

بررسی ارتباط داده‌های عمق اپتیکی آئروسول (AOD) ماهواره MODIS در ساعات‌های مختلف با شاخص آلودگی هوای PM_{10} در شهر اهواز در سال ۱۴۰۱

منا سعیدی^۱، شاهین محمدی^۲، حسین ماری اریاد^۱، ارسلان جمشیدی^۱، مرتضی خفایی^{۳*}

^۱گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یاسوج، ایران، ^۲گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ^۳گروه بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱

چکیده

زمینه و هدف: در چند دهه گذشته آلودگی هوا به خصوص ذرات معلق PM_{10} به عنوان یک نگرانی قابل توجه، سلامت افراد را تحت تأثیر قرار داده است و به عنوان مهم‌ترین مشکل زیست محیطی و آلاینده هوا در شهر اهواز به وضوح قابل مشاهده است. از طرف دیگر سنجش از دور (RS) در دهه اخیر به عنوان یک منبع مناسب برای پایش آلودگی هوا به وسیله محققان معرفی شده است. لذا هدف از این مطالعه تعیین و بررسی ارتباط داده‌های عمق اپتیکی آئروسول (AOD) سنجنده MODIS در ساعات‌های مختلف با شاخص آلودگی هوای PM_{10} در شهر اهواز در سال ۱۴۰۱ بود.

روش بررسی: این مطالعه‌ای مقطعی است که در سال ۱۴۰۱ انجام شده است. در این مطالعه با توجه به ماهیت ضروری نقش ذرات گرد و غبار و پراکندگی گسترده آنها ارتباط بین داده‌های AOD از سنجنده MODIS و PM_{10} از ایستگاه اداره کل محیط زیست شهر اهواز برای یک سال تهیه شد. سپس به منظور بررسی ارتباط میان این دو پارامتر، مقادیر ساعتی PM_{10} در ساعات ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به تفکیک فصول مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحلیل، به ما امکان می‌دهد که تأثیرات فصلی و زمانی را در همبستگی بین این پارامترها مورد ارزیابی قرار دهیم. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون آماری ضریب همبستگی تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: با توجه به نتایج ضریب همبستگی به دست آمده ارتباط قابل توجهی بین مجموعه داده‌ها مشاهده شد که نشان دهنده ارتباط بالای بین AOD و PM_{10} در منطقه تعیین شده است. همبستگی روزانه و ساعات‌های مختلف ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ به ترتیب ضرایب برابر با ۰/۴۱، ۰/۷۵، ۰/۷۲، ۰/۷۸، ۰/۸۶ که بالاترین همبستگی ساعت ۱۵ مشاهده شد. ذرات معلق PM_{10} در هوا به دلیل وجود پدیده گرد و خاک که در فصل گرم سال شدت می‌یابد و بیشترین همبستگی عمدتاً در فصل گرم سال (بهار و تابستان) مشاهده گردید. همچنین، ضریب همبستگی در فصل سرد که شامل (پاییز و زمستان) است، به کمترین نقطه خود رسید.

نتیجه‌گیری: این مطالعه فواصل زمانی مختلفی را مورد بررسی قرار داد که هر کدام سطح ارتباط متفاوتی را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر ضرایب همبستگی به دست آمده، می‌توان داده‌های سنجش از دور را به عنوان منبعی معتبر برای پایش آلودگی هوا به کار برد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، سنجش از دور، عمق اپتیکی آئروسول، ذرات معلق PM_{10}

* نویسنده مسئول: مرتضی خفایی، اهواز، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، گروه بهداشت

Email: M.khafaie@live.com

"نشریه علمی پژوهشی ارمان دانش وابسته به دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یک نشریه با دسترسی آزاد است و تمامی مقالات منتشر شده در این نشریه به صورت دسترسی آزاد منتشر می‌شوند."

مقدمه

این راستا برای پایش مداوم وضعیت آلودگی هوا ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در سطح شهر ایجاد شده است. این ایستگاه‌ها هرچند دقت بالایی در اندازه‌گیری آلاینده‌ها دارند، اما به دلیل محدودیت‌های زمانی، مکانی و نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌ها، نتایج آنها قابلیت تعمیم کافی ندارند. یکی از راهکارهای مکمل و حتی جایگزین، استفاده از فناوری سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای است که با توجه به هزینه بهینه و پوشش وسیع، روشی مناسب برای پایش آلودگی هوا به شمار می‌آید (۹). در این راستا مطالعات متنوعی در ارتباط با مقایسه نرات معلق PM_{10} از ایستگاه سنجش زمینی و تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دوری انجام گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

اسراری ابراهیمی خسوفی و همکاران، مطالعه‌ای با عنوان تحلیل غبار آلودگی هوا در مناطق خشک با استفاده از یک شاخص مبتنی بر رویدادهای محلی و فرامحلی انجام گرفته است. براساس نتایج مطالعه صورت گرفته، در خردادماه اکثر ایستگاه‌ها افزایش معنی‌داری را ثبت کرده‌اند. در مقیاس فصلی، بالاترین میزان غبار در فصل بهار و پایین‌ترین آن در فصل پاییز مشاهده شده است (۱۰). بخشی زاده و همکاران، مطالعه‌ای با هدف توسعه مدل $GA-ANFIS$ برای پیش‌بینی بلند مدت غلظت آلاینده PM_{10} در شهر تهران انجام شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش سرعت باد باعث تجمع آلاینده PM_{10} و افزایش غلظت آن می‌شود. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت

هوایزها که نرات معلق در جو می‌باشند که تأثیرات قابل توجهی بر آب و هوا، محیط زیست و سلامت انسان دارند. مطالعات مرتبط با این موضوع در شاخه‌های متنوع شواهدی را نشان می‌دهد که ارتباط مستقیمی بین غلظت نرات معلق در هوا و پیامدهای مختلف سلامتی وجود دارد (۱). ضروری‌ترین نیاز انسان هوا است و هرگونه اختلال در کیفیت آن می‌تواند منجر به ناتوانی در حفظ زندگی شود (۲). در این میان شهر اهواز که در استان خوزستان، واقع شده با مشکلات آلودگی هوا و گرد و غبار رو به رو بوده است (۳ و ۴). این شهر به دلیل وضعیت جغرافیایی، آب و هوای گرم و خشک و عوامل مختلف دیگر، به ویژه در فصل‌های بهار و تابستان با افزایش غلظت نرات معلق PM_{10} مواجه است (۵). نرات معلق PM_{10} به عنوان معیار در مطالعات آلودگی هوا استفاده می‌شود، زیرا این ذرات می‌توانند اثرات مخربی بر سلامت انسان‌ها داشته باشند به ویژه در مواردی که غلظت و مدت زمان تماس با آنها افزایش یابد (۶).

نرات معلق PM_{10} که شامل ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر هستند، توانایی ورود به سیستم تنفسی انسان را دارند. این ذرات معمولاً در هوا به صورت معلق قرار دارند و به عنوان یکی از عوامل آلودگی هوا شناخته می‌شوند (۷). نرات معلق PM_{10} تأثیرات متعددی بر سلامتی انسان دارند که شامل مشکلات تنفسی، اختلالات قلبی و تأثیرات منفی بر سلامتی به ویژه در گروه‌های حساس می‌شود (۸). در

که شرایط نامطلوب هواشناسی ممکن است به افزایش غلظت ذرات معلق (PM_{10})^(۱) منجر شود (۱۱). سعید و همکاران، مطالعه‌ای با هدف بازیابی غلظت سطحی PM_{10} از عمق نوری آئروسول انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تنوع ترکیب ذرات در قاهره نقش بسزایی دارد، به ویژه در فصل بهار که همزمان با دوره اوج گرد و غبار است (۱۲).

