

تجزیه و تحلیل و تولید نقشه پهنه بندی کیفی هوای شهر تهران با استفاده از داده پایش زمینی و RS

علی رجبلو^{۱*}، حسین آقامحمدی^۲، مجید رحیم زادگان^۳، محمد علی رجایی ریزی^۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸

صفحات: ۷۰-۸۲

چکیده:

تهران به عنوان بزرگترین کلانشهر ایران در زمره آلودهترین شهرهای جهان به حساب می آید. با توجه به تأثیرات آلودگی هوا بر سلامت و محیط زیست، ضرورت شناخت دقیق آلایندهها و مشخص نمودن پهنههای آلوده ضروری به نظر میرسد. هدف این پژوهش، بررسی توانایی داده های سنجنده مودیس، در سنجش آلودگی هوا در کلانشهر تهران و تولید نقشههای کیفی هوا با استفاده از این دادهها و داده های زمینی میباشد. در این تحقیق داده های مربوط به آلاینده های PM_{10} ، ازن، منو اکسید کربن، دی اکسید گوگرد، $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۴ با استفاده از روش کریجینگ ساده به عنوان یک روش زمین آماری در حالت های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و نقشه های سطوح آلاینده ترسیم گردید. همچنین از تصاویر ماهواره های سطح اول و داده های سطح دوم سنجنده مودیس، برای انجام تحلیلهای کیفی و کمی ذرات معلق هوا در سطوح وسیع استفاده شد. با بکار بردن شاخص اختلاف نرمال گردوغبارمربوط به داده های سطح اول و پارامترهایی نظیر عمق اپتیکی و نمای انگستروم مربوط به داده های سطح دوم، میزان همبستگی با استفاده از باندهای ۳ و ۷ سنجنده ی مودیس محاسبه و مقدار RMSE آنها با داده زمینی مربوط به آلاینده PM_{10} محاسبه گردید. نتایج نشان داد که همبستگی مناسبی بین پارامترهای تصاویر ماهواره های و اندازه گیری زمینی وجود دارد. این نوع همبستگی نشانگر توانایی تصاویر این سنجنده در شناسایی گردوغبار جوی است. همچنین در بخش دیگر این تحقیق نقش پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شد که آلاینده شاخص غالب در سال ۹۴، ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} بوده است. از عوامل موثر در افزایش غلظت آلاینده ها، استمرار شرایط جوی پایدار بوده است که باعث انباشت آلاینده ها شده است.

کلمات کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، درونپایی، سنجنده مودیس، PM_{10}

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران*، alihamiefa@gmail.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- استادیار گروه منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیر طوسی تهران

۴- استادیار دانشگاه هنر اصفهان

مقدمه

های طبیعی شهر تهران نیز اثر بسیار زیادی در آلودگی آن دارند. باد غالب آن در غرب باد غربی و باد غالب آن در شرق باد شرقی است. وارونگی دمایی نیز از ویژگی های سرد سال می باشد که به همراه استقرار آنتی سیکلونها هوای ناپایداری ایجاد می کند و شرایط پایدار هم یکی از عوامل میزان بالای غلظت آلاینده ها در تهران است (علیجانی، ۱۳۸۵: ۶۲). مطالعات جامعی در این خصوص بر روی شهر تهران صورت گرفته است. نتایج این مطالعات نشان می دهد که غلظت برخی آلاینده ها نظیر منو اکسید کربن از حد مجاز بیشتر است (۳). از جمله عوامل اثرگذار در افزایش غلظت این آلاینده در شهر تهران، وجود منابع آلودگی متحرک و ثابت و توپوگرافی خاص شهر است. با توجه به اثرات زیان بار این آلاینده بر سلامت انسان، شناسایی مناطق آلوده و برنامه ریزی صحیح برای مقابله با آن از اهمیت به سزایی برخوردار است (۴). از آن جا که غلظت آلاینده ها تحت تاثیر فاکتورهای محیطی قرار می گیرد، توزیع مکانی آن ها و هم چنین احتمال رخداد آلودگی در هوای سطح یک شهر یکنواخت نخواهد بود (۲).

به منظور بررسی و پهنه بندی غلظت آلاینده های هوای شهر تهران می توان از داده های ایستگاه های زمینی و تصاویر ماهواره ای استفاده نمود که البته جنبه های مورفولوژیکی و ساختار شهر از قبیل: شبکه ارتباطی، نوع کاربری، وسعت کاربری، تراکم و ... شرایط محیطی را ممکن است از یک منطقه به منطقه دیگر و حتی از خیابان به خیابان دیگر تغییر دهد؛ بدین جهت استفاده ترکیبی از داده های ماهواره ای و داده های ایستگاههای زمینی پیشنهادی در جهت شناخت دقیق از پراکندگی آلاینده ها و همچنین کیفیت هوای شهر تهران است. تحقیقات زیادی در زمینه آلودگی هوا و بررسی میزان آلاینده ها صورت گرفته است که در ادامه به برخی از این تحقیقات

گسترش شهرنشینی و توسعه شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت و توسعه فعالیت های صنعتی با مصرف بی رویه سوخت های فسیلی به شدت آلودگیها را افزایش داده و میزان آن را بیش از ظرفیت قابل تحمل محیط نموده است. که عواقب آن در درجه اول به صورت انواع امراض و بیماری های تنفسی، تشدید بیماری های قلبی و ریوی متوجه ساکنان شهرها میشود. مضرات زیست محیطی از جمله خسارت های ناشی از آلودگی هوا همه ساله مقادیر هنگفتی از اعتبارات مالی، نیروی انسانی و... را موجب می شود. از مهمترین موضوعاتی که امروزه در ارتباط با اقلیم مطرح است، بحث مربوط به توسعه شهرنشینی و آلودگی هوای شهری و متعاقب آن آب و هوای شهری میباشد. ناپایداری توسعه شهری و صنعتی کشور در سنوات گذشته یکی از میراث های ناخوشایندی است که در ابعاد و گستره وسیعی محیط زیست شهری کشور بویژه شهرهای بزرگ را متاثر نموده است. در شهرهای بزرگ تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و آلودگی ۲/۵ برابر بیشتر از تعداد همین روزها در اطراف شهر است (سگری، ۱۳۸۴: ۲۵). در این میان تهران به عنوان بزرگترین شهر ایران با جمعیتی حدود ۸،۵ میلیون نفر (مرکز آمار ۱۳۸۹) یکی از کلان شهرهای دنیا است. عوامل طبیعی، فرم ساخت شهری وجود هزاران خودرو فعال، موتور سیکلت، واحد صنعتی این شهر را به یکی از آلوده ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است (سازمان محیط زیست، ۱۳۷۶) که این آلودگی در وهله اول ناشی از سیستم غلط شهرسازی، رشد و توسعه ناهمگون و بدون ارزیابی و پیش بینی زیرساخت های لازم برای آن می باشد که نتایج آن به صورت ازدحام جمعیت، کمبود فضای سبز، ترافیک سنگین، فضای شلوغ و آلوده و افسردگی روحی و روانی ساکنان نمود پیدا کرده است. ویژگی

