فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

تحلیل زمین–آماری آلاینده‌های هوا با هدف آسمان آبی برای کلان‌شهر مشهد

افشین فامیلی ، علیرضا جلالی یزدی ، مریم حسن‌پور، روزبه شاد

۱- دانشجوی دکتری حمل‌و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کلمسون

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-مدیریت ساخت، دانشگاه فردوسی مشهد

۴-استادیار دانشگاه فردوسی-مهندسی عمران-دانشگاه فردوسی مشهد

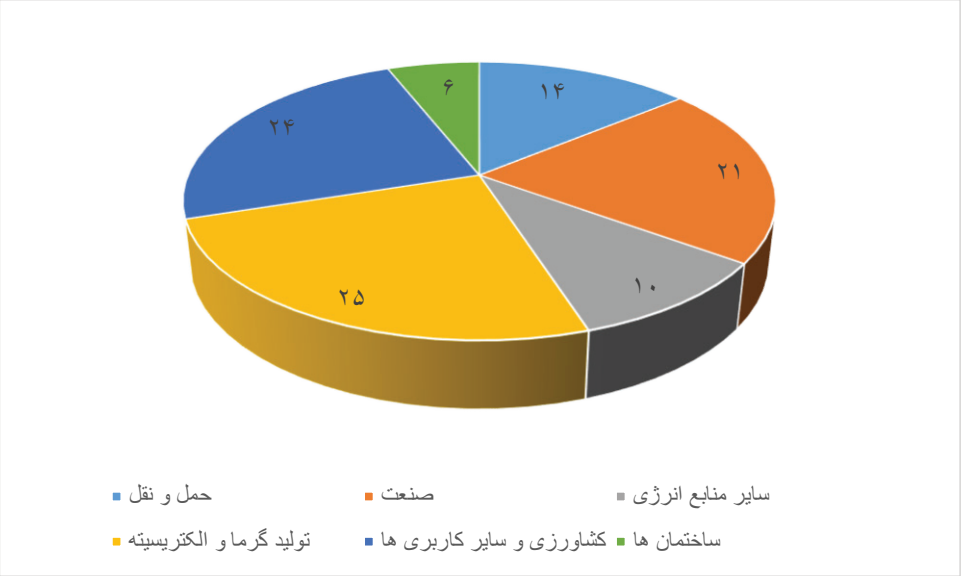
چکیده

امروزه آلودگی محیط زیست به یکی از مشکلات جدی در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. در مطالعه ی حاضر تلاش شده است که نقشه ی مناطق آلوده‌ی شهر مشهد تولید شده و آلودگی سایر مناطق با استفاده از درون یابی، پیش بینی شود. برای این منظور از اطلاعات شش آلاینده‌های هوا (CO, NO2,PM10, PM2.5) در ۱۱ ایستگاه هواشناسی کلان‌شهر مشهد در سال ۱۳۹۰ استفاده شد. سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) و دو رویکرد کریجینگ معمولی و احتمالی به منظور نشان دادن مناطق آلوده و غیر آلوده در سطح شهر مشهد استفاده شد. روش کریجینگ در اینجا به عنوان ابزاری برای درون یابی ا ستفاده شده ا ست. در این تحقیق در ابتدا با کمک نمودار سمی‌وایروگرام وابستگی مکانی آلاینده‌ها در ایستگاه‌های سنجش آلودگی ارزیابی شد. سپس با کمک ساخت مدل فضایی که با استفاده از متوسط داده‌های روزانه تمرکز آلاینده‌ها، میزان آلودگی در مناطق مختلف شهر مشهد ثبت و ارائه شد.

واژگان کلیدی : مهندسی ترافیک، حمل و نقل، آلودگی، مشهد، آسمان آبی، سیستم اطلاعات مکانی.

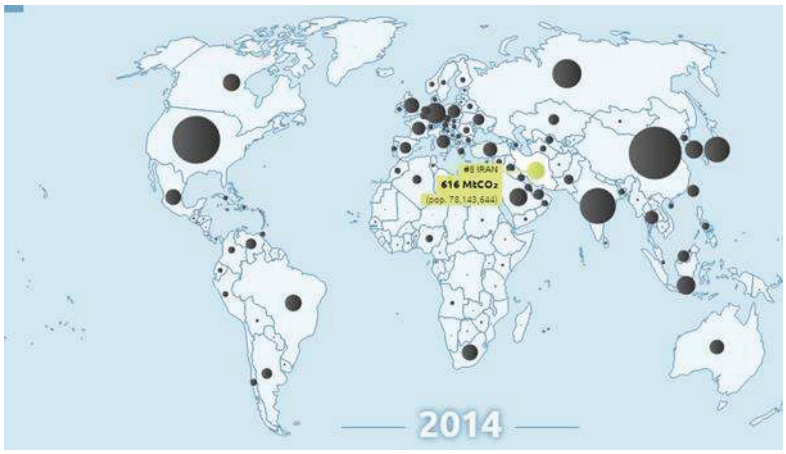
۱- مقدمه

در میان انواع مختلف آلودگی های زیست محیطی، آلودگی هوا چالشی اساسی در جهت حفاظت از محیط زیست به شمار می آید. زیرا مواجه با هوای آلوده در فضای آزاد احتمال ابتلا به بیماری ها را افزایش داده و حتی ممکن است منجر به فوت شود. با افزایش روز افزون وسایل نقلیه متردد در سطح معابر شهری و عدم پاسخگوی معابر موجود به تقاضای سفر با توجه به توقف‌های متعدد و طولانی که بعضا به کیلومترها میرسد، اغلب در این راهبندان‌ها وسایل نقلیه با موتور روشن توقف میکنند و با انتشار مواد آلاینده و مضر با ترکیبات شیمیایی پیچیده منجر به آلودگی هوا می گردند. طبق آمار منتشر شده از کنفرانس بین المللی تغییرات اقلیم در سال ۲۰۱۴ سهم حمل و نقل از انتشار گازهای گلخانه ای در میان سایر انواع بخش های اقتصادی ۱۴ درصد بوده است، که مقداری قابل توجه می باشد[۴].



