

مدل سازی روابط بین تغییرات مکانی- زمانی حجم ترافیک و غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ بر پایه مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) و معکوس فاصله وزنی (IDW)، مطالعه موردی: کلانشهر تهران

سعید متصدی زرنندی^۱، رسول نصیری^۲، محمد اسماعیل مطلق^۳

- ۱- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران
 - ۲- دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران- نویسنده رابط: nasirirasul@gmail.com
 - ۳- استاد، گروه اطفال، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
- تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱

خلاصه

زمینه و هدف: غلظت بالای $PM_{2.5}$ مسبب اکثر روزهای ناسالم هوای تهران طی سال های اخیر بوده است؛ به همین منظور مطالعه حاضر با هدف تحلیل فضایی- زمانی حجم ترافیک و ارتباط آن با غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ در کلانشهر تهران طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد.

روش کار: در این مطالعه از مدل درون یابی معکوس فاصله وزنی (IDW) Inverse Distance Weighting برای پیش بینی و پهنه بندی غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ و حجم ترافیک استفاده شد. همچنین از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی Geographically Weighted Regression (GWR) برای میزان ارتباط غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و حجم ترافیک در نواحی مختلف کلانشهر تهران طی چهار سال متوالی (۱۳۹۷-۱۳۹۴) استفاده شده است.

نتایج: نتایج حاصل از پهنه بندی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و حجم ترافیک نشان داد که نواحی جنوب و جنوب غرب بیشترین غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ (میانگین سالانه بیش از $40 \mu g/m^3$) و نواحی شرقی و شمالی بیشترین حجم ترافیک را داشته اند؛ همچنین بیشترین مقادیر R^2 محلی از مدل GWR برای نواحی شرقی (بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۰) به دست آمد.

نتیجه گیری: در بیشتر مناطق تهران نمی توان ارتباط قوی بین غلظت بالای آلاینده $PM_{2.5}$ و ترافیک یافت. با این وجود، مطالعه حاضر ارتباط ترافیک و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را رد نمی کند بلکه علت اصلی غلظت بالای $PM_{2.5}$ را منابع دیگری می داند که در گام اول، باید شناسایی شوند؛ در گام بعدی برای رسیدن به هوایی پاک تر، به استراتژی های کنترل و کاهش حجم ترافیک پرداخته شود.

واژگان کلیدی: آلاینده $PM_{2.5}$ ، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل سازی فضایی- زمانی، ترافیک، درون یابی معکوس فاصله وزنی، رگرسیون وزنی جغرافیایی، تهران، ایران

مقدمه

آلودگی هوا یکی از معضلات اصلی کلانشهر تهران در سال های اخیر است که به دلایل مختلفی از جمله مهاجرت روزانه چندین میلیون نفر از شهرهای اطراف به تهران رخ می دهد (۱)؛ جمعیت ساکن تهران بیش از هشت میلیون نفر

گزارش داد که بیش از ۱۹٪ از جمعیت ایالات متحده (ایالات متحده) در فاصله ۱۰۰ متری از یک جاده با حجم زیاد زندگی می کنند (۱۷). بر اساس نظرسنجی ملی خانوار در سال ۲۰۱۳، ۱۶/۸۸ میلیون خانوار در سال ۲۰۱۱ در نصف بلوک یک مرکز اصلی حمل و نقل زندگی می کردند و بیش از ۴۰ میلیون نفر در معرض سطح $PM_{2.5}$ قرار داشتند (۱۸). بسیاری از مردم در سراسر جهان نیز در مجاورت جاده های اصلی زندگی می کنند، بنابراین جمعیت در سراسر جهان در معرض سطح بالایی از آلاینده های هوا مربوط به ترافیک از جمله $PM_{2.5}$ به طور بالقوه بسیار بیشتر است. مطالعاتی در ارتباط با آلودگی هوا و ترافیک در تهران انجام شده است که مبتنی بر موجودی انتشار بوده اند. مدل های مبتنی بر انتشار آلاینده ها ضعف هایی دارند که می توان به ضعف در ارزیابی سهم انتشار و بخش ترافیک اشاره کرد؛ علاوه بر این، مدل های سیاهه انتشار از نظر زمان ثابت می باشند که همین امر تایید اثر ترافیک بر غلظت آلاینده ها را توسط این مدل ها دشوار می کند (۱۹، ۲۰). در مطالعه حاضر از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) برای ارتباط بین حجم ترافیک برحسب سرعت و داده های غلظت $PM_{2.5}$ سنجش شده به وسیله ایستگاه های پایش کیفیت هوا استفاده شده است؛ از رگرسیون وزنی جغرافیایی در حوزه های بسیاری استفاده شده است؛ در مطالعه ای از این مدل در ارتباط با تعداد مبتلایان به ویروس کرونا (COVID-19) و متغیرهای مختلف همچون بیماری های زمینه ای و محل زندگی آن ها در سطح کلانشهر تهران استفاده کرده اند (۲۱). همچنین مطالعات مختلفی از رگرسیون وزنی جغرافیایی برای ارتباط بین ترافیک و متغیرهای مختلف استفاده کرده اند (۲۲-۲۵). در یکی از این مطالعات که در سال ۲۰۱۸ با عنوان الگوهای توسعه شهری و قرار گرفتن در معرض محیط های خطرناک و ترافیکی در ایالات متحده انجام شد؛ آن ها روابط بین مواجهه با ترافیک، نژاد و وضعیت اقتصادی اجتماعی را با استفاده از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در مقیاس های منطقه ای و محلی مورد بررسی قرار دادند. نژاد/ قومیت، درآمد و تحصیلات دانشگاهی متغیرهای مورد مطالعه آنها بودند. نتایج آن ها نشان داد که اقلیت و وضعیت اقتصادی-اجتماعی پایین تر به طور سیستماتیک با بیشتر قرار گرفتن در معرض ترافیک مرتبط هستند. علاوه بر