عمومی، کیفیت محیط و وضعیت بیکاری هستند. مولفه‌های به‌دست‌آمده و شاخص نهایی کیفیت زندگی، به‌منظور شناسایی و درک الگوهای جغرافیایی کیفیت زندگی در شهر تهران، مورد تحلیل مکانی قرار گرفته است. نتایج تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی، بیانگر وجود خوشه‌بندی (خودهمبستگی مکانی مثبت) و ناهمگنی فضایی در توزیع شاخص کیفیت زندگی و مولفه‌های چهارگانه آن در سطح نواحی شهر تهران است. تحلیل اکتشافی داده‌های مکانی، برخی از نواحی که نیاز بیشتری به مداخله عمومی مانند، تدارک برنامه‌های اجتماعی و زیرساخت‌های عمومی دارند، برجسته ساخته و می‌تواند سیاست‌گذاران را به‌منظور کاهش نابرابری‌های درون شهری هدایت کند (حاتمی نژاد و احمد پور، ۱۳۹۲: ۳۵). دکتر رحیم زادگان و همکاران از تصاویر ماهواره ای سطح اول و داده های سطح دوم این سنجنده، به همراه داده های حاصل از اندازه گیری های ایستگاه های زمینی سنجش آلودگی هوا برای انجام تحلیل های کیفی و کمی ذرات معلق هوا در سطوح وسیع استفاده نمود. ضریب همبستگی‌یابن تحقیق در حدود $2R_{0,48} =$ میان داده های ماهواره ای و داده های زمینی با رابطه خطی $10PM_{65,091}AOD - *222,78 =$ بدست آمد. که بطور کلی این همبستگی نشان داد که برای سنجنده ای با دقت در حد مودیس و قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول می باشد (رحیم زادگان و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۹).

داده‌ها و روش‌ها

الف- روش شناسی:

داده های مورد استفاده در این تحقیق به دو دسته داده های ایستگاه های زمینی پایش آلودگی و تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس می باشد. داده های ایستگاه های زمینی

اشاره می شود. چنین تسای و همکاران رابطه میان داده های ضخامت نوری هواپیزهای مودیس را با غلظتهای ذرات معلق برای دوره زمانی مورد نظر بررسی کردند. نتایج، نشان دهنده توانایی بالای این سنجنده برای پایش ذرات معلق بود (تاسی و ژنگ، ۲۰۰۸). لی لینگ جون و همکاران در ارتباط پارامتر سهم هواپیزها در بازتابندگی بدست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده ظاهری ذرات معلق را مطالعه کردند که این ارتباط در ۳۰ ایستگاه زمینی واقع در شهر پکن در فاصله زمانی آگوست ۲۰۰۳ و آگوست با ضریب همبستگی ۱۱ بررسی شد. نتیجه برازش خطی بالای ۰/۵۶ به دست آمد (۶). امیر کاوسی و ریچانه سفیدکار در سال از داده های غلظت های آلاینده منو اکسید کربن ایستگاه های سنجش آلودگی هوای شهر تهران در دی ماه ۱۳۹۰ و برای تحلیل این داده ها از روش های کریگینگ نشانگر، مدل اتولجستیک و مدل اتولجستیک استفاده شد. یافته های این پژوهش گویای آن است که مناطق شمالی، شرقی و مرکزی شهر تهران از سایر نواحی شهر آلوده تر هستند. از بین روش های مورد استفاده در این پژوهش، مدل اتولجستیک مرکزی شده از توان پیشگویی بالاتری نسبت به روش کریگینگ نشانگر و مدل اتولجستیک برخوردار بود (کاوسی و دانه کار، ۱۳۹۲: ۴۵).

حسین حاتمی نژاد و احمدپور احمد با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، به توسعه شاخص کیفیت زندگی در شهر تهران پرداخته شده است. چهار مجموعه داده، شامل داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵، تصاویر ماهواره ای ETM+، داده‌های آلودگی هوا و لایه‌های خدمات شهری برای استخراج شاخص‌های کیفیت زندگی، مورد استفاده قرار گرفت. مولفه‌های استخراج‌شده شامل وضعیت مسکن و مهارت، دسترسی به خدمات

دسته دوم، داده های سطح دوم، شامل داده های هواویزها سنجنده مودیس

داده های سطح اول

داده های سطح اول، شامل بازتابندگی و تابش بالای جو است که کاملاً مختصات دار، کالیبره و تصحیح شده اند و در قالب یک دسته داده های علمی (SDS) و به صورت اعداد صحیح بدون علامت ارائه می شوند (۶). این داده ها برای تولید تصاویر رنگی، تحلیل های کیفی و کمی مورد استفاده قرار می گیرند (۱۲). این محصولات بصورت روزانه و برای هر ناحیه از کره زمین قابل دسترسی هستند. در جدول ۲، نیز محصولات سطح اول بر اساس نوع باندها و قدرت تفکیک مکانی آنها، به گروه های بازتابی و حرارتی تقسیم شده اند.

جدول ۱- گروه بندی محصولات سطح اول، نوع ماهواره و قدرت تفکیکی مکانی

MODIS/Terra	MODIS/Aqua	محتوی محصول
MOD02QKM	MYD02QKM	ورژان داده های کانلر، شده با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر
MOD02HKM	MYD02HKM	ورژان داده های کانلر، شده با توان تفکیک مکانی ۵۰۰ متر به همراه باندهای ۲۵۰ متری که به قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری ظاهری تبدیل شده اند
MOD03HKM	MYD03HKM	ورژان داده های کانلر، شده با توان تفکیک مکانی یک کیلومتر به همراه باندهای ۲۵۰ و ۵۰۰ متری که به قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتری ظاهری تبدیل شده اند

داده های سطح دوم

داده های هواویز روزانه مودیس، با سطح پردازش دوم شامل اطلاعات مفید در خصوص هواویزها و ذرات معلق هوا است که برای مطالعه هواویزها، منابع و محل فرونشست آنها، انواع هواویزها (مانند سولفاتها و هواویزهای حاصل از سوخت توده زنده) و برهم کنش هواویزها با ابرها و تصحیحات جوی و غیره، به کار می روند (استراوچونف، ۲۰۰۴: ۸۱).