شکل ۱: *میزان انتشار گازهای گلخانه ای بر حسب منبع انتشار*

با این وجود کشورهای مخلف در رابطه با انتشاز گازهای آلاینده سهم های متفاوتی را به خود اختصاص داده اند که در میان آنها ایران با تولید سالانه ۶۱۶ میلیون تن دی اکسید کربن در رتبه ی هشتم بعد از کشورهای چین، ایالات متحده، هند، روسیه، ژاپن، آلمان و اندونزی قرار دارد[۵].



شکل ۲: *سهم انتشار گازهای آلاینده در کشور های مختلف در سال ۲۰۱۴*

۲- معرفی

تحقیقات متنوعی با هدف کاهش میزان آلودگی هوای کلان‌شهرهای کشور صورت گرفته است. اغلب این روش ها از آمار کلاسیک برای تحلیل خود بهره گرفته اند. با این حال امروزه روش‌های قدرتمندتر و کارآمدتری به وجود آمده است که به بررسی و ارزیابی میزان آلودگی از دیدگاه مکانی- فضایی می‌پردازد. پیشرفت‌های اخیر آمار فضایی و جایگزینی متغیرهای ناحیه‌ای به‌جای متغیر تصادفی، توجه

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم – شماره ۷۶ – بهار ۱۳۹۷

مهندسین را به تغییر روش‌های کمی در آمار کلاسیک جلب نموده و گسترش سامانه اطلاعات جغرافیایی[۱] در ارتباط با آمار فضایی سبب شده است تا در زمینه آلودگی هوا روش‌های درون‌یابی[۲] به‌منظور تهیه پهنه‌های آلوده مورد توجه قرار گیرد که به بررسی و ارزیابی میزان آلودگی از دیدگاه مکانی-فضایی می‌پردازد. در این تحقیق به بررسی و اجرای روش کریجینگ در درون‌یابی پرداخته می‌شود.

۱-۲- تعریف کریجینگ

تکنیک کریجینگ یک روش درون‌یابی است که از متغیرهای تخمینی برای مکان‌هایی که اندازه‌گیری در آن‌ها انجام نگرفته است، استفاده می کند. بدین منظور از متغیرهای مشاهده شده در نزدیک‌ترین همسایگی کمک می گیرد. وزن‌های کریجینگ از سمی وایروگرامی که با توجه به ساختار فضایی داده‌ها گسترش یافته پدید می آید. به منظور تهیه سطح یا نقشه‌ای به‌هم‌پیوسته و یکپارچه از پدیده مورد بررسی، بر اساس سمی وایروگرام مقادیر پیش‌بینی برای مکان‌هایی که در محدوده‌ی مطالعه قرار دارند، به وجود می‌آید و همچنین ساماندهی مکانی برای ارزش‌های اندازه‌گیری شده بر اساس نزدیکی صورت میگیرد[۶] . مطلق بودن تخمین در درون یابی از ویژگی های عمده مدل کریجینگ است. بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه برداری با مقدار اندازه گیری شده برابر می باشد و واریانس تخمین صفر می گردد. این ویژگی سبب می شود که تخمین گر کریجینگ در رسم خطوط هم ارزش[۳] از حداکثر نقاط نمونه برداری عبور کرده و تمایلی به بسته شدن و دور زدن را نداشته باشد و از مرز محدوده مطالعه فراتر نرود.

۲-۲- کریجینگ معمولی[۴]

درون یابی که بر اساس تخمین مدل های آمار فضایی صورت می گیرد، فرایندی است که طی آن می توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. مهم ترین تخمین گر فضایی به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار[۵] به نام دی جی کریگ[۶] که یک مهندس معدن آفریقای جنوبی بوده، به نام کریجینگ نامگذاری شده است[۱]. کریجینگ به شکل ها و روش های مختلفی وجود دارد، اما تمامی آنها بر اساس مفهوم الگوریتم رگرسیون خطی شکل گرفته اند. این تکنیک یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می باشد و این تخمین گر به صورت زیر تعریف می شود:

$$Z^*_v = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \, GZ_{v_i}$$

Z^*_v پارامتر تخمینی، γ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و Z_{v_i} پارامتر معلوم می باشد. این نوع کریجینگ را خطی می نامند؛ زیرا ترکیب خطی از nداده است. در استفاده از این تخمین گر باید متغیر z توزیع نرمال داشته باشد؛ در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا با بهره گیری از تبدیل های آماری، توزیع متغیر را نرمال نمود[۱] .

۳-۲- سمی واریوگرام[۷]

سمی واریوگرام، بر اساس این تفکر که خواص پدیده ها در مکان های نزدیکتر شباهت بیشتری دارند تا در فاصله های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط را اندازه گیری می کند. در محور طولی یک سمی واریوگرام فاصله ی بین نمونه ها و در محور عرضی مربع اختلاف بین مقدار یا واریانس نمونه ها ترسیم می شود و هر نقطه در نمودار سمی واریوگرام موقعیتی از دو نقطه را نشان می دهد. اگر همبستگی بین داده ها وجود داشته باشد دو جفت به هم نزدیک در قسمت چپ محور طولی و پایین محور عرضی قرار می گیرند، همانطور که نقاط از هم دور می شوند به طرف راست محور طولی حرکت می کنند و به طور کلی مربع اختلافات بیشتر شده و در سمت بالای محور عرضی قرار می گیرد. فرض اساسی در این تحلیل آن است که نمونه های جفت که فاصله و جهت مشابه دارند دارای واریانس های مشابه هم هستند، که این رابطه ایستایی[۸]نامیده می شود[۲].