یانگ و همکاران، پژوهشی به منظور تخمین PM_{10} با وضوح بالا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرا یادگیری مدل-آگنوستیک انجام گرفت. از نتایج به دست آمده در این پژوهش پی برده شد که مدل $MAML-ANN$ برای تخمین دقیق PM_{10} با وضوح بالا در پکن، با ضریب تعیین ۰٫۷۵، نشان داده شده است (۱۳). صحت کاشانی و همکاران، پژوهشی با هدف شناسایی چشمه‌های بحرانی گرد و خاک داخلی در استان ایلام انجام دادند. مطالعه آنها نشان می‌دهد گرد و خاک در نیمه جنوبی به نسبت نیمه شمالی بیشتر بوده است و بر اساس مطالعه میانگین فصلی شاخص LDE بیشترین گرد و خاک در فصل بهار و تابستان بوده است (۱۴).

تویگون و همکاران، مطالعه‌ای با هدف برآورد غلظت ذرات معلق در ترکیه با استفاده از مدل جنگل تصادفی بر اساس بازیابی ماهواره‌ای AOD انجام شد. طبق مطالعه انجام شده نتایج نشان می‌دهد عملکرد مدل RF در فصول مختلف کمی متفاوت بود، دقت مدل در پاییز ($R \approx 0.69$)، بهار ($R \approx 0.65$)، زمستان ($R \approx 0.64$) و تابستان ($R \approx 0.60$) مشاهده با

این حال، تخمین غلظت روزانه PM_{10} در مقیاس فصلی به طور کافی دقیق نبود (۱۵). هراتی و همکاران، پژوهشی به منظور بررسی ارتباط تغییرات پهنه آبی و پوشش گیاهی در شرق دریاچه ارومیه با پدیده ریزگردها انجام گرفت. نتایج کلی مطالعه ۲۹ ساله نشان داد که با کاهش مساحت دریاچه ارومیه و پوشش گیاهی در حریم شرقی آن، شدت گردوغبار و شاخص AOD ^(۲) به طور معنی‌داری افزایش یافته است (۱۶). شیخ قادری و همکاران، پژوهشی به منظور بررسی آنالیز زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و غبار در شهر کرمانشاه را انجام دادند. در این راستا نتایج نهایی حاکی از همبستگی قوی بین داده‌های واقعی PM_{10} و مقادیر AOD استخراج شده از سنجنده مودیس است (۱۷).^۱

میراکبری و همکاران (۱۳۹۹)، در تحقیقی با عنوان بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق جو با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آئروسول‌ها در جنوب شرق ایران به مطالعه پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در تابستان و بهار، غلظت مواد معلق به بیشترین حد رسیده، در حالی که در پائیز و زمستان این مقدار به حداقل رسیده است (۱۸). شیرغلامی و همکاران، پژوهشی به منظور شناسایی مسیرها و منابع رخدادهای گردوغبار در استان یزد با استفاده از مدل $HYSPLIT$ و داده‌های سنجش از دور انجام گرفت. نتایج به دست آمده در این پژوهش

1-Particulate Matter (PM_{10})
2-Aerosol Optical Depth (AOD)

روش بررسی

این مطالعه‌ای مقطعی است که در سال ۱۴۰۱ انجام شده است. در این مطالعه با توجه به ماهیت ضروری نقش ذرات گرد و غبار و پراکندگی گسترده آنها ارتباط بین داده‌های AOD از سنجنده MODIS و PM_{10} از ایستگاه اداره کل محیط زیست شهر اهواز برای یک سال تهیه شد. به منظور ارزیابی ارتباط این دو پارامتر، همبستگی AOD و تغییرات ساعتی (۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵) روزانه PM_{10} انجام گردید.

اهواز، مرکز استان خوزستان و یکی از هشت کلان شهر ایران، با مساحتی حدود ۳۱/۸۰۰ هکتار و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا در جنوب غربی ایران واقع شده است (۲۴ و ۲۳). این شهر در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده و جمعیت آن حدود ۲/۱ میلیون نفر برآورد می‌شود. در نتیجه این سال را به عنوان بازه زمانی مطالعه انتخاب شده است. محدوده جغرافیایی این منطقه بر اساس طرح جامع از طرف شمال به ریل راهنمایی و رانندگی، شرق به رودخانه کارون، جنوب به میدان شهید بقایی، و غرب به ریل قطار اهواز - خرمشهر است (۲۶ و ۲۵). شکل ۱ نقشه موقعیت شهر اهواز را نشان می‌دهد و نقطه مورد مطالعه ما، منطقه ۴ در نقشه می‌باشد. به این دلیل که کامل‌ترین مجموعه داده مربوط به سال ۱۴۰۱ است، این سال به عنوان بازه زمانی مطالعه انتخاب شده است.

نشان داد که برای بررسی و شناسایی منابع گرد و غبار، از داده‌های عمق نوری هواویز شامل فرآورده‌های MOD04/MYD04_2 و MOD08_D3 بر اساس سنجنش از دور استفاده می‌شود. تصاویر سنجنده مودیس، کانون‌های اصلی گردو غبار را به ویژه بیابان‌های خارجی و گردو غبار انتقالی از مرزهای غربی کشور شناسایی کردند (۱۹). ریدوانا و همکاران، مطالعه‌ای با هدف مقایسه عمق آئروسول نوری با استفاده از تصویر ماهواره‌ای چند سنسور برای کنترل کیفیت هوا در استان جاوه غربی، اندونزی انجام شد. داده‌های تحلیل شده نشان می‌دهند که سطح بالای AOD در استان جاوای غربی به مناطق شهری با تراکم جمعیت بالا و رشد صنعتی مربوط می‌شود، درحالی که سطح پایین AOD به مناطق روستایی با جمعیت کم است (۲۰).

ایران در منطقه‌ای واقع شده است که به طور قابل توجهی تحت تأثیر طوفان‌های گردو غبار قرار گرفته است که در زمان‌های اخیر افزایش فراوانی و شدت را تجربه کرده اند (۲۲ و ۲۱). از منظر آلودگی هوا اهواز، شهری آلوده است که اندازه‌گیری شاخص PM_{10} با استفاده از محصولات جدید سنجنش از دور به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه تعیین و بررسی ارتباط داده‌های عمق اپتیکی آئروسول (AOD) سنجنده MODIS در ساعات‌های مختلف با شاخص آلودگی هوای PM_{10} در شهر اهواز در سال ۱۴۰۱ بود.

این مطالعه در چهار مرحله اصلی انجام شده است؛ ۱- جمع‌آوری داده‌ها: داده‌های این تحقیق از ایستگاه نظارت بر کیفیت هوا در سال ۱۴۰۱ جمع‌آوری شده‌اند. داده‌ها به صورت ساعتی در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۵ بعدازظهر جمع‌آوری گردید که مجموعاً ۲۱۸ مشاهده برای هر ساعت به دست آمد. این داده‌ها برای تحلیل و بررسی کیفیت هوا مورد استفاده قرار گرفته و مشخصات آماری آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. ۲- پیش‌پردازش داده‌های زمینی: داده‌های زمینی پیش‌پردازش شده و فیلترهای اعمال گردیده تا روزهایی که داده‌های ناقص یا بدون اطلاعات بودند، حذف شوند. ۳- تحلیل آماری: پس از پیش‌پردازش، داده‌های نهایی مورد تحلیل آماری قرار گرفته‌اند. این تحلیل‌ها به منظور بررسی تغییرات آماری و آماده‌سازی داده‌ها برای مراحل بعدی انجام شده است. ۴- مقایسه داده‌ها: در مرحله نهایی، داده‌های ماهواره‌ای و زمینی پس از پردازش و تحلیل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه به منظور ارزیابی نتایج و دقت پیش‌بینی‌ها در خصوص کیفیت هوا و پارامترهای مرتبط مانند PM_{10} انجام شده است. این روش به صورت دقیق، تمامی مراحل جمع‌آوری، پردازش، و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و زمینی را به منظور پیش‌بینی و بررسی پارامترهای کیفیت هوا تشریح می‌کند.

سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی بالا، پهنای باند وسیع و دامنه طیفی وسیع، می‌تواند به عنوان یک ابزار مهم برای نظارت بر ویژگی‌های گرد و

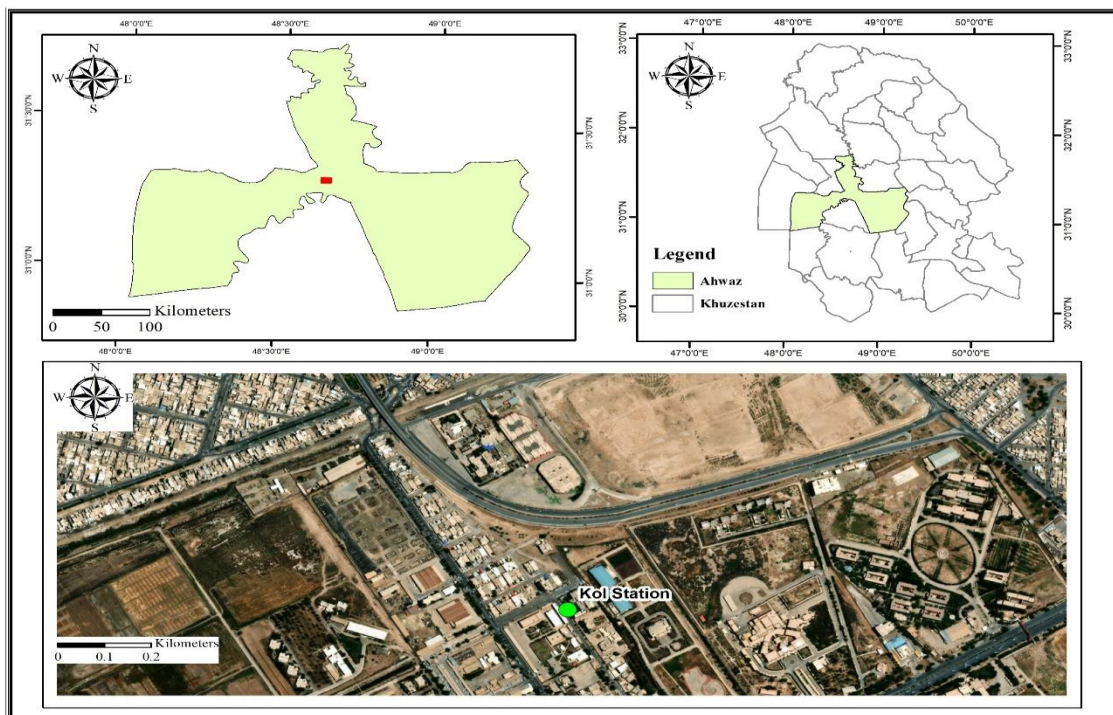
غبار عمل کند (۲۷ و ۲۸). این سنجنده مبتنی بر ماهواره‌های آکوا و ترا است که توانایی نظارت بر آب، زمین، و جو را دارد و می‌تواند تصاویر روزانه از زمین را در ۲۶ باند در محدوده ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر ارائه دهد (۲۹ و ۳۰). با توجه به اینکه بازه تغییرات زمان گذر سنجنده MODIS از آسمان ایران در روز از ساعت ۱۲ تا ۱۵ متغیر می‌باشد، به همین دلیل تمرکز ارتباط داده‌های این سنسور با داده زمینی در این ساعت‌ها بود. در این پژوهش از داده‌های AOD حاصل از محصول MCD19A2CMG استفاده شد (۳۲ و ۳۱). ویژگی‌های داده‌های ماهواره‌ای در جدول ۲ به تفصیل ارائه شده‌اند.

در دهه اخیر، سنجش از دور ماهواره‌ای به‌عنوان ابزاری قدرتمند و مؤثر در تخمین غلظت نرات معلق PM نقش برجسته‌ای ایفا کرده است (۳۳ و ۳۴). این تخمین‌ها بر پایه عمق نوری آئروسول (AOD) صورت می‌گیرد، که شاخصی از میزان نرات معلق در هواست (۳۵ و ۳۶). که عمدتاً در مناطق شهری با کیفیت پایین هوا انجام می‌شود (۳۷). آئروسول‌ها تأثیر قابل توجهی بر محیط جوی و سلامت عمومی دارند. عمق نوری آئروسول (AOD) یکی از پارامترهای ضروری برای کمی سازی ذرات معلق در هوا است (۳۸ و ۳۹). AOD با وضوح بالا (۱×۱ کیلومتر) که با استفاده از تکنیک MAIAC محاسبه شده است (۴۰ و ۴۱). این محصول بر اساس داده‌های MODIS روی ماهواره‌های Terra و Aqua است (۴۲).

یافته‌ها

آمار توصیفی برای AOD در وضوح یک کیلومتری ارایه شده است که شامل تعداد روزهای (N) است و داده‌های AOD در دامنه ۵۵۰ نانومتر در دسترس بوده است. در این بخش نتایج ارتباط داده‌های AOD با شاخص PM_{10} در مقیاس روزانه و ساعاتی ارایه خواهد و در انتها نتایج مدل‌سازی این شاخص با استفاده از داده‌های AOD بیان می‌شود.

ضریب همبستگی پیرسون یک ابزار آماری ارزشمند است که برای بررسی ارتباط بین دو متغیر استفاده می‌شود و در نهایت میزان تغییرات مشترک بین دو پارامتر یا سهم متقابل آنها را نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی در معرض نوسان است که بین مثبت و منفی یک متغیر است. در این مطالعه ارتباط بین داده‌های سنجش از دور و زمینی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بدست آمد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های آماری ضریب همبستگی تجزیه و تحلیل شدند.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه پایش آلودگی هوای شهر اهواز