برای انجام این مطالعه از دوره آماری سال ۱۳۹۴ و از داده های میزان غلظت ۲۰ ایستگاه فعال سنجش آلودگی هوا زیر نظر شرکت کنترل کیفیت هواپشهر تهران استفاده شد که ویژگی های مکانی و آماری داده ها بررسی شد. این ایستگاه ها شامل دروس، اتوبان محلاتی، اقدسیه، پارک رز، پیروزی، پونک، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه شریف، ستاد بحران، شادآباد، شهری، شهرداری منطقه ۲، شهرداری منطقه ۴، شهرداری منطقه ۱۰، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۶، شهرداری منطقه ۱۹، گلبرگ، مسعودیه و فتح می باشد. در این ایستگاه ها غلظت آلاینده های اصلی هوا شامل: منواکسید کربن، ازن، اکسید ازت، دی اکسید گوگرد، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (۱۰pm) و ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون (۲,۵pm)، بصورت پیوسته اندازه گیری شده است. در شکل ۱ موقعیت مکانی استقرار ایستگاه های فعال شرکت کنترل کیفیت هوا در شهر تهران طی سال ۱۳۹۴ نشان داده شده است.



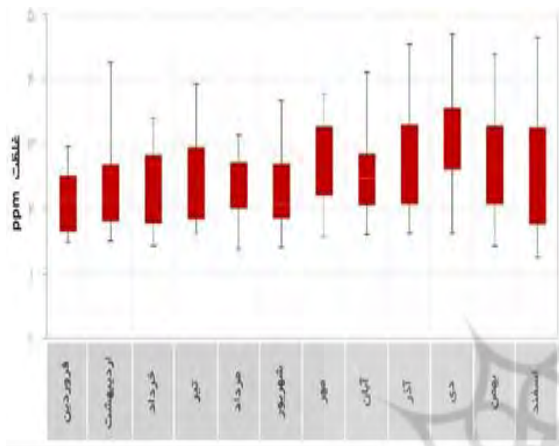
شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه های سنجش آلودگی هوا

تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس داده های این سنجنده به دو دسته تقسیم بندی می شود.

دسته اول، داده های سطح اول، شامل داده های بازتابندگی و تابشی مربوط به باندهای مختلف

روش بررسی

وارونگی دما و پایداری جو در ماه های آذر و دی، مقادیر میانگین غلظت آن به بیشترین میزان رسیده است. در فروردین کمترین غلظت میانگین برای آلاینده منواکسید کربن دیده میشود. در مجموع، تأثیر حجم ترافیک و تغییرات شرایط جوی بر میزان غلظت این آلاینده به طور کامل مشاهده می شود (۱۱).



نمودار ۱- تغییرات غلظت ماهانه آلاینده منواکسید کربن طی سال ۹۴

برای انجام آنالیز و تولید نقشه پهنه بندی مکانی آلاینده ها به عنوان نمونه مبنا پاکترین روز و آلوده ترین روز قرار داده شد و آنالیز به طور مجزا برای آلاینده ها تکرار شد تا بهترین روش انتخاب شود.

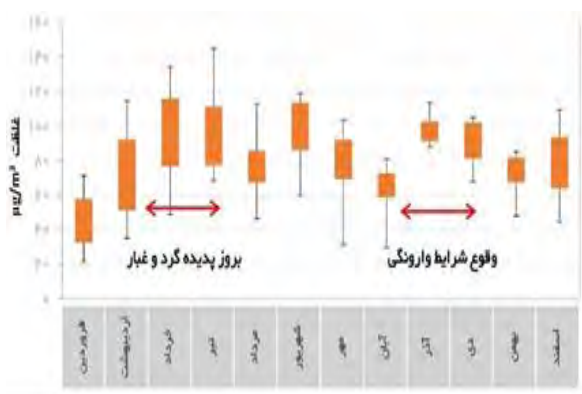
در شکل ۲ نحوه پراکنش غلظت آلاینده منواکسید کربن در شهر تهران برای روز (۱۳۹۴/۱۰/۷) به عنوان روز آلوده و (۱۳۹۴/۱/۳) به عنوان روز پاک نشان داده شده است. همانطور که در نقشه ۴-۱ دیده می شود. میزان غلظت آلاینده منواکسید کربن در مناطق ۲-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۱۰ و ۱۱ تجمع تر شده است. هر چه از حاشیه شهر به مرکز شهر برویم بر میزان غلظت آلاینده منواکسید کربن اضافه میشود. در شکل نشان از پاک بودن هوا از آلاینده منواکسید کربن را نشان می دهد. و هر چه از پهنه غربی شهر تهران به پهنه شرقی برویم از میزان آلاینده منواکسید کربن کاسته می شود.

در این تحقیق، برای انجام روش های درون یابی و تهیه نقشه پهنه بندی از نرم افزار GIS برنامه Spatial Analyst و Geostatistical Analyst استفاده شد. نقاط ایستگاه ها ابتدا بر روی نقشه مناطق ۲۲ گانه تهران جانمایی شد. سپس از روش درون یابی استفاده گردید. در این روش ابتدا دو روش IDW و Kriging برای شناسایی بهترین روش ارزیابی و تحلیل مورد بررسی قرار گرفت و معایب و مزایای آنها شناسایی شد. ارزیابی و تست خطا دو مدل درون یابی با دو روش فوق مورد بررسی قرار گرفت که حاکی از دقت بالاتر روش Kriging نسبت به روش IDW می باشد. برای ارزیابی میزان دقت نیز از روش خطای میانگین مجذور مربعات استفاده شد. سپس بر مبنای میزان خطای RMSE بدست آمده از هر یک از مدلها، بهترین روش برای هر یک از آلاینده ها انتخاب و برای تجزیه و تحلیل و در نهایت تولید نقشه پهنه بندی کیفی هوای شهر تهران بر مبنای داده های پایش زمینی برای نمونه های انتخابی بکار گرفته شده است.

یافته ها

آلاینده منواکسید کربن

نمودار ۱ روند تغییرات میانگین غلظت ماهانه آلاینده منواکسید کربن را طی سال ۱۳۹۴ نمایش می دهد. همانطور که ملاحظه میشود، میانگین این آلاینده در تمام ماه ها کمتر از ۵ ppm بوده است و از شروه ماه مهر به سبب افزایش حجم ترافیک شهر، میزان غلظت افزایش یافته و در ادامه با بروز سرما این روند تداوم داشته است و همزمان با افزایش وقوع

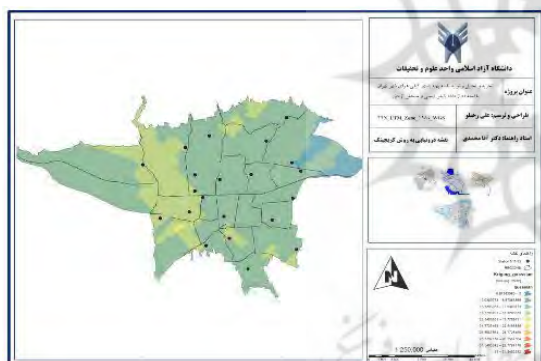


مودار ۲- تغییرات غلظت ماهانه ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون طی سال ۱۳۹۴

همانطور که در شکل ۳ دیده میشود میزان غلظت آلاینده PM_{10} در کل محدوده شهر تهران به غیر از مناطق ۱۶ و ۲۰ تجمع تر شده بر میزان غلظت آلاینده PM_{10} اضافه شده است. منطقه ۴ و پهنه شرقی تهران پاکتر از پهنه غربی تهران می باشد.