مطالعه ی حاضر با اهداف زیر اجرا گردید:

- تعیین میزان انتشار آلودگی هوا از منابع اصلی تولیدکننده ی آلودگی و پیرامون آنها در سطح شهر
- تعیین میزان کیفیت هوا در سطح شهر و ارزیابی اثرات آن
- بررسی تاثیر میزان ترافیک جاده ای بر آلودگی هوا

۳- روش تحقیق

شهر مشهد، دومین کلان شهر ایران و مرکز استان خراسان رضوی با مساحتی بالغ بر ۳۵۲ کیلومترمربع در شمال[۳] شرق ایران واقع شده است. این شهر علاوه بر جمعیت اصلی خود، طبق آمارهای رسمی با جذب سالانه حدود ۳۰ تا ۳۵ میلیون نفر، قطب اول جذب توریست و زائر در ایران به شمار می آید. از این رو کیفیت هوا دراین شهر اهمیت دوچندان می یابد. پراکندگی فضایی آلاینده های هوا از قبیل $CO, PM_{2.5}, PM_{10}, N, NO_2, NO_x, O_3$ از منابع متحرک و ثابت یا پدیده های طبیعی اثرات مهمی بر کیفیت هوا دارند. با توجه به مطالبی که در مورد شهر مشهد ذکر گردید و نیز تردد بالای وسایل نقلیه در این شهر میزان آلاینده های هوا افزایش یافته است. در نتیجه لزوم نصب دستگاه های سنجش و کاربرد ابزارهای ارزیابی و تحلیل آماری و فضایی، جهت کاهش و کنترل آلاینده های منتشره را ایجاب می کند. شدت غلظت آلودگی هوا در نقاط مختلف سطح شهر مشهد توسط ۱۱ ایستگاه هواشناسی، همانطور که جدول مشخص گردیده، نمونه گیری و اندازه گیری شده است. در این ایستگاه ها آلاینده های نامبرده توسط دستگاه های موجود مورد سنجش قرار می گیرد. از سال ۱۳۸۹ به دلیل افزایش میزان ریزگردها در سطح کشور وضعیت ذرات معلق کمتر از ۲,۵ میکرون ($PM_{2.5}$) نیز سنجش

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم – شماره ۷۶ – بهار ۱۳۹۷

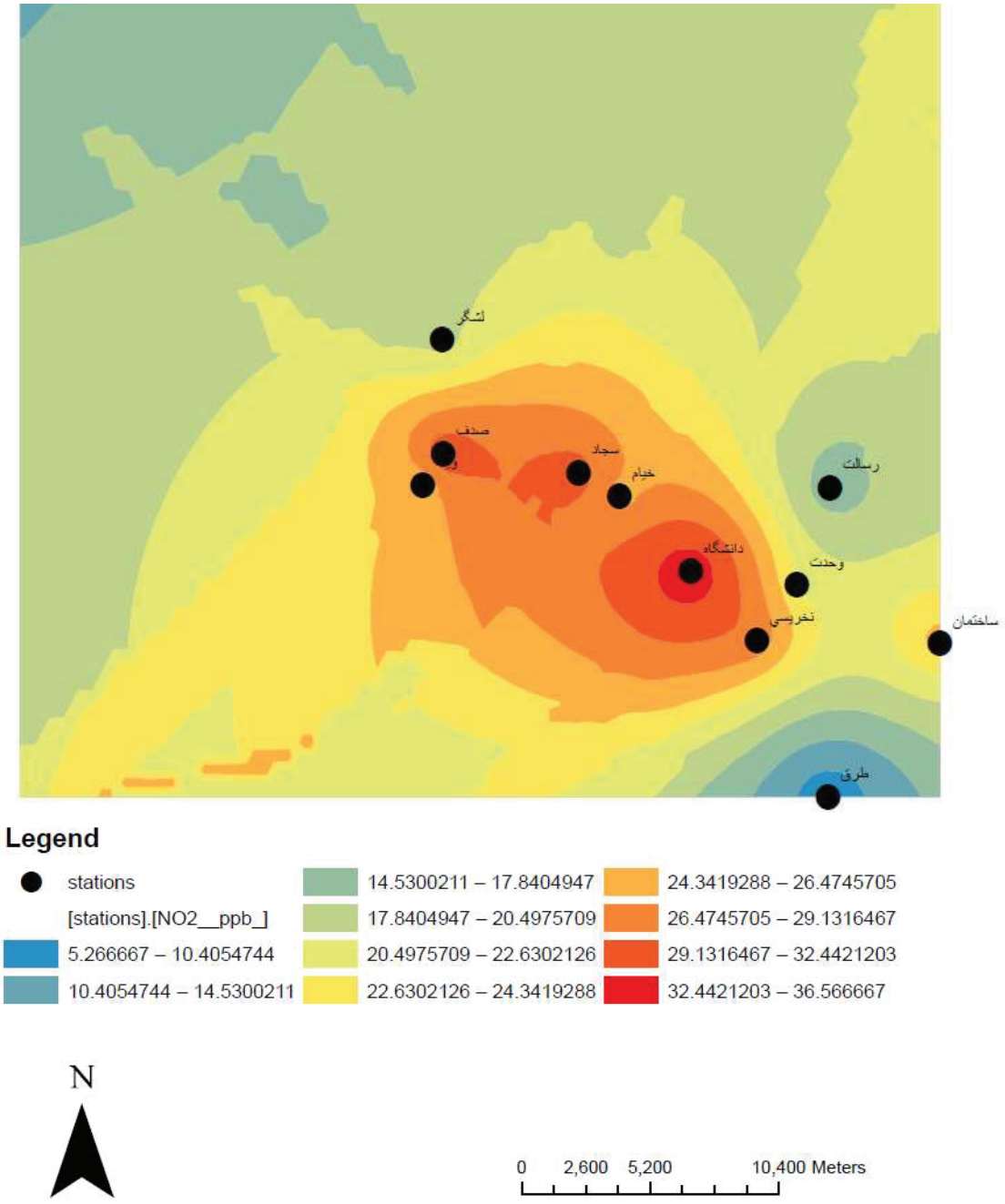
می گردد. در این تحقیق نتایج بر اساس شاخص کیفیت هوای PSI[۹] بیان می گردد. در این شاخص معادل ۱۰۰ با استانداردهای ملی تطابق دارد و بالای ۱۰۰ غیر بهداشتی در درجه اول برای گروه های حساس است و به افراد کمک می کند تا بفهمند کیفیت هوا برای گروه های حساس است و به افراد کمک می کند تا بفهمند کیفیت هوا برای سلامت آنها در چه وضعی است[۷].