جدول ۱: مشخصات آماری داده‌های PM_{10} ایستگاه اداره کل برای سال ۱۴۰۱

روزانه	ساعت ۱۵	ساعت ۱۴	ساعت ۱۳	ساعت ۱۲	پارامتر	دوره
۳۴۸/۸۳	۲۴۸/۷۰	۲۷۲/۵۳	۳۲۰/۷۱	۳۶۵/۹۸	میانگین	بهار
۱۷۱/۲۱	۱۳۹/۱۵	۱۴۴/۰۸	۱۴۸/۹۰	۱۶۶/۴۴	میانه	
۵۸۵/۵۹	۳۸۳/۰۵	۴۱۴/۱۵	۵۳۳/۱۳	۶۸۵/۰۷	انحراف معیار	
۳۷۸۰/۵۵	۲۲۴۹/۶۸	۲۳۳۴/۵۷	۳۰۷۷/۵۸	۴۷۷۴/۱۷	بیشینه	
۶۲/۹۰	۴۰/۰۳	۵۲/۹۷	۵۸/۷۱	۶۰/۸۸	کمینه	
۴۳۹/۱۴	۲۰۶/۰۱	۲۴۴/۱۱	۲۴۴/۷۰	۲۷۵/۳۸	میانگین	تابستان
۱۹۴/۶۵	۱۴۶/۳۲	۱۶۴/۵۸	۱۷۲/۴۶	۲۰۰/۱۳	میانه	
۷۴۷/۳۱	۲۱۱/۲۸	۲۸۶/۶۰	۲۹۱/۵۵	۳۳۸/۱۷	انحراف معیار	
۴۶۱۸/۲۸	۱۳۷۲/۹۴	۱۸۷۲/۳۳	۲۲۲۶/۰۰	۲۱۶۸/۰۴	بیشینه	
۱۰۷/۷۷	۷۶/۰۰	۷۴/۰۳	۶۹/۱۳	۹۸/۰۰	کمینه	
۱۵۸/۸۵	۷۵/۴۹	۷۸/۵۹	۱۱۵/۸۷	۱۰۵/۹۳	میانگین	پاییز
۱۲۷/۹۳	۷۳/۱۶	۶۳/۳۰	۱۱۴/۰۹	۸۶/۲۸	میانه	
۱۵۹/۷۶	۲۶/۹۶	۳۰/۸۴	۶۲/۵۲	۵۳/۹۲	انحراف معیار	
۹۷۲/۹۶	۱۵۳/۱۰	۱۵۱/۷۵	۲۹۰/۴۱	۲۴۵/۱۴	بیشینه	
۵۴/۲۸	۳۷/۲۳	۴۶/۴۲	۴۴/۱۹	۵۰/۸۲	کمینه	
۱۱۳/۳۵	۹۴/۵۶	۱۰۳/۶۵	۱۰۶/۷۵	۱۰۷/۳۶	میانگین	زمستان
۹۵/۵۴	۶۹/۷۹	۶۸/۷۸	۷۶/۶۷	۸۲/۶۵	میانه	
۸۹/۵۳	۹۸/۶۸	۱۱۷/۰۴	۱۳۴/۸۵	۱۳۲/۹۳	انحراف معیار	
۶۳۶/۳۱	۶۴۳/۷۷	۷۶۴/۱۰	۹۱۱/۴۵	۹۳۵/۸۹	بیشینه	
۲۸/۵۱	۲۰/۰۰	۱۵/۵۹	۱۲/۲۷	۱۵/۲۳	کمینه	
۳۰۶/۵۶	۱۸۰/۱۶	۲۰۴/۴۲	۲۲۲/۰۱	۲۴۹/۴۲	میانگین	روزانه
۱۵۲/۱۸	۱۱۵/۱۷	۱۲۶/۱۷	۱۳۴/۶۹	۱۴۹/۳۰	میانه	
۵۶۶/۸۱	۲۶۰/۷۲	۳۰۱/۷۰	۳۶۵/۴۴	۴۴۹/۴۹	انحراف معیار	
۴۶۱۸/۲۸	۲۲۴۹/۶۷	۲۳۳۴/۵۷	۳۰۷۷/۵۸	۴۷۷۴/۱۷	بیشینه	
۲۸/۵۱	۲۰/۰۰	۱۵/۵۹	۱۲/۲۷	۱۵/۲۳	کمینه	

جدول ۲: ویژگی‌های داده‌های ماهواره‌ای به کاررفته در این مطالعه برای شهر اهواز

پارامتر مورد استفاده	تفکیک فضایی	زمان	محصول داده	ابزار ماهواره‌ای
AOD (550 nm)	1 x 1 km	1401	MAIAC	MODIS/ (Aqua, Terra)

روزانه بیشترین همبستگی با فصول بهار و کمترین آن نیز فصل زمستان مشاهده شد. مقادیر همبستگی برای فصل بهار در داده‌های روزانه در فصل بهار ۰/۶۲، تابستان ۰/۱۶، پاییز ۰/۰۶۴، زمستان ۰/۰۲.

در ابتدا نتایج همبستگی روزانه داده‌های سنجش از دوری با شاخص PM_{10} برای فصول مختلف و سالانه در جدول ۳ آورده شده است. همان طور که از نتایج مشخص است، بین فصول مختلف با داده

زمستان به ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۳۶، ۰/۱۶ و ۰/۴۱ تعیین شد. در نتیجه، می‌توان ادعا کرد که ارتباط نسبتاً مناسبی بین داده‌های *سنجش‌از‌دور* و داده‌های زمینی وجود دارد.

یافته‌های این مطالعه نتایج همبستگی مربوط به شاخص PM_{10} با داده‌های *سنجش‌از‌دوری* AOD در ساعت ۱۴ در جدول ۶ ارائه کرده است. این بخش از مطالعه نشان می‌دهد که ضریب همبستگی سالانه شاخص PM_{10} با داده‌های AOD برابر با ۰/۷۸، و برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با ۰/۸۶، ۰/۶۷، ۰/۲۰ و ۰/۲۴ می‌باشد.

در نهایت نتایج همبستگی مربوط به شاخص PM_{10} با داده‌های *سنجش‌از‌دوری* AOD در ساعت ۱۵ در جدول ۷ نمایش داده شد. این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های *سنجش‌از‌دوری* و زمینی با هم در این ساعت در مقیاس سالانه ۰/۸۶ همبستگی را از خود نشان می‌دهند. همچنین بیشترین میزان همبستگی در فصول مختلف به ترتیب مربوط به بهار و تابستان با مقدار ۰/۹ و ۰/۸۶ بوده است. از طرف دیگر کمترین میزان همبستگی نیز مربوط به فصول پاییز و زمستان با مقادیر ۰/۱۳ و ۰/۰۷۹ می‌باشد. مطالعه آمان‌الهی، نشان داد که PM_{10} ساعتی در فصل بهار رابطه مثبت و نسبتاً قوی با پارامترهای مورد بررسی دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌راستا و تأیید کننده آن می‌باشد (۴۳). یک بررسی انجام شده به وسیله چینگ لانگ لی و همکاران، نشان می‌دهد که ماهانه AOD به ترتیب در بهار (۰/۲۸)، تابستان (۰/۲۷)،

می‌باشد و همبستگی سالانه داده‌های روزانه با شاخص AOD نیز ۰/۴۱ برآورد شد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان در فصول سرد سال نظیر پاییز و زمستان گفت عملاً همبستگی بین داده‌های *سنجش‌از‌دوری* AOD با داده‌های شاخص PM_{10} وجود ندارد.

یافته‌های مربوط به همبستگی ساعتی نیز در شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است. همبستگی مربوط به شاخص PM_{10} با داده‌های *سنجش‌از‌دوری* AOD در ساعت ۱۲ در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج تحقیق بین داده‌های ساعت ۱۲ برای فصول مختلف، بیشترین ارتباط را با فصل بهار، در حالی که ضعیف‌ترین ارتباط را با فصل زمستان نشان می‌دهد. ضرایب همبستگی داده‌های ساعت ۱۲ در بازه زمانی سالانه برابر ۰/۷۵، در فصل بهار ۰/۸۲، تابستان ۰/۵۸، پاییز ۰/۲۱ و برای زمستان ۰/۰۲۴ است. در نتیجه بر اساس یافته‌های به دست آمده می‌توان بیان کرد که در دو فصل بهار و تابستان اساساً رابطه خوبی بین این دو منبع داده مشاهده شد.