شکل ۲- نقشه نحوه پراکنش غلظت آلاینده همنو اکسید کربن در شهر تهران برای روز پاک و آلوده

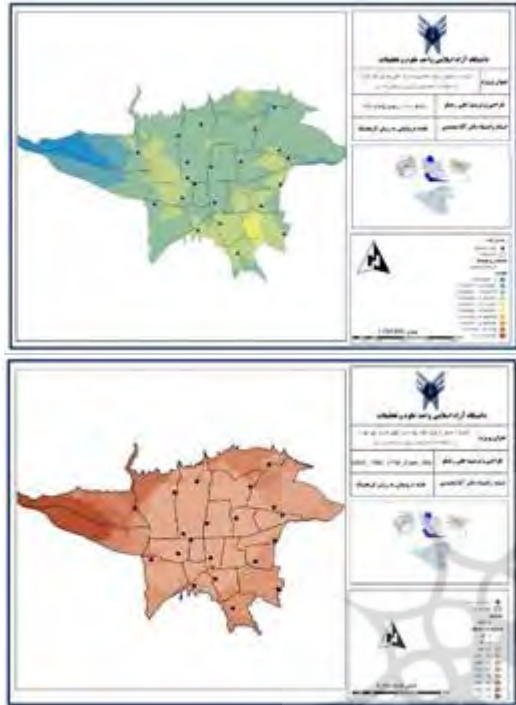


شکل ۳- نقشه نحوه پراکنش غلظت آلاینده PM_{10} در شهر تهران برای روز پاک و آلوده

آلاینده ذرات معلق (pm_{10} - $pm_{2.5}$)

نمودار ۳-۴ غلظت میانگین آلاینده pm_{10} را در ماه های مختلف سال ۱۳۹۴ نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود میانگین غلظت این آلاینده در ماه فروردین در کمترین مقدار خود بوده و در ماه های بعد به تدریج افزایش یافته است و در ماه مرداد بیشترین میانگین غلظت مشاهده می شود. از آنجا که انتشار این آلاینده بیشتر ناشی از منابع طبیعی است، غلظت این آلاینده در ماه های گرم سال که بیشترین میزان پدیده گردوغبار رخ داده، افزایش یافته است و در ماه هایی که بارش بیشتر بوده است، کاهش غلظت مشاهده می شود. ایجاد شرایط پایدار جوی، بویژه در ماه های سرد سال نیز در افزایش غلظت این آلاینده موثر بوده است (۱۱).

آلاینده $PM_{2.5}$ پایین بوده و منطقه ۲۲ و پهنه غربی شهر تهران پاکتر از پهنه غربی می باشد.



شکل ۴- نقش نحوه پراکنش غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران برای روز پاک و آلوده

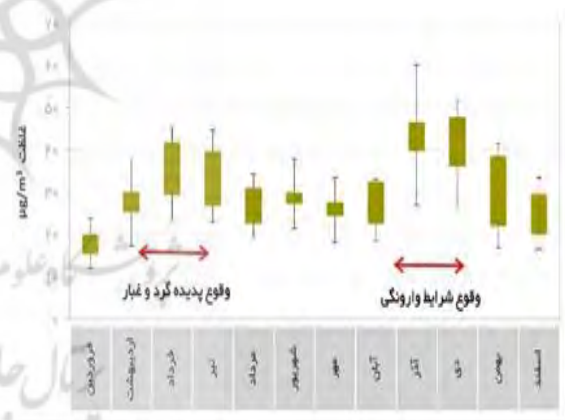
آلاینده دی اکسید گوگرد

نمودار ۵ تغییرات ماهانه آلاینده دی اکسید گوگرد طی سال ۱۳۹۴ را نشان می دهد. در این نمودار از داده ایستگاه هایی که در طول هر ماه در بیش از نیمی از روزهای ماه اطلاعات داشته، استفاده شده است. همانطور که مشاهده می شود، میانگین غلظت این آلاینده در ماههای آذر و شهریور بیش از سایر ماه ها است. علی رغم اینکه ماکزیمم مقادیر غلظت در ماه مهر دیده شده است. لازم به ذکر است، با توجه به انجام پروژه تعمیر دستگاه های سنجش دی اکسید گوگرد طی سال ۱۳۹۴، داده برخی از ایستگاه ها در تحلیل های مربوط به این آلاینده در نظر گرفته نشده است (دفتر بررسی آلودگی هوا، پورتال سازمان حفاظت محیط زیست کشور)

روند تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق

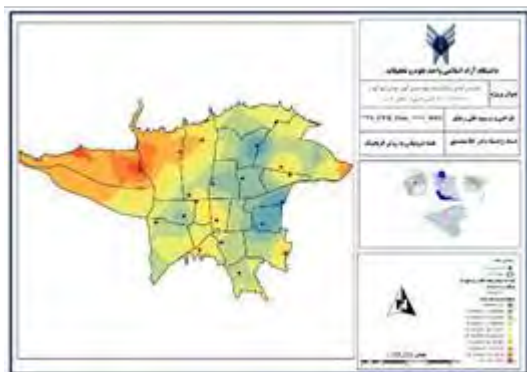
کمتر از ۲.۵ میکرون ($pm_{2.5}$) طی سال ۱۳۹۴

نمودار ۳ غلظت میانگین آلاینده $PM_{2.5}$ را در ماه های مختلف سال ۱۳۹۴ نشان می دهد این آلاینده بیشتر از فرایندهای احتراقی، بویژه در وسایل نقلیه موتوری، تولید می شود و در صورتی که ناپایداری جوی، نظیر باد و باران وجود نداشته باشد، موجب تجمع و انباشت این آلاینده می شود. در ماه فروردین غلظت این آلاینده کاهش محسوسی داشته است و همانطور که در نمودار مشخص شده، غلظت میانگین ماهانه در دو بازه به اوج خود می رسد. بازه اول در ماه مرداد به سبب وقوع پدیده گردوغبار و بازه دوم که بیشترین مقدار در آن مشاهده می شود. در ماه های آذر و دی به سبب شرایط پایدار جوی و وارونگی دما رخ داده است. بیشترین نوسانات غلظت نیز مربوط به آذر بوده است (۱۱).