جدول۱: *گروه های شاخص کیفیت هوا و رنگ های مربوط به هر گروه*

PSI	شرح	رنگ نشانده
۰-۵۰	خوب	سبز
۵۱-۱۰۰	متوسط	زرد
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه های حساس	نارنجی
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	قرمز
۲۰۱-۳۰۰	خیلی ناسالم	بنفش
۳۰۰ به بالا	خطرناک	خرمایی

جدول۲: *متوسط وضعیت آلاینده های هوای شهر مشهد بر اساس شرایط استاندارد PSI در سال ۱۳۹۰*

آلاینده ها	شرایط بر حسب استاندارد PSI					
	خوب	متوسط	ناسالم برای گروه های حساس	ناسالم	خیلی ناسالم	خطرناک
CO	۴۲,۶۹۴۴۴۴	-	-	-	-	-
$O_۳$	۱۹,۷۷۷۷۷۸	-	-	-	-	-
$NO_۲$	۲۹,۳۴۷۲۲۲	-	-	-	-	-
$PM_{۲.۵}$	-	-	۱۰۷,۰۰۹۷۱۲	-	-	-
$PM_{۱۰}$	-	-	-	۱۵۷,۴۳۰۵۵۶	-	-

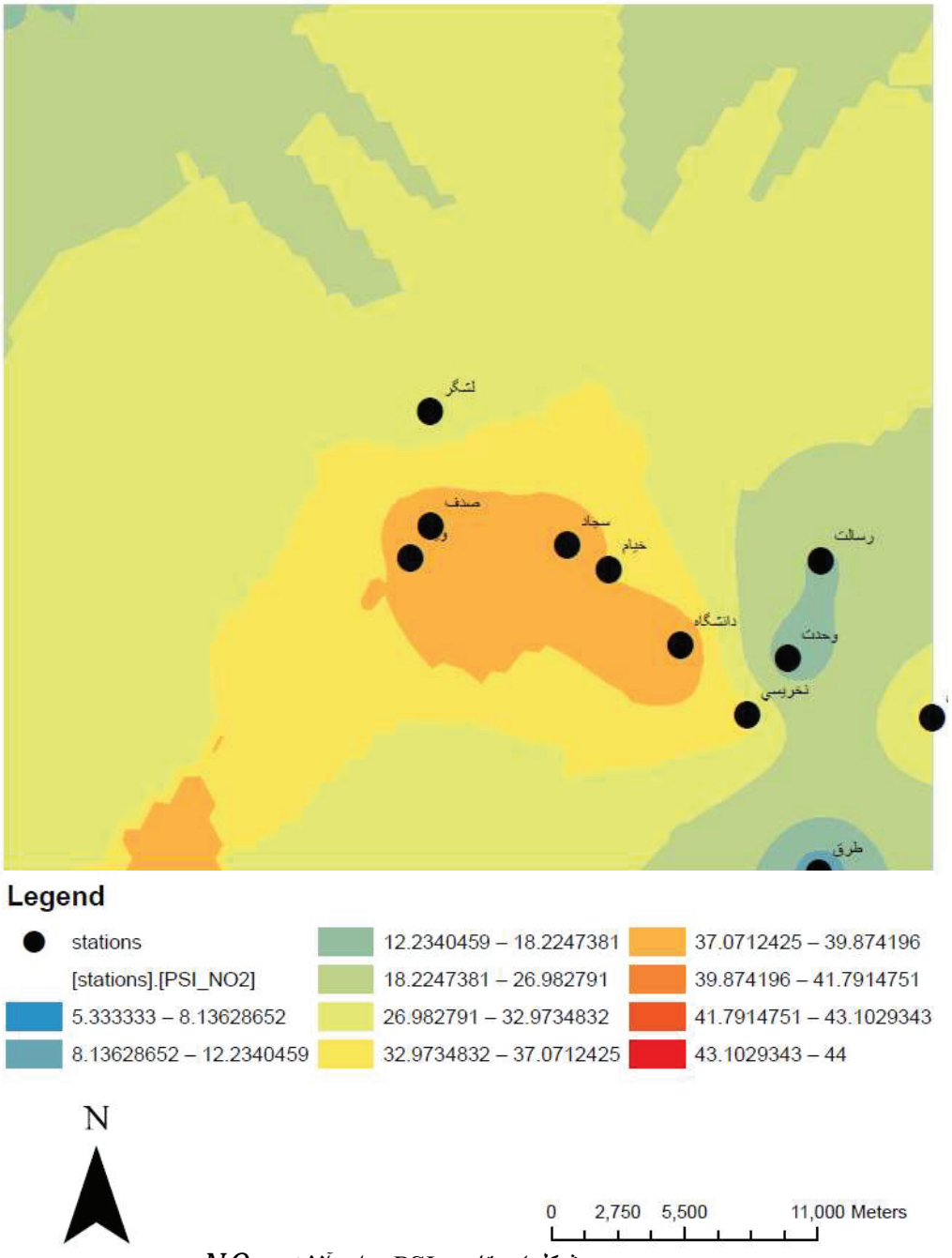


شکل ۳: *مقادیر اندازه گیری شده غلظت آلاینده NO_2 بر حسب ppb*