همبستگی مربوط به شاخص PM_{10} با داده‌های *سنجش‌از‌دوری* AOD در ساعت ۱۳ در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به یافته‌های تحقیق، در ساعت ۱۳ نیز داده‌های ساعتی در فصول مختلف بیشترین ارتباط را با فصل بهار و ضعیف‌ترین میزان همبستگی را با فصل زمستان نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی سالانه برای داده‌های ساعت ۱۳ برابر با ۰/۷۲، و برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و

که پیش‌تر اشاره شد، بیشترین همبستگی در میان ساعت‌های بررسی‌شده مربوط به ساعت ۱۵ بوده است. همچنین، در فصل‌های مختلف، بهار دارای بالاترین همبستگی و فصل زمستان دارای کمترین همبستگی است.

پاییز (۰/۱۸) و زمستان (۰/۱۷) بوده است. این روند به وضوح بیانگر تأثیر طوفان‌ها گرد و غبار در فصل بهار و اوایل تابستان است، که باعث افزایش چشمگیر ذرات معلق در این دوره‌ها می‌شود (۳۴ و ۴۴). در شکل ۲ نتایج کلی ضریب همبستگی برای ساعت ۱۵ در این مطالعه ارایه شده است. همان‌طور

جدول ۳: رابطه رگرسیونی روزانه بین AOD سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در سال ۱۴۰۱

رابطه	رگرسیون	بررسی فصول
$y = 565/63 x + 98/739$	۰/۴۱	سالانه
$y = 620/84 x + 84/551$	۰/۶۲	فصل بهار
$y = 329/52 x + 289/84$	۰/۱۶	فصل تابستان
$y = -80/836 x + 178/87$	-۰/۰۶۴	فصل پاییز
$y = 20/195 x + 109/09$	۰/۰۲	فصل زمستان

جدول ۴: رابطه رگرسیونی ساعت ۱۲ بین AOD سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در سال ۱۴۰۱

رابطه	رگرسیون	بررسی فصول
$y = 791/91 x - 47/668$	۰/۷۵	سالانه
$y = 919/08 x - 39/255$	۰/۸۲	فصل بهار
$y = 532/4 x + 34/186$	۰/۵۸	فصل تابستان
$y = -79/547 x + 125/69$	۰/۲۱	فصل پاییز
$y = 35/66 x + 99/829$	۰/۰۲۴	فصل زمستان

جدول ۵: رابطه رگرسیونی ساعت ۱۳ بین AOD سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در سال ۱۴۰۱

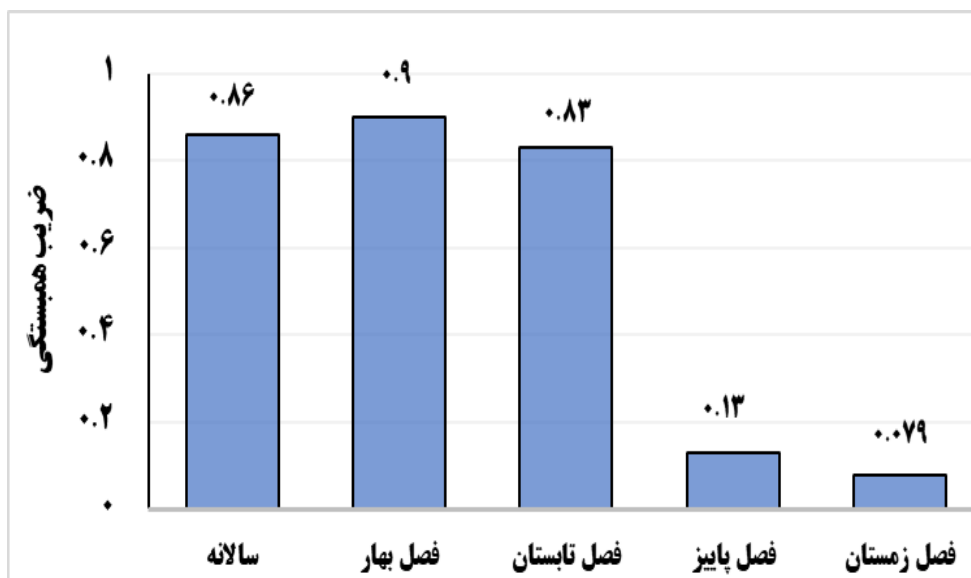
رابطه	رگرسیون	بررسی فصول
$y = 626/62 x - 6/0869$	۰/۷۲	سالانه
$y = 745/4 x - 10/941$	۰/۸۷	فصل بهار
$y = 311/93 x + 111/17$	۰/۳۶	فصل تابستان
$y = -75/548 x + 134/56$	۰/۱۶	فصل پاییز
$y = 60/786 x + 93/918$	۰/۰۴۱	فصل زمستان

جدول ۶: رابطه رگرسیونی ساعت ۱۴ بین AOD سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در سال ۱۴۰۱

رابطه	رگرسیون	بررسی فصول
$y = 569/71 x - 5/9171$	۰/۷۸	سالانه
$y = 576/43 x + 17/214$	۰/۸۶	فصل بهار
$y = 565/56 x - 3/51$	۰/۶۷	فصل تابستان
$y = -44/011 x + 89/366$	۰/۲۰	فصل پاییز
$y = 30/892 x + 97/127$	۰/۰۲۴	فصل زمستان

جدول ۷: رابطه رگرسیونی ساعت ۱۵ بین AOD سنجنده MODIS و داده‌های زمینی در سال ۱۴۰۱

رابطه	رگرسیون	بررسی فصول
$y = 544/85 x - 17/528$	۰/۸۶	سالانه
$y = 562/97 x + 3/1375$	۰/۹	فصل بهار
$y = 517/85 x - 16/481$	۰/۸۳	فصل تابستان
$y = -26/477 x + 81/899$	۰/۱۳	فصل پاییز
$y = 84/78 x + 76/662$	۰/۰۷۹	فصل زمستان



شکل ۲: ضریب همبستگی نهایی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ساعت ۱۵

بحث

شهر اهواز در استان خوزستان با مشکلات جدی آلودگی هوا و گرد و غبار، به ویژه در فصل‌های گرم سال، مواجه است. به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص این منطقه، غلظت بالای ذرات معلق PM_{10} ، که شامل ذراتی با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر است، تهدیدی برای سلامت ساکنان محسوب می‌شود. این ذرات به دلیل اندازه کوچک خود به سیستم تنفسی نفوذ کرده و می‌توانند اثرات مخربی بر سلامت انسان داشته باشند (۴۶ و ۴۵). شناخت و کنترل غلظت PM_{10} برای بهبود کیفیت هوا و حفظ سلامتی افراد در اهواز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا هدف از این مطالعه تعیین و بررسی ارتباط داده‌های عمق/پتیکی آئروسول (AOD) سنجنده MODIS در ساعت‌های مختلف با شاخص آلودگی هوای PM_{10} در شهر اهواز در سال ۱۴۰۱ بود.