می باشد که با وجود مهاجرت های روزانه گاهها تا ۱۵ میلیون نفر می رسد و این جمعیت در مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع پراکنده شده اند. همین امر سبب افزایش اتوموبیل ها در سطح معابر شهری در کلانشهر تهران شده است. شهرداری تهران در سال ۲۰۱۷ گزارش داد که سالانه شاهد ساخت بیش از ۳۰ کیلومتر بزرگراه بوده است. به دنبال افزایش جمعیت، افزایش اتوموبیل ها و گسترش معابر در تهران، انتشار آلاینده ها از منابع متحرک متناسب با آن افزایش یافته است. در سال های اخیر آلاینده $PM_{2.5}$ به عنوان آلاینده ی اصلی کلانشهر تهران مطرح شده است چرا که اکثر روزهای ناسالم هوا به علت افزایش غلظت این آلاینده در تهران رخ داده است (۲). عوامل متعددی شامل نوع سوخت های مصرفی در صنایع و بخش حمل و نقل، حجم ترافیک و به دنبال آن مصرف سوخت بیشتر را می توان در تولید آلاینده $PM_{2.5}$ نام برد. نوع منابع، ترکیب و مقادیر اجزای آلاینده $PM_{2.5}$ را تعیین و تحت تاثیر قرار می دهد که همین امر نشان از متفاوت بودن ترکیب این آلاینده در شرایط مکانی و زمانی مختلف می دهد که متناسب با این تغییرات، اثرات متنوع و گسترده ای بر سلامت انسان و محیط زیست خواهد داشت. مواجهه با غلظت های مختلف آلاینده $PM_{2.5}$ موجب اثرات نامطلوب متنوعی بر سلامتی می شود (۳-۵). قرار گرفتن در معرض $PM_{2.5}$ با پیامدهای ناگوار تولد از جمله زایمان زودرس و وزن کم هنگام تولد همراه بوده است (۶-۹). مطالعات مختلفی به بررسی اثرات بر سلامت مواجهه با $PM_{2.5}$ پرداخته اند؛ تعدادی از این مطالعات مواجهه با $PM_{2.5}$ را مرتبط با افزایش فشار خون و فشار خون بالا و همچنین افزایش نرخ سکته مغزی نشان داده اند (۱۰-۱۳). در مطالعه ای دیگر نشان داده شده است که مواجهه با $PM_{2.5}$ ارتباط قوی با بیماری های شایع دارد (۱۴). ارتباط معنی داری نیز بین افزایش مواجهه با $PM_{2.5}$ ناشی از ترافیک و بیماری هایی مانند ناهنجاری های قلبی نشان داده شده است (۱۵). افزایش $PM_{2.5}$ مربوط به ترافیک در محیط نزدیک جاده به طور بالقوه می تواند مجموعه ای از اثرات نامطلوب بهداشتی را برای تعداد زیادی از افرادی که در مجاورت جاده ها زندگی می کنند، ایجاد کند (۱۶). Rowangould.

دامنه جنوبی البرز قرار دارد. گستره ی استقرار تهران از سمت جنوب و جنوب غربی به دشتهای هموار ورامین و شهریار منتهی می شود و در سمت شرق و شمال توسط کوهستان محصور گردیده است.

داده ها: داده های غلظت $PM_{2.5}$: در حال حاضر کلانشهر تهران دارای ۳۸ ایستگاه پایش آلودگی هوا به صورت فعال می باشد که ۲۲ ایستگاه تحت نظر شرکت کنترل کیفیت هوا و ۱۶ ایستگاه متعلق به اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران می باشد. در این تحقیق از داده های آلودگی هوای ۳۲ ایستگاه پایش آلودگی هوا در شهر تهران استفاده شده است.

این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی مقطعی بوده و در آن به تحلیل فضایی آلاینده $PM_{2.5}$ اندازه گیری شده توسط ایستگاههای سنجش آلودگی هوا و ارتباط آن با حجم ترافیک در کلانشهر تهران طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ پرداخته شده است. داده های مورد استفاده در این پژوهش، غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ است؛ که توسط ایستگاه-های پایش کیفیت هوای شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و همچنین اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران به طور ساعتی اندازه گیری و ثبت شده اند. از آنجا که داده های گرفته شده به صورت ساعتی گزارش شده بودند، جهت تحلیل فضای-زمانی $PM_{2.5}$ به داده های سالانه تبدیل شدند. بدین منظور، ایستگاه هایی را که حداقل ۵۰٪ اوقات غلظت $PM_{2.5}$ را ثبت کرده، استفاده گردید و ایستگاه های پایین تر از این مقدار، به علت ایجاد خطا در میانگین سالانه حذف شدند؛ در نهایت از اطلاعات ۳۲ ایستگاه برای انجام این مطالعه استفاده گردید.

داده های ترافیک: داده های ترافیک از شرکت کنترل ترافیک اخذ گردید؛ این داده ها شامل وضعیت ترافیکی (مسدود، بسیار سنگین، سنگین، سنگین در حال حرکت، اختلال در حرکت و روان)، نوع معبر (بزرگراه، خیابان اصلی، خیابان فرعی، کوچه) و کد یکتای مکان بود. با توجه به اینکه برای هر معبر و یک کد یکتای مکان در هر ماه و سال تعداد زیادی حالت مختلف ترافیکی وجود داشت، برای رسیدن به یک حالت ترافیکی میانگین در سال برای هر نوع معبر، با استفاده از قوانین راهنمایی و رانندگی، سرعت مربوطه به آن معبر (بزرگراه: ۸۰ کیلومتر بر ساعت، خیابان اصلی: ۶۰ کیلومتر بر ساعت، خیابان فرعی: ۵۰

این، آن ها نشان دادند که رویکرد مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی این امکان را دارد که الگوهای اختلاف را در یک سطح محلی تر کشف کند (۲۳). در مطالعه ای دیگر به منظور تعیین کمی اثر غیرایستا کاربری زمین روی حجم ترافیک، از مدل GWR استفاده کرده بود. یافته های آن ها نشان داد که مدل GWR در تحلیل تأثیر محیط ساخته شده بر حجم ترافیک از مدل OLS برتر و کاراتر است. علاوه بر این، این مدل ناهمگنی فضایی در توزیع کاربری زمین و توزیع ازدحام ترافیک را به خوبی به نمایش گذاشت. همچنین نتایج آن ها در دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد که نقاط پذیرایی (Catering points) در مناطق حومه شهر تأثیر کمی بر حجم ترافیک دارند، در حالی که در منطقه پر جنب و جوش، تأثیر تسکینی یا تقریباً کاهشی بر حجم ترافیک دارند. مطابق نتایج آن ها هرچه توزیع شرکت ها و مناطق مسکونی متمرکزتر باشد، حجم ترافیک بیشتر می باشد و این اثرات در حومه شهرها چشمگیرتر است (۲۵). به همین منظور، باتوجه به حجم بالای ترافیک در معابر کلانشهر تهران و مقادیر بالای غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و همچنین اثرات نامطلوب ناشی از آنها بر سلامت، لازم است که مطالعات گسترده ای روی ترافیک و ارتباط آن ها با غلظت $PM_{2.5}$ در کلانشهر تهران انجام شود. این مطالعات می تواند منجر به انتخاب استراتژی های در خور جهت کاهش و کنترل سطح ترافیک و آلاینده ی $PM_{2.5}$ شود. بنابراین مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان ارتباط غلظت های آلاینده ی $PM_{2.5}$ با حجم ترافیک در سطح کلانشهر تهران با استفاده از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی و مدل درون یابی معکوس فاصله وزنی انجام شده است.

روش کار

معرفی منطقه مورد مطالعه: از نظر موقعیت، شهر تهران با وسعتی در حدود ۷۳۳ کیلومتر مربع در منطقه مابین کوه و کویر در دامنه جنوبی البرز مرکزی گسترده شده است و در ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهر در گستره ای بین کوه و کویر در

البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۲۶):

$$\lambda_i = (D_i - \alpha) / \sum_{i=1}^n D_i - \alpha$$

جایی که λ_i وزن ایستگاه i است، D_i فاصله ایستگاه تا نقطه ناشناخته و α قدرت توزین است.

مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR): با استفاده از این مدل، می‌توان الگوها را در مجموعه‌ای از داده‌ها به راحتی تشخیص داد (۲۸-۲۷). رگرسیون وزنی جغرافیایی مرتبط با نرم افزار ARC GIS بوده که می‌تواند برای به دست آوردن اطلاعات توصیفی به منظور استخراج توابع وزن فضایی با نزدیکترین مکان و بیشترین شباهت‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۲۹-۲۸). مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی، ابزاری برای ساخت مدل است که اگر رابطه بین متغیرها ویژگی‌های فضایی و غیرایستا را نشان دهد، می‌تواند نتایج به نسبت دقیق تری را ارائه می‌دهد (۳۰).

از آنجایی که مدل GWR رابطه بین متغیرها را با ضریب متفاوت برای هر واحد جغرافیایی محاسبه می‌کند، می‌توان در جایی که روابط ضعیف و قوی، قابل توجه و ناچیز است، به صورت نقشه توصیف کرد. این مدل از رگرسیون جهانی کاراتر بوده و توصیف اطلاعات و روابط بین متغیرها را به صورت دقیق تری برای هر واحد جغرافیایی با یک ضریب متفاوت بیان می‌کند. معادله (۱) ماتریس وزنی قطری را نشان می‌دهد.

$$W_i = \begin{bmatrix} W_{i1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & W_{in} \end{bmatrix} \quad \text{معادله (۱)}$$

مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی برای هر i ماتریس وزنی تشکیل می‌دهد. این وزن‌ها با توجه به موقعیت هر i متفاوت است. بدین ترتیب موقعیت‌های نزدیکتر وزن بیشتری می‌گیرند. توزیع ناهمگن رابطه بین دو متغیر، که می‌تواند مثبت یا منفی و قوی یا ضعیف در هر موقعیت مکانی باشد، می‌تواند با استفاده از تکنیک GWR در فضا منعکس شود (۳۳-۲۷).

کیلومتر بر ساعت، کوچه: ۳۰ کیلومتر بر ساعت) را در ضرایب مربوط به حالت‌های مختلف ترافیکی (مسدود: ۰، بسیار سنگین: ۰/۰۸، سنگین: ۰/۲، سنگین در حال حرکت: ۰/۵، اختلال در حرکت: ۰/۸ و روان: ۱) ضرب گردید. در جدول ۱ این داده‌ها نمایش داده شده است.

با توجه به اینکه حالات مختلف برای یک کد و یک معبر بسیار زیاد بود و امکان میانگین‌گیری از چندین میلیون حالت مختلف امکان‌پذیر نبود؛ ابتدا با استفاده از عملگرهای مختلف مثل فیلتر کردن و جایگزین کردن در نرم افزار اکسل سرعت مربوط به آن دسته ترافیکی و معبر مربوطه جایگزین حالت‌های کیفی دسته بندی شد؛ در این حالت داده‌های کیفی به داده‌های کمی تبدیل گردید. در این مرحله با استفاده از برنامه نویسی در متلب، یک کد جهت انجام میانگین‌گیری از کدهای مختلف مکانی با حالت‌های مختلف ترافیکی (سرعت معادل جایگزین حالت کیفی دسته مربوطه) نوشته شد.

در این حالت قادر شده تا برای هر کد مکانی یک سرعت داشته باشیم؛ در این مرحله داده‌ها به نرم افزار ARC GIS 10.4.1 برای انجام سایر آنالیزها اضافه شدند.

پس از آماده سازی داده‌ها، برای تحلیل فضایی-زمانی آلاینده $PM_{2.5}$ و ارتباط آن با حجم ترافیک از نرم افزار ARC GIS 10.4.1 منتشر شده توسط شرکت ESRI و برای سایر تحلیل‌ها روی داده‌ها از نرم افزار EXCEL 2016 استفاده شد. از مدل درون یابی وزن دهی معکوس فاصله IDW برای تحلیل پراکنش فضایی-زمانی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ ، و همچنین در تبدیل کردن داده‌های خطی ترافیک به داده‌های سطحی در کلانشهر تهران استفاده گردید. در گام بعدی، برای ارتباط بین حجم ترافیک و میزان غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ از مدل GWR استفاده گردید.

مدل IDW: مدل IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزنها توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگ تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک تر وزنها را به طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند.

تقریباً حجم ترافیک از سنگین تا بسیار سنگین و تا محدوده ی مسدود شدن معابر بوده است؛ این در حالی است که نواحی شمالی و شرقی به نسبت غلظت کمتری از آلاینده ی $PM_{2.5}$ را طی این سالها تجربه کرده اند؛ به همین منظور کافی است به شکل ۴ مراجعه کرد؛ شکل ۴ نشان می دهد که ارتباط بین غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و حجم ترافیک در اکثر نواحی تهران پایین می باشد؛ فقط در نواحی شرقی این ارتباط زیاد بوده و R^2 محلی به دست آمده از مدل GWR برای نواحی شرقی از ۰/۳۷ تا ۰/۷۰ می باشد؛ البته مقادیر R^2 محلی برای نواحی مرکزی متمایل به نواحی شمالی نیز تا حدود ۰/۳۷ بوده است که می توان گفت برای حجم ترافیک به عنوان یک فاکتور از تمامی فاکتورهای دخیل در غلظت های بالای $PM_{2.5}$ تا حدودی بالاست.

شکل ۵ باقیمانده استاندارد و ضریب Intercept را برای تمامی نواحی نشان می دهد؛ رنج مقادیر باقیمانده استاندارد از ۲/۵- تا ۲/۵+ برای سازگاری مدل GWR در نواحی مختلف استفاده شد. نتایج باقیمانده استاندارد نشان داد که مدل GWR برای تمامی نواحی مناسب می باشد و فقط ۱ تا ۲ ناحیه با مدل GWR سازگار نیست. همچنین پارامتر ضریب Intercept نقش سایر عوامل با غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را در سطح نواحی نشان می دهد؛ همانطور که در شکل نشان داده شده است برای نواحی شرقی که بیشترین R^2 محلی بین غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و حجم ترافیک وجود داشت (شکل ۴) مقدار این پارامتر بین ۳۶ تا ۴۲٪ بوده که در واقع بیان می کند نقش سایر عوامل به جز ترافیک در این نواحی ۳۶ تا ۴۲٪ می باشد. به طور کلی از نتایج شکل های ۳، ۴ و ۵ می توان چنین نتیجه گرفت که فاکتور ترافیک در نواحی شرقی و شمالی نقش مهمی در غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ دارد ولی در سایر نواحی فاکتورهای دیگری علت غلظت بالای این آلاینده می باشد.

نتایج مطالعه حاضر در ارتباط با پراکنش آلاینده $PM_{2.5}$ مشابه تعدادی از مطالعاتی است که به این موضوع در سطح کلانشهر تهران پرداخته اند؛ این مطالعات مثل مطالعه حاضر، نواحی جنوبی، غربی و تا حدودی مرکزی را نسبت به نواحی شمالی و شرقی آلوده تر دانسته و غلظت بالاتری از $PM_{2.5}$ را طی سال های مورد مطالعه برای مناطق جنوبی، غربی و تا حدودی مرکزی گزارش کرده اند؛ (۱۵-۱۶، ۴). اما مطالعه جامعی که به ارتباط حجم ترافیک و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در تهران پرداخته شده باشد تقریباً وجود نداشته است و اغلب آنها

نتایج

در جدول ۱ آمار توصیفی غلظت $PM_{2.5}$ به صورت سالانه طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ آورده شده است. همانطور که در جدول نشان داده شده است بیشترین غلظت $PM_{2.5}$ در شهر تهران مربوط به سال ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ با غلظت $\mu g/m^3$ ۵۴ می باشد و بعد از آن به ترتیب سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ قرار دارند. میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در طی این ها سال ها تغییرات چندانی نداشته است و فقط طی سال ۱۳۹۷ مقدار بیشتری کاهش داشته است.