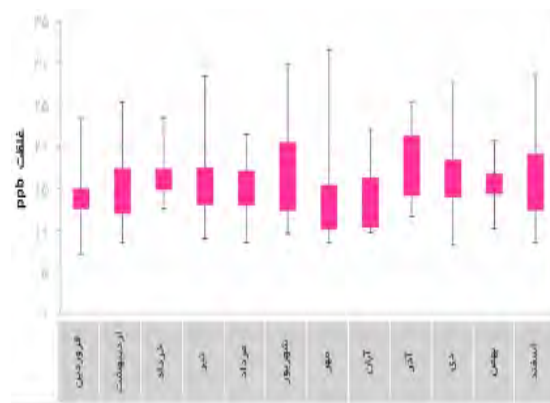


نمودار ۳- تغییرات غلظت ماهانه آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون ($pm_{2.5}$) طی سال ۱۳۹۴

در شکل ۴ دیده میشود میزان غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در مناطق حاشیه ای شهر تهران مثل ۲۲-۲۱-۴-۱۳-۱۵-۲۰-۱۸ و ۱۹ تجمع تر شده بر میزان غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ اضافه شده است. و پهنه مرکزی شهری میزان غلظت آن به نسبت کمتر از حاشیه آن است. در شکل که مربوط به روز پاک می باشد غلظت



شکل ۵- نقشه نحوه پراکنش غلظت آلاینده‌ی اکسید گوگرد در شهر تهران برای روز پاک و آلوده



نمودار ۵- تغییرات غلظت ماهانه آلاینده دی اکسید گوگرد طی سال ۱۳۹۴

تحلیل داده های سنجنده مودیس

تحلیل داده های سطح اول

داده های بازتابندگی و تابندگی سنجنده مودیس، در ۳۶ باند طیفی با عنوان سطح اول جهت نمایش تصویری برای تحلیل های کیفی یا کاربردهای دیگر موجود می باشد (۱۲). این محصولات در سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و یک کیلومتر ارائه می شود. همانطور که در فصول قبل بیان شد هواویزها در طول موج های کوتاه طیف الکترومغناطیسی، باعث پراکندگی نور خورشید میشوند. در حالت توده ای و تجمعی، توانایی هواویزها برای پراکنش نور خورشید بالاتر بوده و بدین ترتیب در قدرت تفکیک سنجنده مودیس (۲۵۰ و ۵۰۰ متر و یک کیلومتر)، قابل تشخیص می باشند. همانطور که در فصل قبل گفته شد باندهای ۱ تا ۷ این سنجنده با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر برای مطالعه هواویزها طراحی شده است (۱۰). هدف ما تحلیل داده های سنجنده مودیس می باشد. به همین منظور در این تحقیق از شاخص شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار و AOD^۱ استفاده شده است.

در شکل ۵ دیده میشود میزان غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد در پهنه های غربی و شرقی تهران و پهنه مرکزی شهر تجمیع تر شده و بر میزان غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد اضافه شده است. و مناطق حاشیه ای مثل ۱-۱۳-۱۴-۲۰ و ۱۹ میزان غلظت آن به نسبت کمتر است. در شکل که مربوط به روز پاک می باشد غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد بسیار پایین بوده و در تمامی ایستگاه ها و شهر تهران را عاری از آلاینده دی اکسید گوگرد نشان می دهد.



^۱MODIS Aerosol Depth

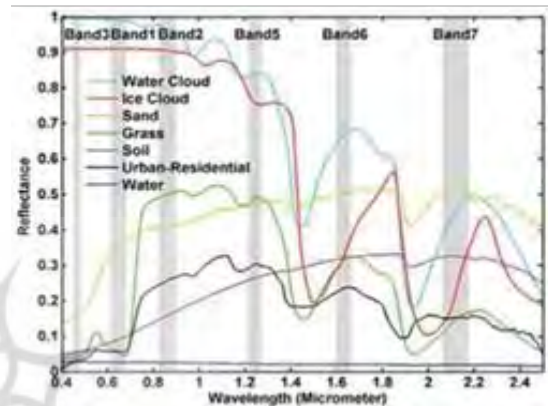
$$\rho_{\mu\text{m}} = (\rho_{0,469\mu\text{m}} - \rho_{2,13\mu\text{m}}) / (\rho_{0,469\mu\text{m}} + \rho_{2,13\mu\text{m}})$$

در این رابطه $\rho_{\mu\text{m}0,469}$ و $\rho_{\mu\text{m}2,13}$ در باند ۰,۴۶۹ و ۲,۱۳ میکرومتر بالای جو می باشد. مقدار شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار برای ابرها منفی است ($<0,0$) شاخص نرمال گرد و غبار، زیرا بازتاب آنها در باند ۰,۴۶۹ میکرومتر و در باند ۲,۱۳ میکرومتر پایین تر می باشد (۹).

داده های تصاویر مربوط به ۲۰ روز پاک و ۲۰ روز آلوده با استفاده از رابطه فوق، برای بدست آوردن شاخص نرمال گرد و غبار انجام گرفت. و مقدار عدد بدست آمده مربوط به ۲۰ ایستگاه استخراج گردید. با در اختیار داشتن داده های ماهواره ای سنجنده مودیس بر مبنای شاخص شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار داده های زمینی ایستگاه های شرکت کنترل کیفیت هوا مربوط به ۲۰ روز با استفاده از روش رگرسیون، ارتباط میان این دو پارامتر ماهواره ای مودیس شاخص نرمال گرد و غبار و زمینی (PM_{10}) و همچنین میزان همبستگی آنها را بررسی نمود.

در این مطالعه برای ۲۰ روز از ماه فروردین و ۲۰ روز آلوده مربوط به ماه پاییز و زمستان نمودارهای زیر حاصل گردید. نتیجه نشان میدهد برای روز آلوده که بین پارامتر شاخص نرمال گرد و غبار حاصل از سنجنده مودیس و غلظت ذرات نعلق موجود در هوا، یک رابطه خطی با میزان همبستگی حدود $R^2 = 0,8013$ وجود دارد. و برای روز پاک میزان همبستگی حدود $R^2 = 0,913$ وجود دارد.

پیاده سازی شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار منحنی رفتار طیفی صدها نوع مختلف از مواد در کتابخانه پیشرفته آستر که بعنوان یکی از مراجع برای شناسایی مواد استفاده می شود. در شکل ۶ میتوان منحنی رفتار طیفی چند نمونه از مواد مختلف مانند پوشش گیاهی، خاک، شن و ماسه، منطقه مسکونی و ابر را مشاهده کرد (۱۳).



