iran. This trend has also increased again (Khawaje et al. ۲۰۱۳).Sistan and Baluchistan province is one of the most dangerous centers in terms of dust and pollution in Iran. In recent years, dust has created many problems for the citizens and the urban system, which can be disrupted in the electricity transmission network, decrease in agricultural efficiency, decrease in the presence of tourists in the region, decrease in water resources and increase in diseases, especially respiratory problems, hindering development. And the growth of cities and... has become that to solve it, it is necessary to allocate more budgets and spend a lot of money. Micro dust has a significant impact on urban housing, urban transportation, facilities and facilities, and urban finance, and for the repair of each one, a large budget is needed. In the province of Sistan and Baluchistan, no research has yet been done to measure the impact of urban sustainability on the issue of dust, which is considered a serious threat to the sustainability of urban development. Based on this, before any planning, it is necessary to measure the impact of dust on urban sustainability in the province, and accordingly, the most important issue of the current research is which cities of Sistan-Veblouchestan province have been affected by environmental hazards (dust)? Where is the source of the dust that enters Sistan and Baluchistan province and by what systems and by what routes does this dust enter the atmosphere?

**Methodology**

This research is considered to be a practical structure and descriptive-analytical in terms of the type of method. Madis sensor data of AOD index from ۱۳۷۹ to ۱۴۰۰ as well as Sentinel-۵ satellite data of AI index for three periods of ۱۴۰۰, ۱۳۹۹ and ۱۳۹۸ were extracted using Google Earth Engine system and at the end with the meteorological data of these images Comparison and the cities that are most affected by dust were investigated.

**Conclusion**

The obtained results show; Zabul, Mirjaveh and Chabahar were the most dusty and Iranshahr and Nikshahr were the least dusty. Finally, the images of these two satellites were compared with meteorological data in SPSS software with Pearson correlation coefficient. They have a direct relationship with meteorological data. These results show that Sentinel-۵ images can be useful as a supplement in identifying dust centers. Controlling the origin of dust phenomenon requires national and transnational macro programs. It is not possible to completely remove the phenomenon of dust, and it is necessary to carry out watershed, technical and operational programs to stabilize the origin of dust. Restoration of lakes and wetlands, optimization of water consumption efficiency through training of farmers and removal of high consumption plants and replacement with plant species with high efficiency and shorter production period and use of modern urban management methods It is possible to reduce the effects and consequences of this destructive phenomenon in terms of social and economic damage, the quality of urban life and the health of citizens, and considering the solutions and suggestions that were presented and the accuracy of their implementation, an effective step can be taken. In order to advance the development goals of urban sustainability and achieve this goal as best as possibleThe obtained results show; Zabul, Mirjaveh and Chabahar were the most dusty and Iranshahr and Nikshahr were the least dusty. Finally, the images of these two satellites were compared with meteorological data in SPSS software with Pearson's correlation coefficient. Sentinel ۵ images of ۱۴۰۰ with a correlation coefficient of ۰,۲۷۲ and ۱۳۹۹ with a correlation coefficient of ۰,۲۷۹ and ۱۳۹۸ with a correlation coefficient of ۰,۱۳۶ and a significance level of ۹۹٪ with the data Meteorology has a direct relationship. These results show that Sentinel ۵ images can be useful as a supplement in identifying dust centers. Controlling the origin of dust phenomenon requires national and transnational macro programs. It is not possible to completely remove the phenomenon of dust, and it is necessary to carry out watershed, technical and operational programs to stabilize the origin of dust. Restoration of lakes and wetlands, optimization of water consumption efficiency through training of farmers and removal of high consumption plants and replacement with plant species with high efficiency and shorter production period and use of modern urban management methods It is possible to reduce the effects and consequences of this destructive phenomenon in terms of social and economic damage, the quality of urban life and the health of citizens, and considering the solutions and suggestions that were presented and the accuracy of their implementation, an effective step can be taken. In order to advance the development goals of urban sustainability and achieve this goal as best as possible.

**Keywords**

Storm, Dust, Sustainable Urban Development, Madis, Sentinel Satellite, Sistan And Baluchistan.