نتایج پهنه بندی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ نشان داد که نواحی جنوب، جنوب غرب و غرب طی سال های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ بیشترین غلظت این آلاینده را نسبت به سایر نواحی تجربه کرده اند؛ همچنین می توان گفت که هر چه از نواحی جنوبی به سمت مرکز و شمال پیش می رویم از غلظت این آلاینده کاسته می شود و همینطور هر چه از سمت غرب به سمت شرق می رویم از غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ کاسته می شود. در این شکل نشان داده است که بیشتر حجم ترافیک در طی این سال ها در نواحی شمالی و شرقی بوده است که غلظت کمتری از آلاینده $PM_{2.5}$ را داشته اند. هرچند نواحی مرکزی نیز با حجم بالای ترافیک مواجهه بوده اند ولی نسبت به مناطق شرقی و شمالی این حجم ترافیک کمتر بوده است.

لازم به ذکر است که مقادیر Root Mean Square Error (RMSE) برای مدل IDW طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ در جدول ۱ آورده شده است. همچنین همانطور که در بخش داده ها و روش گفته شد از داده های ۳۲ ایستگاه پایش کیفیت هوا برای پهنه بندی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ با استفاده از مدل IDW استفاده گردید.

بحث

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است؛ اکثر نواحی کلانشهر تهران طی سال های ۱۳۹۷ - ۱۳۹۴ ترافیک را تجربه کرده اند؛ با این تفاوت که نواحی شمالی و شرقی بیشترین حجم ترافیک را داشته اند؛ اگر به جدول ۱ مراجعه کنید، متوجه خواهید شد که نواحی شمالی و شرقی در دسته های D تا F سطح ترافیک قرار می گیرند یعنی در این نواحی

بالای آلاینده $PM_{2.5}$ در تهران می باشد. احداث کارخانجات شن و ماسه در جهت باد که مستقیماً انتشارات آنها را وارد هوای پایتخت می کند یک مورد از این سو مدیریت می باشد؛ استفاده نادرست از زمین و مغایر با کاربری مناسب آن، خشک شدن تالاب‌های جنوب تهران، زیاده سوزی (به خصوص نواحی جنوبی)، وجود خودروهای فرسوده، کیفیت پایین خودروهای داخلی و عدم انطباق آنها با استانداردهای بین‌المللی و در نهایت حجم ترافیک و به دنبال آن مصرف سوخت بیشتر که خود به دنبال افزایش نرخ مهاجرت دائم و موقت ناشی از تمرکز گرایی اقتصادی در پایتخت می باشد را می توان از علل اصلی غلظت بالای آلاینده $PM_{2.5}$ دانست؛ بنابراین برای مدیریت کاهش غلظت این آلاینده به خصوص در نواحی جنوبی، مرکزی و غربی نیاز به هماهنگی و مشارکت بخش‌های مختلف دولتی و خصوصی و سرمایه گذاری کلان در این بخش می باشد؛ تا به این طریق کیفیت بهداشتی هوای تهران از نظر این آلاینده افزایش یابد.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داده است که مناطق جنوبی و جنوب غربی از مناطق آلوده از نظر آلاینده $PM_{2.5}$ بوده است و این در حالی است که مناطق شمالی و شرقی و بعد از آن مناطق مرکزی حجم بالایی از ترافیک را تجربه کرده اند. آنچه از این مطالعه بر می آید علت اصلی آلودگی هوای ناشی از $PM_{2.5}$ در تهران ترافیک نمی باشد؛ البته این بدین منظور نیست که ترافیک سهمی در تولید $PM_{2.5}$ ندارد بلکه بخشی از تولید این آلاینده مرتبط با حجم ترافیک می باشد و چون آلودگی هوای ناشی از $PM_{2.5}$ در تهران بسیار بالا می باشد در گام اول باید به شناسایی و کنترل منابع اصلی این آلاینده مثل میزان مصرف انواع سوخت (بنزین، گازوئیل، گاز، نفت سفید، نفت کوره و غیره)، کاربری اراضی در سطح کلانشهر و اراضی اطراف تهران، اکسیداسیون فوتوشیمیایی اتمسفر، تراکم جمعیت، حجم ترافیک و همچنین وضعیت آب و هوایی پرداخته شود؛ سپس میزان سهم هر یک از این عوامل بر تولید این آلاینده مشخص گردد؛ در گام بعدی با توجه به سهم هر یک از این عوامل در تولید آلاینده $PM_{2.5}$ ، به یک استراتژی در خور، برای رسیدن به یک هوای با کیفیت مطلوب رسید. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه به نظر می رسد که باید در گام نهایی برای رسیدن به یک هوای

در سطح مناطق محدودی انجام شده که اغلب مبتنی بر موجودی انتشار بوده اند (۲۰-۱۹)، آنچه که از این مطالعات و مطالعه حاضر نتیجه گرفته شده این است که عوامل متعددی از جمله نوع وسایل نقلیه، نوع سوخت‌های خانگی مصرفی، انواع سوخت‌های مصرفی توسط صنایع، و گرد و غبار حاصل از انواع کاربری اراضی در تولید آلاینده $PM_{2.5}$ اولیه دخیل هستند که در مطالعه ای نیز به سهم این عوامل در سطح کلانشهر تهران پرداخته شده است که سهم عوامل ذکر شده بر تولید این آلاینده را تعیین کرده و بهترین استراتژی برای کاهش و کنترل آلاینده $PM_{2.5}$ را مدیریت سختگیرانه در حریم شهرهای اطراف تهران پیشنهاد داده است (۳۴)، همچنین در تعدادی از این مطالعات به نقش سرعت و جهت باد در توزیع و پراکنش این آلاینده پرداخته اند؛ به طوری که سرعت کمتر باد موجب کاهش حمل و نقل اتمسفری $PM_{2.5}$ شده و در نتیجه غلظت آن در محل تولید بالا می ماند؛ همین امر در تهران سبب سکون هوای آلوده و عدم ترقیق آن در محل تولید شده است؛ جهت غالب باد برای کلانشهر تهران غرب به شرق می باشد که بلند مرتبه سازی‌ها در نواحی غربی موجب بسته شدن مسیر باد ورودی به تهران شده است (۳۵)؛ همچنین وجود کارخانجات شن و ماسه، شهرک سازی‌ها و تغییرات کاربری اراضی در نواحی غربی به همراه جهت غرب به شرق بودن باد موجب شده است که انتشارات منابع موجود در این نواحی (کارخانجات شن و ماسه، شهرک سازی‌ها و تغییرات کاربری اراضی) مستقیماً وارد نواحی غربی و جنوب غربی شود و باد حامل انتشارات این منابع با برخورد به ساختمان‌های بلند مرتبه در مناطق غربی دچار چرخش (*Circulation*) شده و بخش زیادی از انرژی خود را از دست می دهد که منجر به محبوس شدن هوای آلوده در همان نواحی می شود؛ البته بخشی از باد تضعیف شده هوای آلوده را تا نواحی مرکزی حمل می کند که رفته رفته از غلظت آن کاسته می شود؛ در همین حال هرچه به سمت نواحی مرکزی و شرقی رفته می شود حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌های متناسب به آن افزایش می یابد (در خلاف جهت توزیع غلظت آلاینده $PM_{2.5}$) که همین امر موجب تشکیل $PM_{2.5}$ ثانویه در نواحی مرکزی و شرقی می گردد که نتایج مطالعه حاضر همین امر را پوشش می دهد. به طور کلی مطالعه آلودگی هوا در کلانشهر تهران پیچیدگی‌های بسیاری دارد که می توان گفت سو مدیریت در بخش‌های مختلف علت اصلی غلظت