شکل بالا با استفاده از ایستگاه‌های اندازه گیری آلودگی هوا در شهر مشهد و درون یابی مقادیر اندازه گیری نشده با استفاده از درون یاب های Kriging رسم شده است. مشاهده می‌شود که در ایستگاه دانشگاه و سپس صدف و سجاد بیشترین مقادیر اندازه گیری شده‌اند. می‌توان این مقادیر متفاوت در سطح شهر را ناشی از متفاوت بودن میزان فعّالیت‌های انسانی، به ویژه استفاده از وسایل حمل و نقل که عامل اصلی تولید NO_2 می‌باشد (اشتعال سوخت در دمای بالا)، دانست.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم – شماره ۷۶ – بهار ۱۳۹۷

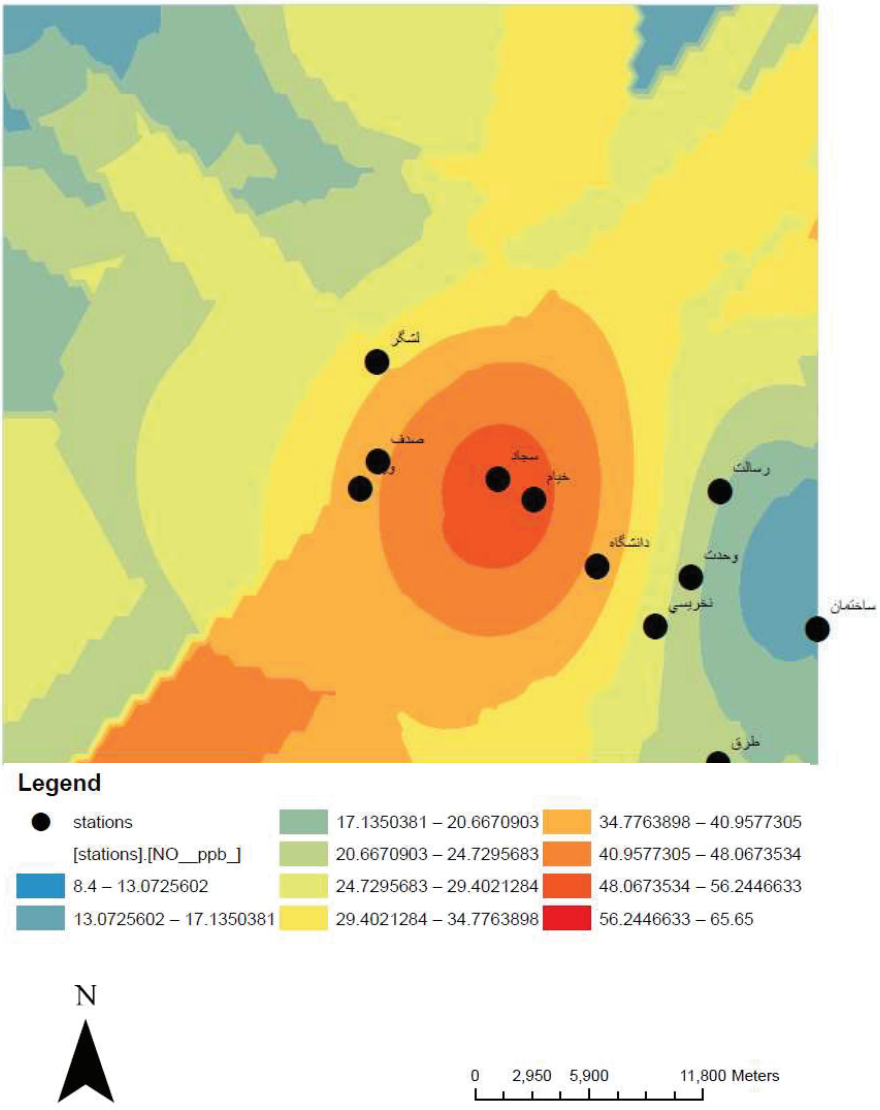
البته باید در نظر داشت که تولیدات گاز NO_2 توسط انسان، بسیار کمتر از مقدار NO_2 تولید شده در طبیعت است(حدود یک دهم) و همچنین این گاز از منابع اصلی تغذیه گیاهان محسوب می‌شود.