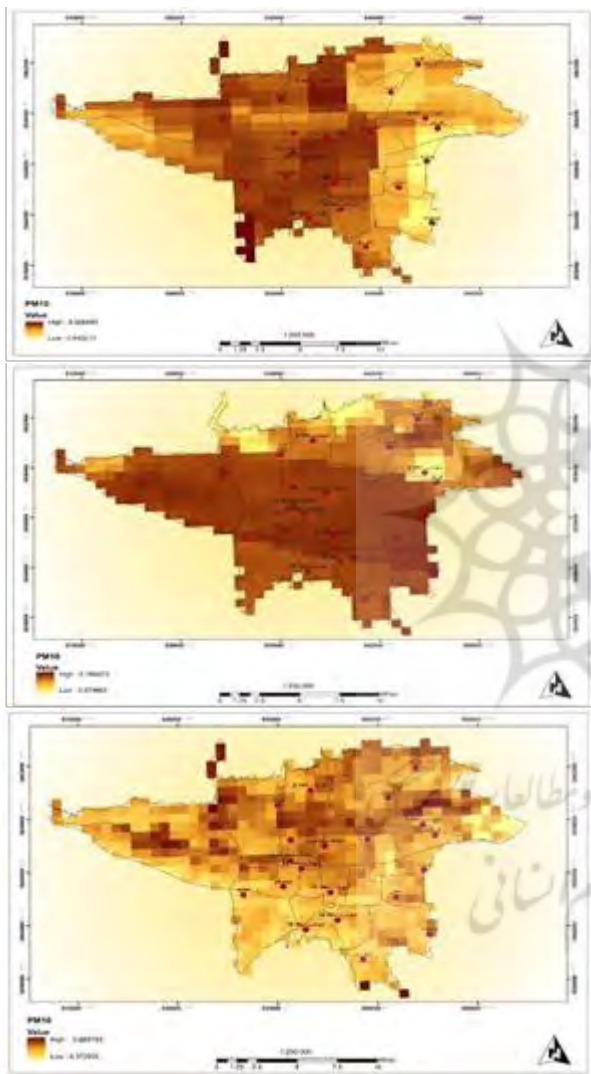
شکل ۶- بازتاب مواد ذکر شده از باندهای ۰,۴ تا ۲,۴ میکرومتر سنجنده مودیس

با توجه به شکل میتوان دریافت که بازتابندگی گرد و غبار در باند ۳ مودیس (۰,۴۶۹ میکرومتر) دارای کمترین مقدار و در باند ۷ (۲,۱۳ میکرومتر) دارای بیشترین مقدار می باشد. با استفاده از ویژگی طیفی گرد و غبار خیلی راحت میتوان تفاوت های میان ابر و گرد و غبار را تشخیص داد بدلیل اینکه انعکاس ابر در باند ۳ مودیس دارای بیشترین مقدار بوده و همین اختلاف انعکاس میان ابر و گرد و غبار باعث جداسازی این دو ماده مختلف از یکدیگر است.

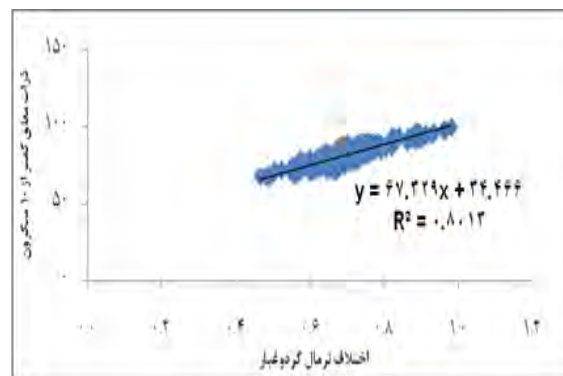
ویژگی های طیفی شن و ماسه و خاک نشان میدهد که با استفاده از انعکاس بالا در طول موج ۲,۱۳ میکرومتر و انعکاس پایین در طول موج ۰,۴۶۹ میکرومتر میتواند اختلاف نسبتاً قابل قبولی میان گرد و غبار به همراه ابر و آب ایجاد کند. شاخص نرمال گرد و غبار با بکارگیری از همین متمایز بودن ها بوسیله رابطه زیر تعریف شده است:

NDDI	PM _{۱۰}	of data		
۰/۵۲۹	۲۸/۹۴	۲۰	۰/۹۱	۰/۸۱

در شکل ۷ و ۸ نمونه های از نحوه پراکنش غلظت آلاینده PM_{۱۰} در شهر تهران برای روز آلوده و روز پاک نشان داده شده است .



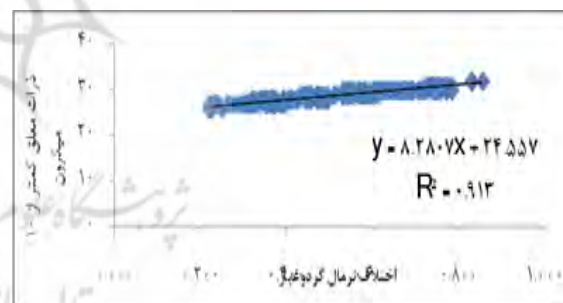
شکل ۷- نقشه پراکنش غلظت آلاینده PM_{۱۰} مربوط به روزهای آلوده (۹۴/۵/۱۹-۹۴/۶/۱۰-۹۴/۰۹/۲۱-۹۴/۱۰/۷) در شهر تهران



نمودار ۶- همبستگی میان شاخص نرمال گرد و غبار بدست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده PM_{۱۰} در لحظه گذر ماهواره برای ۲۰ روز آلوده مربوط به ماه های پاییز و زمستان سال ۱۳۹۴

جدول ۲- مشخصات نتایج بدست آمده از تطابق داده های شاخص نرمال گرد و غبار اندازه گیری زمینی آلاینده PM_{۱۰}

RMSE	R ^۲	Number of data	Mean PM _{۱۰}	Mean NDDI
۰/۷۳	۰/۸۰	۲۰	۸۳,۰۲	۰,۷۲۱

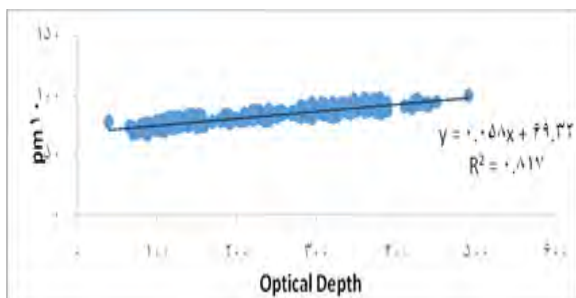


نمودار ۷- همبستگی میان شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار بدست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده PM_{۱۰} در لحظه گذر ماهواره برای ۲۰ روز پاک مربوط به ماه های فروردین سال ۱۳۹۴