شرکت کنترل کیفیت هوای تهران و شرکت کنترل ترافیک کلانشهر تهران بمنظور در اختیار گذاشتن موقعیت ایستگاه های پایش کیفیت هوا، داده های غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و همچنین داده های ترافیکی معابر تشکر و قدردانی می شود.

تقریباً ایده آل، به تدوین و اجرای استراتژی های کنترل و کاهش حجم ترافیک پرداخته شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان حفاظت محیط زیست کشور،

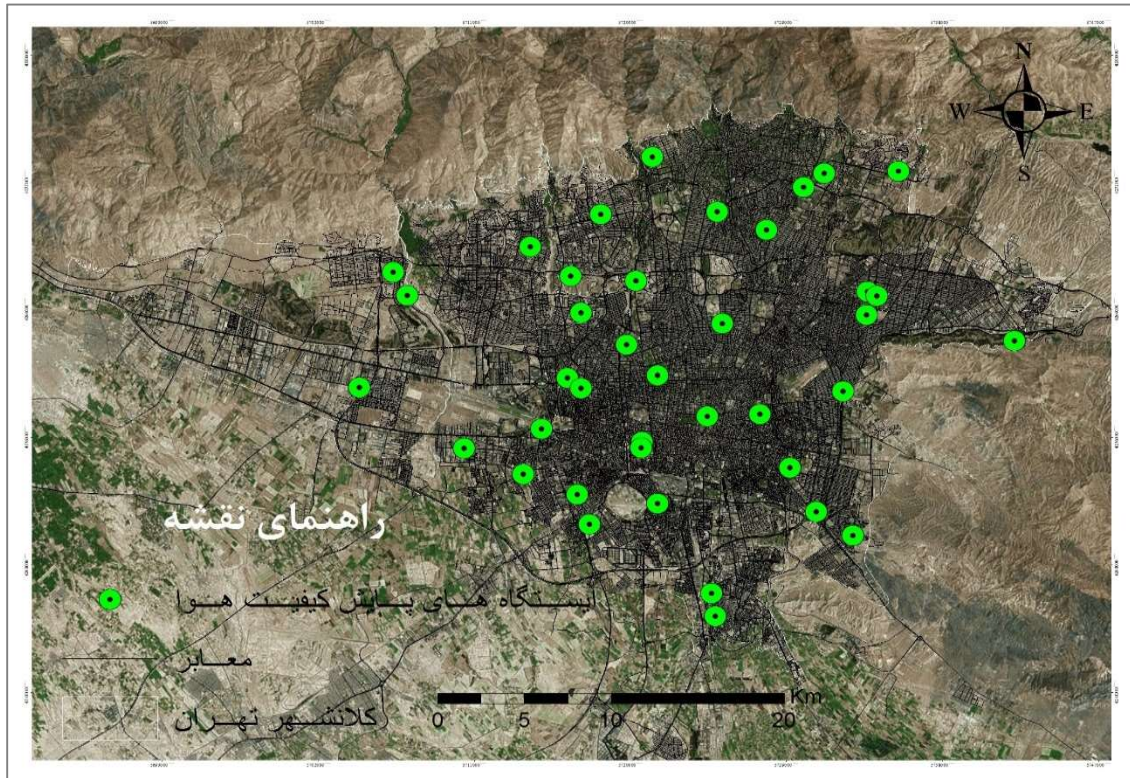
جدول ۱- توصیف داده های ترافیکی ثبت شده توسط شرکت کنترل ترافیک تهران و نحوه استفاده از آن در مطالعه مدل سازی روابط بین تغییرات مکانی- زمانی حجم ترافیک و غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ بر پایه مدل ها

نوع معبر	سرعت مجاز Km/h	ترافیک (Level of service)	سرعت در وضعیت های گوناگون Km/h	ضرایب
بزرگراه	۸۰	روان (A)	۸۰	۱
بزرگراه	۸۰	اختلال در حرکت (B)	۶۴	۰/۸
بزرگراه	۸۰	سنگین در حال حرکت (C)	۴۰	۰/۵
بزرگراه	۸۰	سنگین (D)	۱۶	۰/۲
بزرگراه	۸۰	بسیار سنگین (E)	۶,۴	۰/۰۸
بزرگراه	۸۰	مسدود (F)	۰	۰
خیابان اصلی	۶۰	روان (A)	۶۰	۱
خیابان اصلی	۶۰	اختلال در حرکت (B)	۴۸	۰/۸
خیابان اصلی	۶۰	سنگین در حال حرکت (C)	۳۰	۰/۵
خیابان اصلی	۶۰	سنگین (D)	۱۲	۰/۲
خیابان اصلی	۶۰	بسیار سنگین (E)	۴,۸	۰/۰۸
خیابان اصلی	۶۰	مسدود (F)	۰	۰
خیابان فرعی	۵۰	روان (A)	۵۰	۱
خیابان فرعی	۵۰	اختلال در حرکت (B)	۴۰	۰/۸
خیابان فرعی	۵۰	سنگین در حال حرکت (C)	۲۵	۰/۵
خیابان فرعی	۵۰	سنگین (D)	۱۰	۰/۲
خیابان فرعی	۵۰	بسیار سنگین (E)	۴	۰/۰۸
خیابان فرعی	۵۰	مسدود (F)	۰	۰
کوچه	۳۰	روان (A)	۳۰	۱
کوچه	۳۰	اختلال در حرکت (B)	۲۴	۰/۸
کوچه	۳۰	سنگین در حال حرکت (C)	۱۵	۰/۵
کوچه	۳۰	سنگین (D)	۶	۰/۲
کوچه	۳۰	بسیار سنگین (E)	۲,۴	۰/۰۸
کوچه	۳۰	مسدود (F)	۰	۰