شکل٤: *مقادیر PSI برای آلاینده* NO_2

همانگونه که مشاهده می‌کنید تمرکز آلودگی ناشی از اکسیدهای ازت (NO_3, NO_2, NO) در ایستگاه-های خیام و سجاد بیشترین مقدار را دارد و در مناطق دیگر از مقادیر آن کاسته می‌شود. این گاز در

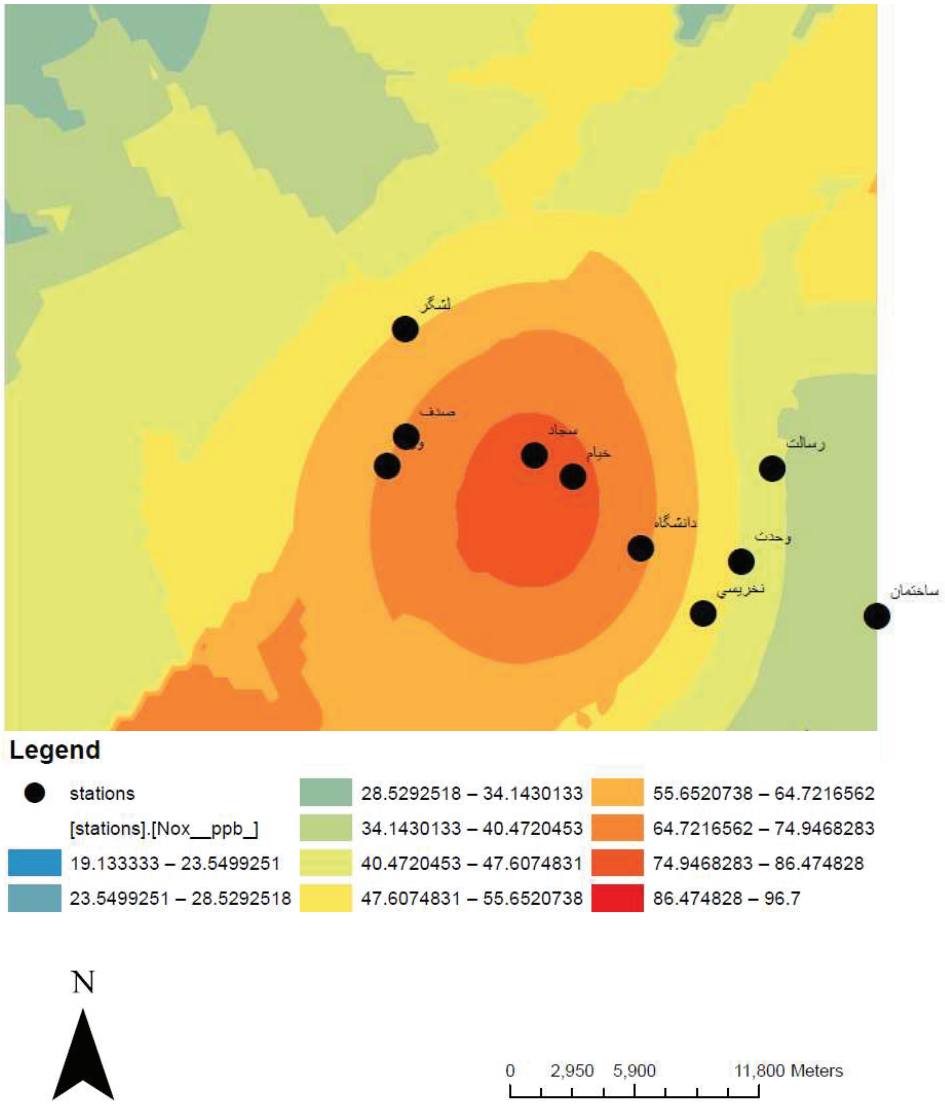
تولید آلاینده‌های ثانوی به ویژه اوزون نقش بسزایی دارد. البته این نکته را باید در نظر داشت که بعنوان مثال، برای آلاینده دی اکسید نیتروژن، آلوده ترین ایستگاه اندازه گیری شده که ایستگاه دانشگاه باشد، بر اساس شاخص AQI در رده بندی خوب قرار می‌گیرد. از آن‌جا که این مقادیر اندازه گیری شده مربوط به سال ۹۰ می‌باشند، در این نوشتار به منظور مقایسه از این اندازه گیری ها استفاده می‌شود.



شکل۵: *مقادیر اندازه گیری شده غلظت آلاینده NO برحسب ppb*

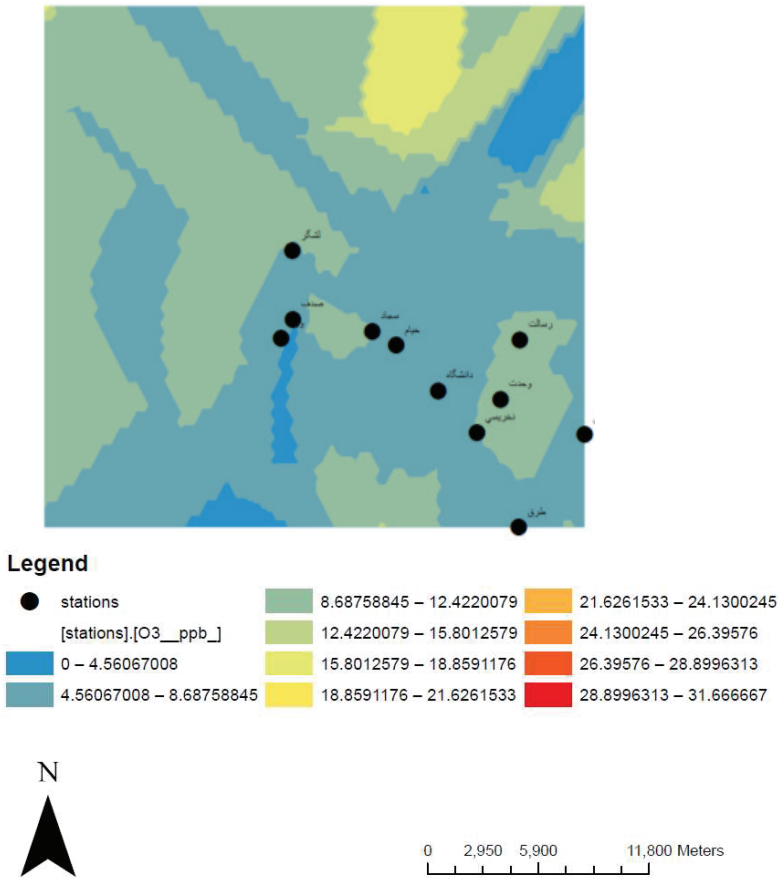
NO گازی است بی بو و بی رنگ. مقدار NO آزاد شده در اتمسفر بسیار بیشتر از NO_2 آزاد شده است. این گاز با آب باران محلول تشکیل می‌دهد و همچنین در مجاورت اکسیژن بلافاصله به NO_2 تبدیل می‌شود، بنابراین مقدار آن از NO_2 کمتر است.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم – شماره ۷۶ – بهار ۱۳۹۷