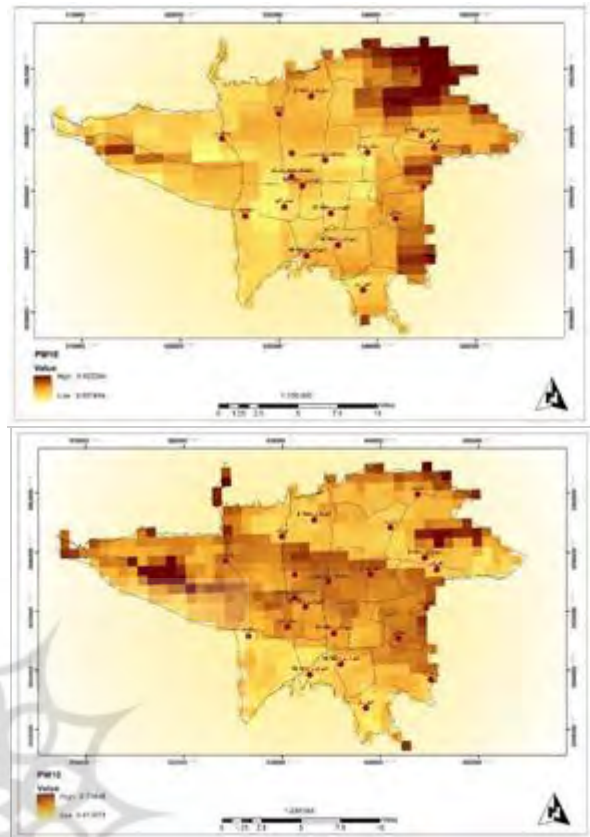
جدول ۳- مشخصات نتایج بدست آمده از تطابق داده های مودیس شاخص اختلاف نرمال گرد و غبار با اندازه گیری زمینی آلاینده PM_{۱۰}

Mean	Mean	Number	R ^۲	RMSE
------	------	--------	----------------	------

پراکنش مسیر عبور امواج نوری ضخامت نوری ذرات معلق میزان عبور امواج نور در جو را نمایش میدهد و نشانگر میزان جذب یا پراکنش مسیر عبور امواج نوری به دلیل وجود ذرات معلق می باشد. پس میتوان نتیجه گرفت که AOD معیاری از غلظت ذرات معلق در جو می باشد. برای تعیین ذرات معلق و هواویزها بر روی خشکی از الگوریتم موسوم به اهداف تیره استفاده می شود (۱۴). شکل ۱۰، بیانگر میزان حضور هواویزها در روزهای مختلف و همچنین اندازه ذرات هواویزی موجود در منطقه می باشند. این داده ها بر اساس الگوریتم اهداف تیره حاصل شده اند. بنابراین در مناطقی که با شرایط اهداف تیره مطابق نباشند (اعم از عدم وجود پیکسل های تیره و با بازتابندگی پایین و یا وجود ابر و...)، هیچ داده ای یافت نشده و این مناطق، با رنگ سفید و با ارزش صفر مشخص شده اند. سپس تصاویر زمین مرجع شده اند. پس از انجام پردازش لازم با استفاده از روش رگرسیون، ارتباط میان این این نوری دو پارامتر ماهواره ای مودیس، عمق نوری هواویزها (AOD) - نمای انگستروم^۲ و داده پایش زمینی (PM_{۱۰}) و همچنین میزان همبستگی آنها را بررسی و مقدار RMSE را محاسبه نمود. AOD رابطه مستقیم با مقدار آلودگی دارد. ولی نمای انگستروم رابطه معکوس با آلودگی دارد و بیانگر اندازه ذرات معلق می باشد.



^۲Angstrom Exponent



شکل ۸- نقشه پراکنش غلظت آلاینده PM_{۱۰} مربوط به روزهای پاک (۹۴/۱/۳-۹۴/۱/۴) در شهر تهران

تحلیل داده های سطح دوم (AOD)

یکی دیگر از روش های بررسی ذرات معلق یا هواویزها در جو مطالعه پارامتر عمق نوری ضخامت نوری هواویزها (AOD) می باشد. ضخامت نوری هواویزها به طور روزانه و با استفاده از داده های سنجنده مودیس و در پیکسل هایی با ابعاد ۱۰×۱۰ کیلومتر مربع بدست می آید. استفاده از این داده ها در مطالعات هواشناسی، پایش آلودگی هوا و شناسایی محل های ایجاد آلودگی و... مفید می باشد. همانطور که دیده شد استخراج اطلاعات کمی درباره هواویزها از داده های سنجنده مودیس، نیازمند الگوریتم ها و محاسبات پیچیده ای است، که ناسا این پردازش ها را انجام داده و نتایج را برای کاربران، در اینترنت قرار می دهد. عمق نوری ضخامت نوری ذرات معلق میزان عبور امواج نور در جو را نمایش می دهد. و نشانگر میزان جذب یا

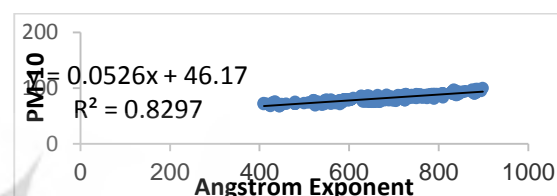
۱ درصد) رخ داده است. با وجود افزایش تعداد روزهای پاک و کاهش روزهای آلوده در این سال نسبت به ساله ای اخیر، همچنان ۳۰ درصد روزهای سال ۱۳۹۴ در شرایط فراتر از حد استاندارد قرار داشته اند. طی سال ۱۳۹۴، کمترین و بیشترین تعداد روزهای آلوده به ترتیب در فصل های تابستان (به ویژه مرداد) و زمستان (آذر و دی) رخ داده است. در سالهای اخیر آلاینده های ذرات معلق، به ویژه ذرات معلق با قطر کوچک تر از ۲٫۵ میکرون، آلاینده شاخص شهر تهران بوده اند. و طی سال ۱۳۹۴، ۱۱۱ روز، به لحاظ آلاینده های ۲٫۵ PM و ۱۱ روز از منظر آلاینده های ۱۰ PM در وضعیت نامطلوب قرار داشته است. خوشبختانه به لحاظ آلاینده منواکسید کربن دی اکسید نیتروژن در تمام روزهای سال، از نظر استاندارد روزانه در شرایط مطلوب قرار داشته اند. در حالی که بررسی وضعیت دو آلاینده ۱۰ PM و ۲٫۵ PM از منظر استاندارد سالانه نشان می دهد که طی این سال غلظت هر دو آلاینده فراتر از حد استاندارد سالانه قرار دارند (۱۱). در این پژوهش همچنین پس از استخراج این اطلاعات ضخامت نوری هواویزها از داده های مودیس برای شهر تهران همبستگی حدود ۰/۸۲ میان این داده ها با داده های زمینی بدست آمد که نشان می دهد سنجنده ای با دقت در حد مودیس و قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول می باشد. باتوجه به موارد فوق الذکر پیشنهاد می گردد که:

۱- برای تحلیل کمی و کیفی مکانی میزان غلظت آلاینده ها بخصوص در پهنه شهر تهران از داده های ایستگاه های یک سازمان استفاده گردد، به دلیل تفاوت در نوع و مدل دستگاه ها و کالیبراسیون نبودن بعضی از دستگاه ها که باعث ایجاد خطای اندازه گیری و عدم قطعیت می شود. به طور مثال برای شهر تهران داده های ایستگاه شرکت کنترل کیفیت هوا دقیق تر از داده های ایستگاه های سازمان حفاظت محیط زیست می باشد.