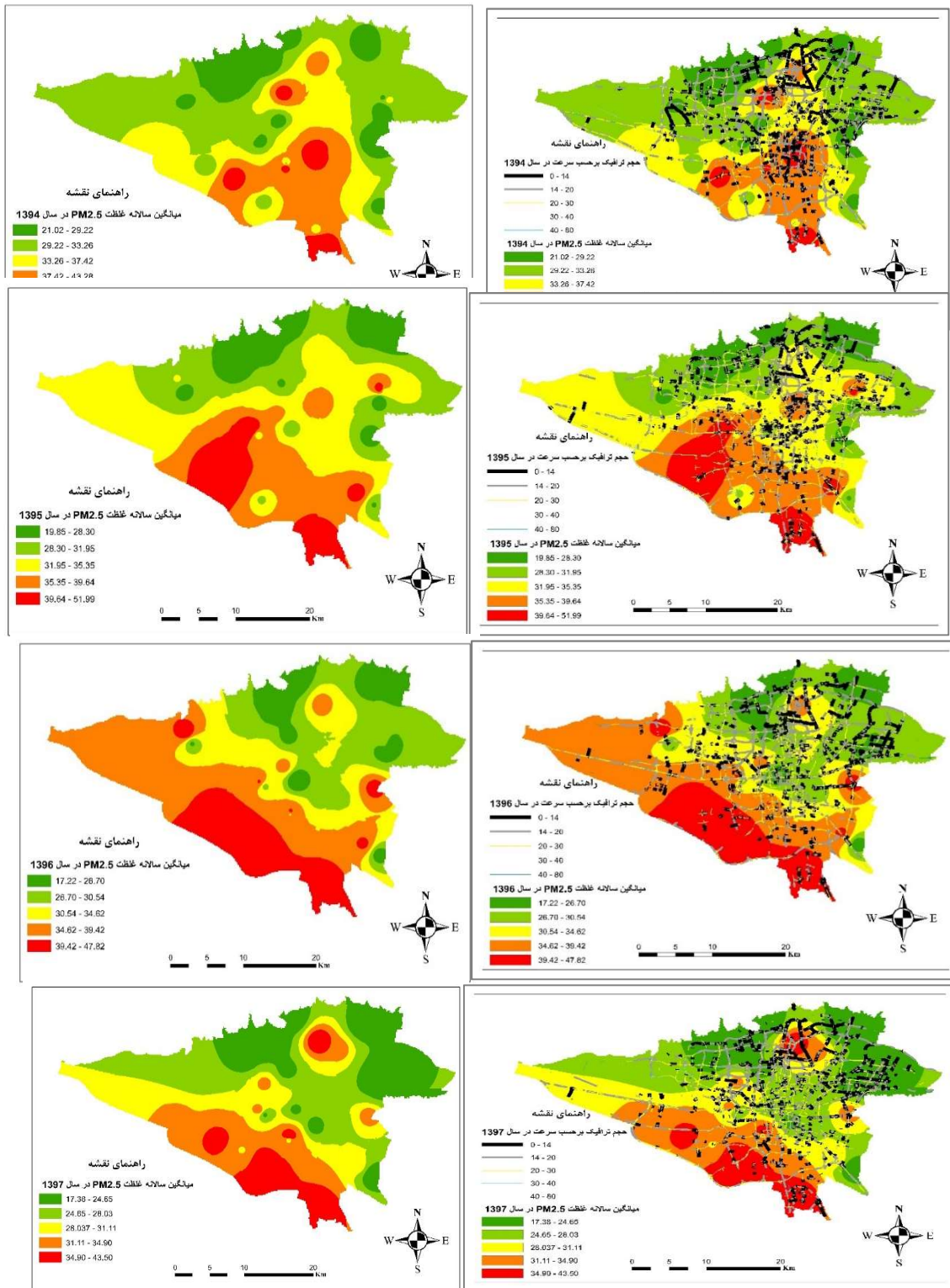
جدول ۲- توصیف آماری غلظت $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) در هوای کلانشهر تهران طی سال های ۱۳۹۷-۱۳۹۴ در مطالعه مدل سازی روابط بین تغییرات مکانی- زمانی حجم ترافیک و غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ بر پایه مدل ها

سال	صدک ۲۵	صدک ۷۵	انحراف معیار	RMSE*	میانگین	حداقل	حداکثر
۱۳۹۴	۲۷/۱۵	۳۸/۳۵	۹/۱۷	۸/۱	۳۴/۲۰	۲۱/۰۲	۵۴/۲۲
۱۳۹۵	۲۶/۹۰	۳۹	۷/۹۰	۷/۸۳	۳۳/۷۴	۱۹/۸۵	۵۱/۹۹
۱۳۹۶	۲۴/۸۶	۴۱/۵	۷/۸۰	۸/۵۸	۳۳/۲۵	۱۷/۲۲	۴۷/۸۲
۱۳۹۷	۲۱/۷۸	۳۳/۹۹	۸/۷۹	۷/۵۱	۲۸/۵۴	۱۷/۳۸	۴۳/۵۰

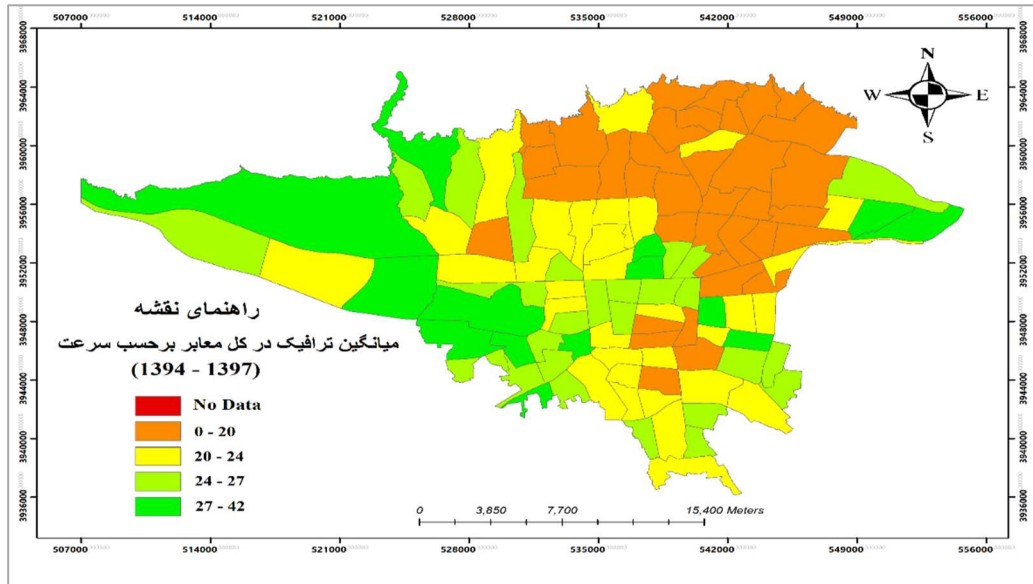
RMSE*: ریشه خطای میانگین مربع (Root Mean Square Error)