بنابراین بررسی دقیق‌تر نتایج نشان می‌دهد که بین همبستگی در ساعت‌های مختلف با داده‌های زمینی شاخص ممکن است متفاوت باشد، لیکن هرچقدر به ساعت برداشت داده زمینی نزدیک باشد، این ارتباط قوی‌تر و بهتر خواهد بود. بررسی داده‌های زمینی در مقیاس روزانه و ساعت‌های مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی داده AOD برای ایستگاه اداره کل با برداشت ساعت ۱۵ داده زمینی شباهت دارد. به عبارت دیگر این می‌تواند به دلیل یکسان بودن ساعت برداشت داده ماهواره ای (AOD) با داده

زمینی (PM_{10}) باشد. این محققان در مطالعه‌ای که در سطح ایران انجام داده اند، بیان کردند که داده‌های سنجش از دوری می‌تواند با همبستگی بیشتر از ۰/۷ داده‌های زمینی را تخمین بزنند. در مطالعه‌ای که به وسیله آویناش کومار رنجان و همکاران، انجام گرفت، بیان شده است که در آینده نزدیک، داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالا (مکانی و زمانی) با الگوریتم‌های بهبود یافته برای تخمین دقیق AOD و PM_{10} بسیار قابل درک خواهند بود (۴۷). همچنین رنگزن و همکاران در مطالعه خود شاخص $PM_{2.5}$ را با استفاده از سنجش از دور را برای استان خوزستان بررسی کردند و به توانایی بالای محصولات سنجش از دور در تخمین شاخص‌های آلودگی هوا تأکید کردند (۴۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که AOD و PM_{10} اندازه گیری شده در زمین، در ساعت‌های مختلف و در فصول مختلف تفاوت‌هایی در میزان همبستگی را نشان می‌دهد. هواپیزها در نتیجه دما و تابش خورشیدی بالاتر افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در فصول گرم شدت بادهای سطحی افزایش می‌یابد و بنابراین امکان حمل و نقل ذرات بزرگتر، افزایش می‌یابد. قلی‌زاده و همکاران، که به ارزیابی همبستگی بین داده PM_{10} ایستگاه زمینی و AOD پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بین داده‌های عمق نوری ریزگرد سنجنده مادیس با داده‌های زمینی رابطه مستقیمی وجود دارد و این الگوریتم قادر به شناسایی

و همکاران، کاربرد داده‌های ضخامت نوری سنجنده مادیس در برآورد غلظت نرات معلق. مشخص شد که در فصل گرم، سرعت باد می‌تواند نتایج مدل رگرسیونی رابطه بین AOD و PM_{10} را بهبود بخشد (۵۱). در مطالعه گوو و همکاران شبیه مطالعه حاضر بهترین همبستگی در بازه زمانی ساعتی با داده سنجش از دوری به دست آمد (۵۲). اگرچه در این مطالعه بالاترین همبستگی با داده ساعت ۱۵ مشاهده شد، اما با توجه به موقعیت و اقلیم منطقه ممکن است این موضوع برای همه مناطق صادق نباشد.

علی‌رغم نتایج این تحقیق، برخی محدودیت‌ها نیز وجود داشته است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به کمبود داده‌ها و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های پایش، نبود دقت کافی یا کمبود سنسورهای مناسب برای پوشش کامل ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا، و نیز عدم دسترسی به داده‌های AOD در شرایط ابری اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، علاوه بر PM_{10} ، سایر شاخص‌های آلودگی هوا نیز مورد بررسی قرار گیرند. همچنین استفاده از پارامترهای متنوع هواشناسی و بهره‌گیری از روش‌های مدل‌سازی می‌تواند به درک بهتر و دقیق‌تر از روندها و روابط میان پارامترها کمک کند.

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه در این مقاله، از سنجش از دور به منظور ارزیابی آلودگی هوا ناشی از PM_{10} در

گردوغبار است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای محصولات PM_{10} تولید شده از سوی ایستگاه زمینی باشد (۴۹). از طرف دیگر صحت کاشانی و همکاران، در این مطالعه نتایج نشان می‌دهد چشمه گردوخاک واقع در جنوب استان ایلام در همه فصول با شدت زیاد فعال بوده و دو استان ایلام و خوزستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چشمه گردوخاک واقع در جنوب غربی استان ایلام در فصول بهار، تابستان و پاییز فعال است (۱۴).

به طور کلی بهار و تابستان دوره‌های خشکی بوده که باعث تعلیق گرد و خاک می‌شود. بنابراین، تولید هواویزها و حمل و برداشت آن در کل ستون اتمسفر افزایش می‌یابد، که می‌تواند اوج AOD مشاهده شده در بهار را توضیح دهد. مقدار شاخص PM_{10} در فصل زمستان به پایین‌ترین سطح خود و در فصل بهار به بالاترین سطح می‌رسد، چرا که در اهواز شروع گرما از فصل بهار می‌باشد. از طرف دیگر پاییز و زمستان به عنوان فصل بارانی شناخته می‌شود و بنابراین سطح AOD آن کمتر از فصل بهار و تابستان است. یولیانگ چن و همکاران، رابطه بین کیفیت هوا و عمق نوری آئروسول MODIS در شهرهای بزرگ دلتای رودخانه یانگ تسه پرداختند که نتایج نشان می‌دهد تغییرات فصلی قابل توجهی را نشان داد که در تابستان (۰/۹۱) به بالاترین حد خود رسید و در زمستان (۰/۶۹) به کمترین مقدار رسید و به دنبال آن در بهار و پاییز قرار گرفت (۵۰). همچنین سمیه رفعتی

است که استفاده از AOD در کاربردهای مبتنی بر پایش آلودگی (به عنوان مثال، مطالعات ارزیابی سلامت عمومی، شاخص کیفیت هوا) مفید است و تحقیقات بیشتری را ایجاب می‌کند. علی‌رغم نکات برجسته این تحقیق، در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که علاوه بر داده‌های *سنجش از دوری*، متغیرهای هواشناسی در بررسی و مدل‌سازی با شاخص PM_{10} بکار گرفته شود چرا که پارامترهای اقلیمی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر PM_{10} دارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مطالعه از سازمان حفاظت محیط زیست کشور، سازمان هواشناسی کشور و اداره کل ملی هوانوردی و فضا آمریکا (NASA) بابت در اختیار قرار دادن داده‌های ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع را اعلام نکردند.

حمایت مالی

این تحقیق هیچ گونه حمایت مالی خارجی دریافت نکرده است.

شهر اهواز در سال ۱۴۰۱ استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد رابطه PM_{10} و AOD پیچیده است و همانند سایر مناطق جهان، برای شهر اهواز نیز، بهترین رابطه ساعتی در مقایسه با روزانه مشاهده شد. این مطالعه فواصل زمانی مختلفی را بررسی کرد که هر کدام درجه خاصی از ارتباط را نشان می‌داد. همبستگی روزانه و ساعت‌های مختلف ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ به ترتیب برابر با ۰/۴۱، ۰/۷۵، ۰/۷۲، ۰/۷۸، ۰/۸۶ را نشان داد که بالاترین همبستگی ساعت ۱۵ مشاهده شد. وقتی پیش‌بینی‌ها بر اساس فصل انجام شد، عملکرد آماری بهتری به دست آمد. در این بررسی، پایین‌ترین عملکرد مربوط به فصول سردتر یعنی پاییز و زمستان بود، در حالی که بهترین عملکرد در فصول گرم‌تر یعنی بهار و تابستان مشاهده شد. در بین فصول مختلف، بیشترین همبستگی در فصل بهار به دست آمد و پس از آن، تابستان، پاییز و زمستان قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط فصلی، به ویژه در فصول گرم، تأثیر قابل توجهی بر دقت پیش‌بینی‌ها دارد و استفاده از داده‌های فصلی به بهبود مدل‌های پیش‌بینی کمک می‌کند. در طول دوره مطالعه، اندازه‌گیری مقادیر PM_{10} در سطح شهر با عوامل بالقوه متعددی مواجه است که از جمله آن می‌توان به پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها در سطح شهر اهواز، تأثیر سایر آلاینده‌ها بر شاخص PM_{10} و عدم اطمینان در بعضی از مشاهدات زمینی (مشکل در دستگاه اندازه‌گیری) اشاره کرد. با این حال، نشان داده شده

ملاحظات اخلاقی

این مقاله برگرفته از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط از دانشگاه دانشگاه علوم پزشکی یاسوج با کد اخلاق IR.YUMS.REC.1402.133 می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی به وسیله شاهین محمدی و منا سعیدی انجام شده است. روش‌شناسی به وسیله شاهین محمدی، منا سعیدی طراحی شده است. اعتبارسنجی به وسیله منا سعیدی و شاهین محمدی انجام شده است. گردآوری داده‌ها به وسیله شاهین محمدی، منا سعیدی، مرتضی خفایی، ارسلان جمشیدی و حسین ماری اریاد صورت گرفته است. پیش‌نویس اولیه به وسیله منا سعیدی و شاهین محمدی آماده شده است. بازبینی و ویرایش به وسیله منا سعیدی، شاهین محمدی، مرتضی خفایی، ارسلان جمشیدی و حسین ماری اریاد انجام شده است. مصورسازی به وسیله منا سعیدی انجام شده است. نظارت کلی پروژه بر عهده مرتضی خفایی بوده است. تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه کرده و با انتشار آن موافقت کرده‌اند.