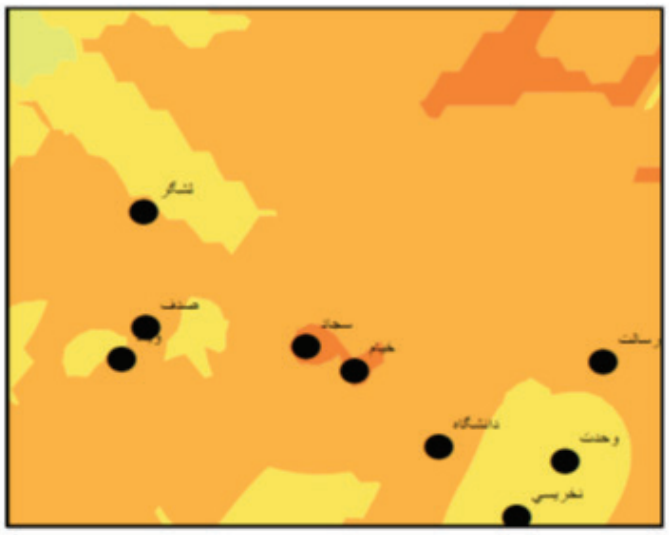
شکل ۶: *مقدار مجموع اکسیدهای نیتروژن اندازه گیری شده بر حسب ppb*

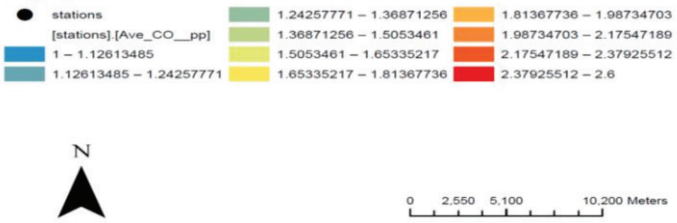
با مقایسه این شکل با شکل‌های مربوط به آلاینده‌های NO و NO_2 می‌توان فهمید که مقدار قابل توجهی از آلاینده‌های اکسید نیتروژن مربوط به این دو آلاینده است و بقیه اکسیدها سهم کمی در غلظت آلاینده‌ها دارند.



شکل ۷: *مقادیر اندازه گیری شده غلظت آلاینده O_3 برحسب ppb*

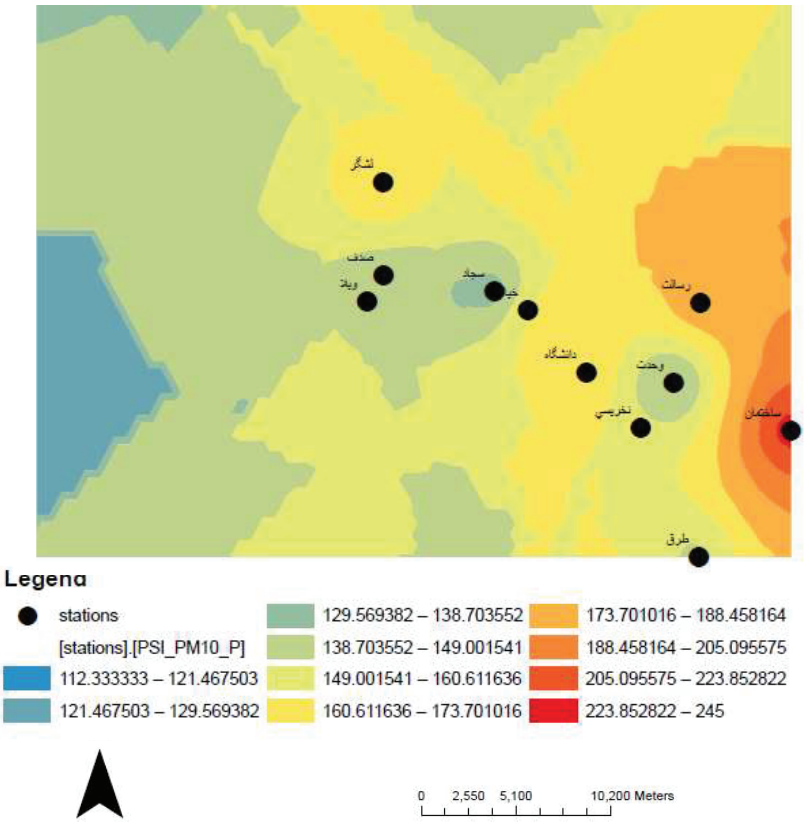
اوزون یا همان O_3 گازی است که در اتمسفر زمین به شکل یک لایه محافظ، ما را در برابر تابش فرابنفش خورشید محافظت می‌کند. ولی اگر همین گاز در سطح زمین تولید شود می‌تواند کشنده باشد. اصلی ترین منبع تولید اوزون هستند، این وسایل با تولید هیدروکربنهای مختلف و اکسیدهای نیتروژن مقدار زیادی اوزون وارد هوا می‌کنند. از دیگر آلاینده‌ها می‌توان به نیروگاه‌ها، کارخانه‌های شیمیایی و پالایشگاه‌های نفت نیز اشاره کرد.