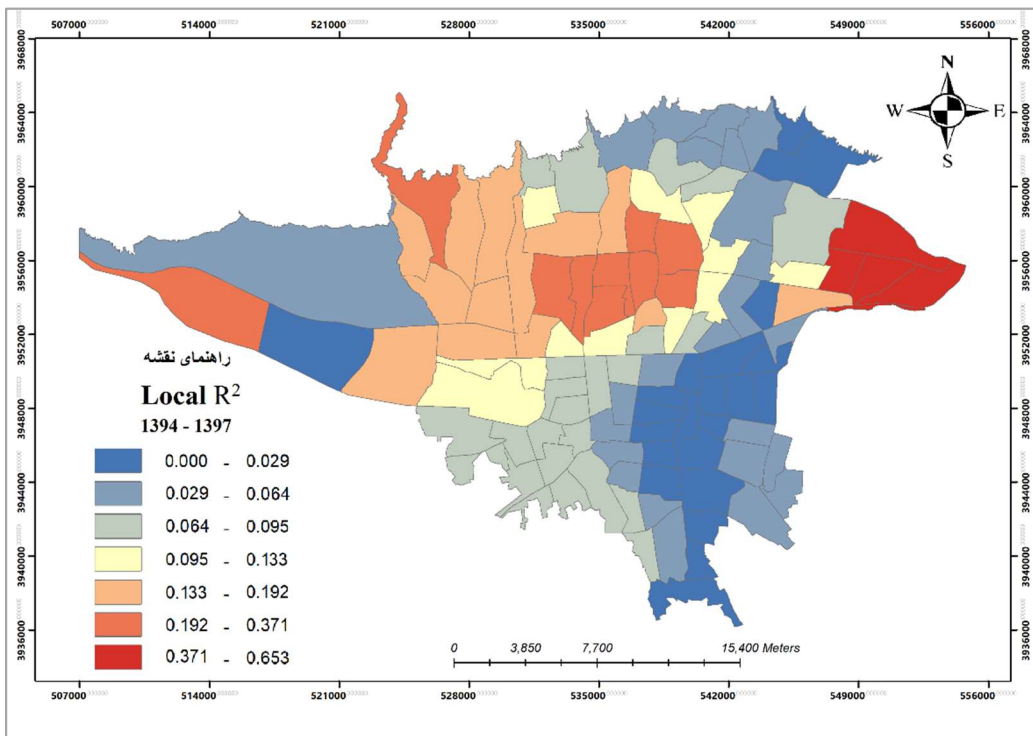
شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه در مطالعه مدل سازی روابط بین تغییرات مکانی- زمانی حجم ترافیک و غلظت آلاینده ی $PM_{2.5}$ بر پایه مدل‌ها



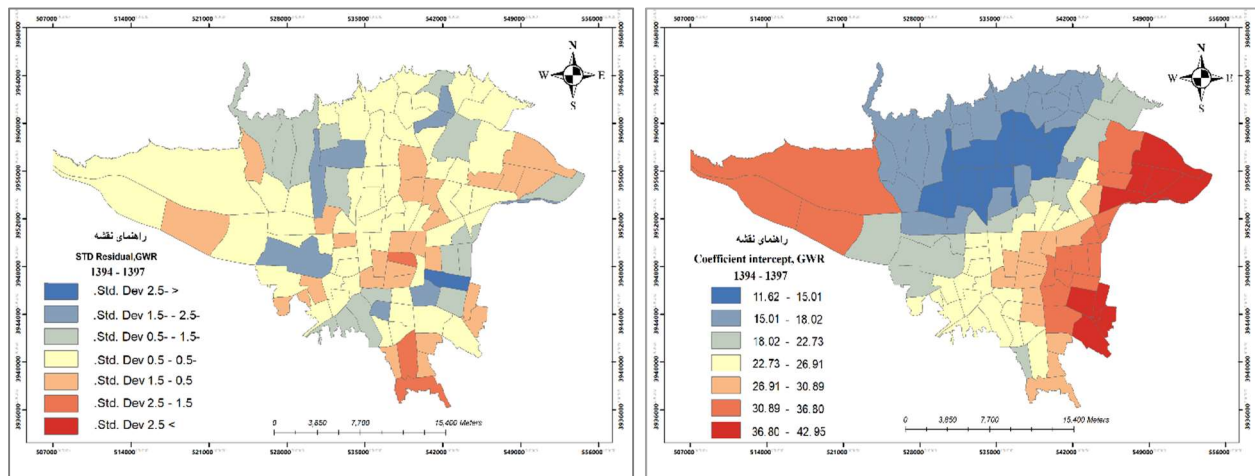
شکل ۲- پهنه بندی در مطالعه غلظت آلاینده PM_{2.5} و حجم ترافیک برحسب سرعت در کلانشهر تهران



شکل ۳- میانگین حجم ترافیک در سطح معابر هر ناحیه، برحسب سرعت ($m.s^{-1}$) در مطالعه مدل سازی روابط بین تغییرات مکانی- زمانی حجم ترافیک و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ بر پایه مدل ها



شکل ۴- Local R² به دست آمده از مدل GWR بین حجم ترافیک و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$



شکل ۵- Standardized Residual (Std Residual) و Coefficient intercept به دست آمده از مدل GWR بین حجم ترافیک و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$

References

1. Amini H, Taghavi-Shahri, SM, Henderson SB, Naddafi K, Nabizadeh R, Yunesian M. Land Use Regression Models to Estimate the Annual and Seasonal Spatial Variability of Sulfur Dioxide and Particulate Matter in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*. 2014; 488-489: 343-353.
2. Air Quality Control Company. Tehran's Air Quality Report 1395. Tehran, 2017.
3. Bell ML, Belanger K, Ebisu K, Gent JF, Lee HJ, Koutrakis P, Leaderer BP. Prenatal exposure to fine particulate matter and birth weight: variations by particulate constituents and sources. *Epidemiology*. 2010;21(6): 884-891.
4. Khreis H, Kelly C, Tate J, Parslow R, Lucas K, Nieuwenhuijsen M. Exposure to traffic related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta analysis. 2017; (1873-6750 (Electronic)).
5. Sapkota A, Chelikowsky AP, Nachman KE, Cohen AJ, Ritz B. Exposure to particulate matter and adverse birth outcomes: A comprehensive review and meta-analysis. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2012; 5(4):369-381.
6. Brauer M, Lencar C, Tamburic L, Koehoorn M, Demers P, Karr C. A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes. *Environ. Health Perspect*. 2008; 116(5):680-686.
7. Pereira G, Evans KA, Rich DQ, Bracken MB, Bell ML. Fine particulates, preterm birth, and membrane rupture in Rochester, NY. *Epidemiology*. 2016; 27(1): 66-73.
8. Warren J, Fuentes M, Herring A, Langlois P. Spatial-temporal modeling of the association between air pollution exposure and preterm birth: identifying critical windows of exposure. *Biometrics*. 2012; 68(4): 1157-1167.
9. Dadvand P, Parker J, Bell ML, Bonzini M, Brauer M, Darrow LA, et al. Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity. *Environ. Health Perspect*. 2013;121(3):367-373.