REFERENCES

- 1.Kazemi Z, Kazemi Z, Jafari AJ, Farzadkia M, Hosseini J, Amini P, et al. Estimating the health impacts of exposure to Air pollutants and the evaluation of changes in their concentration using a linear model in Iran. *Toxicology Reports* 2024;12:56-64.
- 2.Jaafarzadeh N, Nouhjah S, Shahbazian H, Shenavar B. The relationship between hot spots of air pollution and the incidence of gestational diabetes based on spatial analysis: A study on one of the most air-polluted metropolis of Iran. *Environmental Health Engineering And Management Journal* 2024; 11(1); 83-92.
- 3.Salmabadi H, Saeedi M, Roy A, Kaskaoutis DG. Quantifying the contribution of Middle Eastern dust sources to PM10 levels in Ahvaz, Southwest Iran. *Atmospheric Research* 2023; 295: 106993.
- 4.Taghavi F, Asadi A. The Persian Gulf 12th April 2007 dust storm: observation and model analysis. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Darmstadt; Germany; 2008.*
- 5.Rahimi M, Yazdani MR, Asadi M, Haydari MT. Investigating the Air Pollution of Sanandaj whit emphasis on temporal variation of PM10 concentration. *Journal of Urban Ecology Researches* 2015; 6(11): 99-116.
- 6.Kalantari E, Gholami H, Malakooti H, Eftekhari M, Saneei P, Esfandiarpour D, et al. Evaluating traditional versus ensemble machine learning methods for predicting missing data of daily PM10 concentration. *Atmospheric Pollution Research* 2024;15(5):102063.
- 7.Fadaei A, Ahmadi H, Fatahpour E, Jalilpour Y, Ariyanfar M, Jalili Naghan D. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 2024; 21(4): 487-502.
- 8.Neisi A, Goudarzi G, Ahmadi Angali K, Nejat SH. Evaluation of suspended particles concentration (pm2.5 and pm10) and its relationship with death rate due to cardiovascular and respiratory diseases 2014-2017, in susangard city, khuzestan province, Iran. *Journal of Environmental Health Engineering* 2022; 9(2): 145-56.
- 9.Hadian A, Moradzadeh M. Modeling the concentration distribution of NO2 and O3 pollutants with an appropriate spatial resolution by combining ground and satellite data. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS* 2024;16(2): 85-104.
- 10.Ebrahimi -Khusfi Z, Ebrahimi -Khusfi M, Mirakbari M. Analysis of dust pollution in arid regions using an index based on local and extra-local events. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 2024; 15(55): 131-16.
- 11.bakhshizadeh F, Neysani Samany N, toomanian A. Developing GA-ANFIS model to predict long-term (PM)₁₀ concentration The Case study of Tehran city. *Physical Geography Research* .2023; 55(1): 57-87.
- 12.Said S, Salah Z, Wahab MMA, Alfaro SC. Retrieving PM10 surface concentration from aeronet aerosol optical depth: the cairo and delhi megacities case studies. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 2023; 51(8): 1797-807.
- 13.Yang Y, Cermak J, Chen X, Chen Y, Hou X. High-Resolution PM10 estimation using satellite data and model-agnostic meta-learning. *Remote Sensing* 2024;16(13): 2498.
- 14.Sehat Kashani S, Rahnama M, Karami S, RanjbarSaadatabadi A, Khoddam N. Evaluation of environmental parameters influencing dust sources activation over ilam province. *Physical Geography Research* 2022; 54(3): 403-27.
- 15.Tuna Tuygun G, Elbir T. Estimation of particulate matter concentrations in Türkiye using a random forest model based on satellite AOD retrievals. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 2023; 37(9): 3469-91.
- 16.Harati H, Kiadaliri M, Tavana A, Rahnavard A, Amirnezhad R. Relationship between changes in water body and vegetation in the eastern of lake urmia with the phenomenon of dust storms. *Journal of Civil and Environmental Engineering University of Tabriz* 2023; 53(1): 44-54.
- 17.Sheikh ghaderi SH, Alizadeh T, Ziaeeian Firoozabadi P, Sharifi R. Temporal and spatial analysis of dust storms in Kermanshah. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2023;10(1): 71-90.
- 18.Mirakbari M, Khusfi ZE. Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in Southeastern Iran. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 2020; 3(11): 87-105.
- 19.Shirgholami M. Identifying trajectories and sources of dust events in Yazd province using HYSPLIT model and remote sensing data. *Journal of Arid Biome* 2023; 13(2): 35-52.

20. Ridwana R, Ihsan HM, Syaripah G, Raihanah R, Rabbi FA, Maulana I. Optical aerosol depth comparison using multi sensor satellite image for air quality control in West Java Province, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*; 2024, 3082.
21. Velayatzadeh M. Introducing the causes, origins and effects of dust in Iran. *Journal of Air Pollution and Health* 2020; 5(1): 63-70.
22. Arami SA, Ownegh M, MohammadianBehbahani A, Akbari M, Zarasvandi A. The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2018; 5(1): 39-66.
23. Karami M, Sarvestan R, Mansourzadeh AM. Examining The Evolution Of The Khuzestan Urban Population Using The Urban Primacy Indexes, 2017.
24. Safaeepoor M, Sayahi Z, Zargar shooshtary M, Daripoor N. Study the endowment effect on economic development of Ahvaz city 2014; 5(16): 89-104.
25. Gharibi S, Shayesteh K. Application of Sentinel 5 satellite imagery in identifying air pollutants Hotspots in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2021; 8(3): 123-38.
26. Saeidi O, Peyvand N. Investigating and analyzing the components of the creative city in the neighborhoods of the 4th municipality of Ahvaz. *Geographical Engineering of Territory* 2019; 3(5): 111-25.
27. Chu DA, Kaufman Y, Zibordi G, Chern J, Mao J, Li C, et al. Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2003;108(D21).
28. Najim AO, Meteab MA, Jasim AT, Ajaj QM, Jumaah HJ, Sulyman MHA. Spatial analysis of particulate matter (PM10) using MODIS aerosol optical thickness observations and GIS over East Malaysia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 2023; 26(2): 265-71.
29. Wang J, Christopher SA. Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass: Implications for air quality studies. *Geophysical research letters* 2003; 30(21): 2095.
30. Park Y, Kwon B, Heo J, Hu X, Liu Y, Moon T. Estimating PM_{2.5} concentration of the conterminous United States via interpretable convolutional neural networks. *Environmental Pollution* 2020; 256: 113395.
31. Téllez-Rojo MM, Rothenberg SJ, Texcalac-Sangrador JL, Just AC, Kloog I, Rojas-Saunero LP, et al. Children's acute respiratory symptoms associated with PM_{2.5} estimates in two sequential representative surveys from the Mexico City Metropolitan Area. *Environmental Research* 2020; 180: 108868.
32. Phan VH, Pham DPH, Pham TV, Qureshi KN, Pham-Quoc C. An IoT System and MODIS Images Enable Smart Environmental Management for Mekong Delta. *Future Internet* 2023; 15(7): 245.
33. Tian Z, Wei J, Li Z. How important is satellite-retrieved aerosol optical depth in deriving surface PM_{2.5} using machine learning? *Remote Sensing* 2023; 15(15): 3780.
34. Li J, Ge X, He Q, Abbas A. Aerosol optical depth (AOD): spatial and temporal variations and association with meteorological covariates in Taklimakan desert, China. *PeerJ* 2021; 9: e10542.
35. Ghotbi S, Sotoudeheian S, Arhami M. Estimating urban ground-level PM10 using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model. *Atmospheric Environment*. 2016; 141: 333-46.
36. Wang Y, Chen L, Xin J, Wang X. Impact of the dust aerosol model on the VIIRS aerosol optical depth (AOD) product across China. *Remote Sensing* 2020; 12(6): 991.
37. Salmabadi H, Khalidy R, Saeedi M. Transport routes and potential source regions of the Middle Eastern dust over Ahvaz during 2005–2017. *Atmospheric Research* 2020; 241: 104947.
38. Guo B, Wang Z, Pei L, Zhu X, Chen Q, Wu H, et al. Reconstructing MODIS aerosol optical depth and exploring dynamic and influential factors of AOD via random forest at the global scale. *Atmospheric Environment* 2023; 315: 120159.
39. Chedin A, Capelle V, Scott N. Detection of IASI dust AOD trends over Sahara: How many years of data required? *Atmospheric Research* 2018; 212: 120-9.
40. Lyapustin A, Martonchik J, Wang Y, Laszlo I, Korokin S. Multiangle implementation of atmospheric correction (MAIAC): 1. Radiative transfer basis and look-up tables. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2011; 116; D03210.
41. Lyapustin A, Wang Y, Korokin S, Huang D. MODIS collection 6 MAIAC algorithm. *Atmospheric Measurement Techniques* 2018; 11(10): 5741-65.