شکل۸: *مقادیر اندازه گیری شده غلظت آلاینده CO برحسب ppb*

گاز کربن مونوکسید گازی بی‌بو، بی‌رنگ و بی‌مزه است. این گاز در فضای آزاد بر روی انسان حیوانات و گیاهان اثری ندارد. ولی در فضای محبوس و غلظت‌های بالا به علت تمایل زیاد این گاز به جذب هموگلوبین، می‌تواند بروی تنفس انسان تأثیر بگذارد. از لحاظ شیمیایی مونوکسید کربن گازی خنثی است و به تولید هیچ آلاینده دیگری نیز کمک نمی‌کند.



شکل ۱۰: *مقادیر محاسبه شده PSI برای آلاینده بصورت ذرات معلق با اندازه قطر کوچکتر از ۱۰ میکرون*

طبق مطالعات انجام شده روی شهر تهران مقدار PM10 در محل تقاطع‌ها بیش از حد استاندارد است. همین مطلب را می‌توان در شهر مشهد که شهر توریستی-زیارتی و همچنین پر ترافیک است مشاهده نمود. همچنین این آلاینده از هوای آزاد به داخل ساختمان‌ها نفوذ کرده و سلامتی ساکنین را به خطر می‌اندازد. بررسی‌های انجام شده در این نوشتار نشان می‌دهند که این آلاینده بزرگترین تهدید برای سلامت هوای شهر مشهد می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در حالتی که حجم زیادی از داده های وابسته به موقعیت موجود است، نرم افزار جی آی اس ابزاری مناسب برای مدیریت کیفیت هوا می باشد.

داده‌های ذکر شده در این نوشتار حاکی از این مطلب است که آلاینده‌های به شکل ذرات معلق در شهر مشهد نقش بسیار تعیین کننده‌ای دارند. این آلاینده‌ها همبستگی زیادی با وسایل نقلیه موتوری دارند. این موضوع نیاز هر چه بیشتر به طرح‌های پژوهشی و اصلاحات مناسب در زمینه مدیریت ترافیک را آشکار می‌کند.

با آنالیز موقعیت و شناسایی مکان هایی با شدت آلودگی بالا در ایستگاه ها و مناطق شهری قادر خواهیم بود پیشنهاداتی را در سطوح مختلف در خصوص مدیریت سامانه حمل و نقل عمومی، همچنین تعیین محل ایستگاه های اتوبوس، اصلاح طرح هندسی و روان سازی ترافیک ارائه دهیم. لازمه ایجاد هوای پاک با کیفیت مطلوب ارائه داده های دقیق و کامل و ایجاد ایستگاه‌های سنجش بیشتر در اطراف مراکز ترافیک و پرتردد می باشد.

۵- منابع

۱- منیژه قهرودی تالی، ارزیابی درون یابی به روش کریجینگ، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۳، زمستان ۱۳۸۱، صص ۹۵-۱۰۸.

۲- منیژه قهرودی تالی، ام السلمه بابایی فینی، هوشمند عطایی، درآمدی بر سیستم های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه پیام نور،۱۸ فروردین ۱۳۹٤.

۳- یازدهمین آمارنامه ی حمل و نقل شهر مشهد، معاونت مطالعات و برنامه ریزی، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد، ۱۳۹٤.

٤- Aman Tyagi and Preetvanti Singh, Applying Kriging Approach on Pollution Data Using GIS Software, International Journal of Environmental Engineering and Management. ISSN 2231-1319, Volume 4, Number 3 (2013), pp. 185-190.

٥- Global Carbon Atlas, report (2014).

٦- Aman Tyagi and Preetvanti Singh, Applying Kriging Approach on Pollution Data Using GIS Software, International Journal of Environmental Engineering and Management. ISSN 2231-1319, Volume 4, Number 3 (2013), pp. 185-190.

٧- GUIDELINE FOR REPORTING OF DAILY AIR QUALITY – POLLUTANT STANDARDS INDEX (PSI), U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, North Carolina 27711 December 1998.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال نوزدهم – شماره ۷۶ – بهار ۱۳۹۷

Geostatistical analysis of air pollutant, Case study:Mashhad City

Afshin Famili, Alireza Jalali Yazdi, Maryam Hasanpour, Rouzbeh Shad
1-Phd student of transportation, Clemson University, Clemson, SC, USA
2-Master student of construction management, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Master student of transportation, Isfahan University, Isfahan, Iran
4-Associate professor of civil engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract
Today, air pollution has become one of the serious problems in developing countries. In this paper, the eventful areas for Mashhad city has been represented and the polluted area has been predicted with interpolation technique. For this purpose, 6 air pollutant data (CO, NO2,PM10, PM2.5) in 11 Mashhad air-evaluating stations in for one year according to Iranian calendar has been used. Geographic information system and two ordinary and probability Kriging approach has been used for representing the hotspots areas in study area. The Kriging method has been used as a tool for interpolation. In this research, at first with using semivirogram map, the spatial dependence of air pollutant in air station has been evaluated. Then, spatial model has been created with average daily air pollutant concentration and the quantity of air pollution in various areas has been represented in study area.