10. Foraster M, Basagana X, Aguilera I, Rivera M, Agis D, Bouso L, Deltell A, Marrugat J, Ramos R, Sunyer J, Vila J, Elosua R, Kunzli N. Association of long-term exposure to traffic-related air pollution with blood pressure and hypertension in an adult population-based cohort in Spain (the REGICOR study). *Environ Health Perspect.* 2014; 122(4): 404-411.
11. Qiao J, Lu WH, Wang J, Guo XJ, Qu QM. Vascular risk factors aggravate the progression of Alzheimer's disease: a 3-year follow-up study of Chinese population. 2014; (1938-2731 (Electronic)).
12. Wellenius GA, Burger MA, Coull BA, Schwartz J, Suh HH, Koutrakis P, Schlaug G, Gold DR, Mittleman MA. Ambient air pollution and the risk of acute ischemic stroke. *Arch Intern Med.* 2012; 172(3): 229-234.
13. Zamora ML, Pulczynski JC, Johnson N, Garcia-Hernandez R, Rule A, Carrillo G, Zietsman J, Sandragorsian B, Vallamsundar S, Askariyeh MH, Koehler K. Maternal exposure to PM_{2.5} in south Texas, a pilot study. *Science of the Total Environment.* 2018; 628-629: 1497-1507.
14. Kioumourtzoglou MA, Schwartz JD, Weisskopf MG, Melly SJ, Wang Y, Dominici F, Zanobetti A. Long-term PM_{2.5} Exposure and Neurological Hospital Admissions in the Northeastern United States. *Environmental Health Perspectives.* 2016; 124(1): 23-29.
15. Girguis MS, Strickland MJ, Hu X, Liu Y, Bartell SM, Vieira VM. Maternal Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Birth Defects in Massachusetts. *Environmental research.* 2016; 146:1-9.
16. Weinstock L, Watkins N, Wayland R, Baldauf R. EPA's Emerging Near-Road Ambient Monitoring Network: A Progress Report. *EM Magazine.* Air and Waste Management Association, 2013.
17. Rowangould GM. A census of the US near-roadway population: Public health and environmental justice considerations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment.* 2013; 25:59-67.
18. U.S. Department of Housing and Urban Development. AHS 2013 National Summary Tables V1.2, American Housing Survey (AHS), 2016.
19. Abbaspour M, Soltaninejad A. "Design of an Environmental Assessment Model on the Effect of Vehicle Emission in Greater Tehran on Air Pollution with Economic sensitivity." *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2004; 1(1): 27-38.
20. Shahbazi H, Reyhanian M, Hosseini V, Afshin H. The Relative Contributions of Mobile Sources to Air Pollutant Emissions in Tehran, Iran: An Emission Inventory Approach. *Emission Control Science and Technology.* 2016; 2(1): 44-56.
21. Nasiri R, Akbarpour S, Zali AR, Khodakarami N, Boochani MH, Noory AR, Soori H. Spatio-temporal analysis of COVID-19 incidence rate using GIS: a case study-Tehran metropolitan, Iran. *GeoJournal.* 2021; 1-15.
22. Xu C, Zhao J, Liu P. A geographically weighted regression approach to investigate the effects of traffic conditions and road characteristics on air pollutant emissions. *Journal of Cleaner Production.* 2019; 239, 118084.
23. Rosenlieb EG, McAndrews C, Marshall WE, Troy A. Urban development patterns and exposure to hazardous and protective traffic environments. *Journal of transport geography.* 2018; 66:125-134.
24. Selby B, Kockelman KM. Spatial prediction of traffic levels in unmeasured locations: applications of universal kriging and geographically weighted regression. *Journal of*

- Transport Geography. 2013; 29:24-32.
25. Li T, Jiang H, Jing P, Yu Y, Zhang M, Sang H. A Data-Driven Study on the Impact of Land Use on Traffic Congestion Based on GWR Model. In CICTP. 2020; 3051-3060.
26. Gong G, Mattevada S, O'Bryant SE. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environ Res.* 2014; 130(0):59-69.
27. Fotheringham AS, Charlton ME, Brunsdon C. Spatial variations in school performance: a local analysis using geographically weighted regression. *Geogr Environ Model.* 2001;5(1):43-66.
28. Javi ST, Malekmohammadi B, Mokhtari H. Application of geographically weighted regression model to analysis of spatiotemporal varying relationships between groundwater quantity and land use changes (case study: Khanmirza Plain, Iran). *Environmental monitoring and assessment.* 2014; 186(5):3123-3138.
29. Tu J, Xia Z-G. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. *Sci Total Environ.* 2008;407(1):358-78.
30. Fotheringham AS, Brunsdon C, Charlton M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. John Wiley and Sons; 2003.
31. Gao J, Li S. Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression. *Appl Geogr.* 2011;31(1):292-302.
32. Zhang L, Gove JH, Heath LS. Spatial residual analysis of six modeling techniques. *Ecol Modell.* 2005;186(2):154-77.
33. Torun, AÖ, Göçer K, Yeşiltepe D, Argın G. Understanding the role of urban form in explaining transportation and recreational walking among children in a logistic GWR model: A spatial analysis in Istanbul, Turkey. *Journal of Transport Geography.* 2020; 82:102617.
34. Zarandi SM, Shahsavani A, Nasiri R, Pradhan B. A hybrid model of environmental impact assessment of PM 2.5 concentration using multi-criteria decision-making (MCDM) and geographical information system (GIS)-a case study. *Arabian Journal of Geosciences.* 2021;14(3):1-20.
35. Zarandi SM, Nasiri R. Spatio-temporal analysis of PM_{2.5} pollutant in Tehran metropolis during the years 2014-2017. *Journal of Research In Environmental Health.* 2020; 6(3). doi: 10.22038/jreh.2020.44236.1337. [Persian]

Modeling of the Relationships Between Spatio-Temporal Changes of Traffic Volume and Particulate Matter-2.5 Pollutant Concentration Based on Geographically Weighted Regression (GWR) and Inverse Distance Weighting (IDW) Model: A Case Study in Tehran Metropolis, Iran

Saeed Motesaddi Zarandi¹, Rasul Nasiri², Mohammad Esmacil Motlagh³

- 1- PhD. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
- 2- PhD. Student, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran- Corresponding Author: nasirirasul@gmail.com
- 3- PhD. Professor, Department of Pediatrics, School of Medicine, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Received: Jan 31, 2021

Accepted: May 22, 2021

ABSTRACT

Background and Aim: High concentrations of particulate matter-25 (PM_{2.5}) have been the cause of the unhealthiest days in Tehran, Iran in recent years. This study was conducted with the aim of the spatio-temporal analysis of traffic volume and its relationship with PM_{2.5} pollutant concentrations in Tehran metropolis, Tehran during 2015-2018, using the Geographic Information System (GIS).

Materials and Methods: In this study in different regions of Tehran, the Inverse Distance Weighting (IDW) model was used for prediction and zoning of the PM_{2.5} concentrations and traffic volume during the period 2015-2018. In addition, the association between the PM_{2.5} concentrations and traffic volume was determined based on the Geographically Weighted Regression (GWR) model.

Results: The findings showed that the southern and southwestern regions of Tehran had the highest PM_{2.5} pollutant concentration (annual average more than 40 µg/m³), while the eastern and northern regions had the highest traffic volume. In addition, based on the GWR model, the eastern regions were found to have the highest local R² values (between 0.36 and 0.70).

Conclusion: In most regions of Tehran, no strong association can be found between high concentrations of PM_{2.5} and traffic volume. However, based on the findings of this study we cannot reject the relationship between traffic volume and PM_{2.5} pollutant but postulate other sources to be the main reason for the high concentrations of PM_{2.5}. Thus, in the first step, these sources should be identified, followed by adopting strategies for traffic volume control and reduction aiming at having a cleaner air in Tehran.

Keywords: PM_{2.5} Pollutant, GIS, Spatio-Temporal Modeling, Traffic, Inverse Distance Weighting (IDW), Geographically Weighted Regression (GWR), Tehran, Iran

Copyright © 2021 Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.