42. Stirnberg R, Cermak J, Andersen H. An analysis of factors influencing the relationship between satellite-derived AOD and ground-level PM10. *Remote Sensing* 2018; 10(9): 1353.
43. Amanollahi Jamil, Kaboodvandpour, Shahram. Assessment of MODIS images and data validation to measure PM10 in related to ground station data. Case study: Sanandaj, Iran. *Geographic Space* 2014; 14(46): 129-49.
44. Khafaie MA, Saeidi M, Mohammadi S, Marioryad H, Jamshidi A. Modeling of PM10 Particulate Matter in Ahvaz City Using Remote Sensing and Meteorological Parameters. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development* 2024; 9(3): 2304-17.
45. Rashki Alireza, Kaskaoutis, Dimitris G, Francois P, Kosmopoulos PG, Legrand MJAR. Dust-storm dynamics over Sistan region., Iran: Seasonality, Transport Characteristics and Affected Areas 2015; 16: 35-48
46. Goudarzi Gh, Geravandi S, Saeidimehr S, Mohammadi, MJ, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh SH. Estimation of health effects for PM10 exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. 2015;8(1):117-126
47. Ranjan AK, Patra AK, Gorai A. A review on estimation of particulate matter from satellite-based aerosol optical depth: Data, methods, and challenges. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 2021; 57: 679-99.
48. Rangzan K, Kabolizadeh M, Mohammadi S. Assessment of Spatiotemporal Changes of NO2 Using TROPOMI Sensor in Khuzestan Province, Iran. *Journal of Health System Research* 2021; 17(2): 87-96.
49. Gholizadeh MH, Amanollahi J, Rahimi F. Assessment of correlation between pm10 data measured at ground station of sanandaj and AOD data of MODIS sensor. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS* 2022; 14(2): 51-60.
50. Chen Y, Li D, Karimian H, Wang S, Fang S. The relationship between air quality and MODIS aerosol optical depth in major cities of the Yangtze River Delta. *Chemosphere* 2022; 308: 136301.
51. Rafati S, Rafati Alashti M. Application of modis optical depth data in estimation of PM10 (case study: Tehran). *The Journal of Spatial Planning and Geomatics* 2020; 24(4): 1-28.
52. Guo Y, Tang Q, Gong DY, Zhang Z. Estimating ground-level PM2. 5 concentrations in Beijing using a satellite-based geographically and temporally weighted regression model. *Remote Sensing of Environment* 2017; 198: 140-9.

Examining the Relationship Between MODIS Satellite Aerosol Optical Depth (AOD) Data at Different Hours and PM₁₀ Air Pollution Index in Ahvaz City

Saeidi M¹, Mohammadi SH², Marioryad H¹, Jamshidi A¹, Khafaie M^{3*}

¹Department of Environmental Health Engineering, Yasuj University of Medical Sciences, Yasuj, Iran, ²Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, ³Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Received: 16 Mar 2024 Accepted: 22 Sep 2024

Abstract

Background & aim: In the past few decades, air pollution, especially PM₁₀ particulate matter, has been a significant concern affecting people's health and is clearly visible as the most important environmental problem and air pollutant in Ahvaz, Iran. On the other hand, remote sensing (RS) has been introduced as a suitable source for air pollution monitoring by researchers in the last decade. Therefore, the aim of the present study was to determine and investigate the relationship between aerosol optical depth (AOD) data from MODIS sensor at different hours and PM₁₀ air pollution index in Ahvaz, Iran, in 2022.

Methods: The present cross-sectional study was conducted in 2022. Given the critical role and widespread distribution of dust particles, the present study examined the relationship between AOD data from the MODIS sensor and PM₁₀ data from the Environmental Protection Agency station in Ahvaz, Iran, over the course of one year. To evaluate the correlation between these two parameters, hourly PM₁₀ values at 12:00, 13:00, 14:00, and 15:00 were analyzed for different seasons. The results of the present analysis allowed the researchers to assess seasonal and temporal effects on the correlation between these parameters. The collected data were analyzed using SPSS software and the statistical correlation coefficient test.

Results: The correlation results revealed a significant relationship between the datasets, indicating a strong association between AOD and PM₁₀ in the specified region. The daily correlations at different hours—12:00, 13:00, 14:00, and 15:00—showed coefficients of 0.41, 0.75, 0.72, 0.78, and 0.86, respectively, with the highest correlation observed at 15:00. The concentration of PM₁₀ particles in the air is influenced by dust events, which intensify during the hot season, with the highest correlations mostly observed in spring and summer. Additionally, the correlation coefficient reached its lowest point during the cold season (fall and winter).

Conclusion: the present study examined various time intervals, each showing different levels of correlation. Based on the obtained correlation coefficients, remote sensing data can be used as a reliable source for air pollution monitoring.

Keywords: Air Pollution, Pollution Monitoring, Air Quality, Remote Sensing, Aerosol Optical Depth, Ahvaz.

***Corresponding author: Khafaie M**, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Email: M.khafaie@live.com

Please cite this article as follows: Saeidi M, Mohammadi SH, Marioryad H, Jamshidi A, Khafaie M. Examining the Relationship Between MODIS Satellite Aerosol Optical Depth (AOD) Data at Different Hours and PM₁₀ Air Pollution Index in Ahvaz City. *Armaghane-danesh* 2024; 29(5): 736-753.

The scientific research journal *Armaghan Danesh*, affiliated with Yasuj University of Medical Sciences, is an open-access publication. All articles published in this journal