نمودار ۸- همبستگی میان **Optical Depth** بدست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده **PM₁₀** برای ۲۰ روز آلوده سال ۱۳۹۴

جدول ۴- مشخصات نتایج بدست آمده از تطابق داده های **Optical Depth** با اندازه گیری زمینی آلاینده **PM₁₀**

Mean Optical Depth	Mean PM ₁₀	Number of data	R ^۲	RMSE
۲۳۹	۸۳	۲۰	۰/۸۱	۰/۸۶



نمودار ۹- همبستگی میان **Angstrom Exponent** بدست آمده از سنجنده مودیس و غلظت آلاینده **PM₁₀** برای ۲۰ روز آلوده سال ۱۳۹۴

جدول ۵- مشخصات نتایج بدست آمده از تطابق داده های **Angstrom Exponent** با اندازه گیری زمینی آلاینده **PM₁₀**

Mean Angstrom Exponent	Mean PM ₁₀	Number of data	R ^۲	RMS E
۷۰۴	۸۳	۲۰	۰/۸۲	۰/۹۱

بحث و نتیجه گیری

بررسی وضعیت کیفیت هوای شهر تهران طی سال ۱۳۹۴ نشان دهنده آن است که شاخص کیفیت هوا طی این سال شامل ۲۱ روز پاک (۶درصد)، ۲۳۳ روز سالم (۶۴درصد)، ۱۰۵ روز ناسالم برای گروه حساس جامعه (۲۹درصد)، ۵ روز ناسالم برای عموم افراد جامعه (بیش از ۱درصد) و ۱ روز بسیار ناسالم (کمتر از

اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریگینگ نشانگر، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، زمستان ۱۳۹۲، جلد ۷، شماره ۲۱۴-۲۰۶.

۸- حاتمی نژاد، حسین و احمدپور، احمد، « تحلیل مکانی شاخص‌های کیفیت زندگی در شهر تهران»، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، زمستان ۱۳۹۲، جلد ۴، شماره ۵۶-۲۹.

۹- رحیم زادگان و همکاران، « توانایی داده سنجنده مودیس در تحلیل های کیفی و کمی کیفیت هوا در مناطق شهری»، پژوهش های اقلیم شناسی، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، جلد ۳ و ۴، شماره ۷۴-۶۱.

۱۰- Savtchenko, A., Ouzounov, D., Ahmad, S., Acker, J., Leptoukh, G., Koziana, J., Nickless, D., ۲۰۰۴. Terra and Aqua Modis products available from NASA GES DAAC. *Advances in Space Research*, Vol. ۳۴, pp. ۷۱۰ - ۷۱۴.

۱۱- دفتر بررسی آلودگی هوا، پورتال سازمان حفاظت محیط زیست کشور

۱۲- Jill, A., Christopher, H., Holloman, Basil, W., Raymond M., ۲۰۰۴. Qualitative and quantitative evaluation of Modis satellite sensor data for regional and urban scale air quality. *Atmospheric Environment*, vol. ۳۸, pp. ۲۴۹۵-۲۵۰۹.

۱۳- مباشری، محمدرضا، « میان‌یفیزیک‌درسنجشازدوروفناوریاطلاعاتماهورهای»، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، ۱۳۹۳، چاپ سوم، فصل یک.

۱۴-Remer, L.A., et al., ۲۰۰۵. The Aerosol Algorithm, Products, and Validation. *THE Atmospheric science spatial section*, vol. ۶۲, pp. ۹۴۷.

۲- با توجه به اندازه بزرگ پیکسل های سنجنده مودیس، باعث ایجاد خطا در مدلسازی می شود. بنابراین از سنجنده هایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر استفاده گردد.

۳- تعداد ایستگاه های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران با توجه به وسعت آن کافی نبوده و نیازمند مکانیابی بیشتر و دقیق تر می باشد.

منابع

۱- عسگری، حسین، « تاثیر شهرهای بزرگ بر روی آب و هوای خود»، نشریه هواشناسی کشور، فروردین ۱۳۴۸، <http://www.irimo.ir>

۲- علیجانی، بهلول، « بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران»، نشریه پژوهش های جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۵، جلد ۵۸، شماره ۹۹-۱۱۲.

۳- حبشی ه، م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. « کاربرد تکنیک زمین آمار در مطالعات خاک های جنگلی»، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره ۱۸-۲۸.

۴- مدنی، حسن، « مبانی زمین آمار»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۳، جلد اول، فصل دوم.

۵- Tsai, T.C., Jeng, Y.J., Chu, D. A., Chen, J.P., Chang, S.C., ۲۰۱۱. Analysis of the relationship between Modis aerosol Optical depth and particulate matter from ۲۰۰۶ to ۲۰۰۸. *Atmospheric Environment*, vol. ۴۵, pp. ۱-۱۲.

۶- Ling-jun, L., WANG, Y., Qiang, Z., Tong, ZHAO, Y., Jun, J., ۲۰۰۷. Spatial distribution of aerosol pollution based on data over Beijing, China. *Environmental Sciences*, Vol. ۱۹, pp. ۹۵۵-۹۶۰.

۷- کاوسی، امیر و سفیدکار، ریحانه، « تحلیل فضایی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از مدل های

Analysis and zonation map of Tehran air quality monitoring data using ground and Rs

Abstract

Background and Objective: As the biggest metropolis of Iran, Tehran is among the most polluted cities of the world. Due to the detrimental effects of air pollution on health and environment, determining the exact pollutant and areas of pollution is necessary. The aim of this study was to investigate the ability of MODIS data.

Methods: This study measure particulate matter (particle pollution) in urban areas and make air quality maps using these data and the ground data. Data related to the pollutants $pm_{1.0}$, o_3 , co , so_2 , $pm_{2.5}$ in ۱۳۹۴ using simple kriging method as a method of ground statistics in different modes were evaluated and maps of pollutants levels were drawn. In addition, satellite images of the first level and second level data of this sensor for qualitative and quantitative analysis of particulate matter was used in large areas. Then, using the Normalized Difference dust Index (NDDI) related to the first level data and parameters such as optical depth and Angstrom view related to the second level data, their correlation and RMSE with ground data related to the pollutant $PM_{1.0}$ was calculated.

Findings: Results indicate that there was proper correlation between satellite images parameters and ground measurements.

Discussion and Conclusion: This correlation indicates the images ability of this sensor to detect atmospheric dust. Also, in this study the role of meteorological parameters influencing air pollution was investigated and results indicate that the dominant pollutant index in the year ۹۴, was the particulate matter $pm_{2.5}$ and $PM_{1.0}$. Continuous stability of weather condition is among the effective factors that increase the density of pollutants that leads to the pollutants accumulation

Key words: geographic information system, interpolation, MODIS sensor, $pm_{1.0}$.