

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)

محمدرضا کاشی پزان قمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، گروه عمران، دانشگاه خوارزمی، استان البرز، ایران

بهروز شیرگیر (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه خوارزمی، استان البرز، ایران

محمد دلنواز، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه خوارزمی، استان البرز، ایران

E-mail: shirgir@khu.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰

دریافت: ۱۳۹۶/۱۳/۱۵

چکیده

معضل آلودگی هوا و کاهش کیفیت هوای کلان شهرها یکی از بحرانی‌ترین مسائل زیست محیطی جوامع امروزی است که منجر به ایجاد خطرات جدی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست پیرامون شده است. جریان ترافیک در مناطق درون شهری که شامل ناوگان متعددی بوده، سهم قابل توجهی از تولید آلاینده‌های هوا در سطح شهر را به خود اختصاص داده است. مدیریت صحیح ناوگان مختلف ترافیکی در شبکه معابر درون شهری می‌تواند در بهبود سریع‌تر وضعیت کیفیت هوای شهری در مواقع بحران آلودگی هوا تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. در این پژوهش، مطالعه‌ای پیرامون تحلیل و مدل سازی اثر حجم تردد و تنوع ناوگان جریان ترافیکی روی وضعیت آلودگی هوای شهری و غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی ایستگاه کنترل کیفیت هوای شهرداری منطقه ۱۱ تهران انجام شده است. بررسی‌ها با مقیاس ساعتی در شرایط آب و هوایی بدون وزش باد و بدون ناپایداری جوی (اعم از نزولات جوی، پدیده گردوغبار و...) انجام شده‌اند. نتایج نشان داد که به طور متوسط، در هنگام تردد احجام تردد مساوی از ناوگان مختلف در معبر مورد مطالعه، وسایل نقلیه دیزلی مسافری نسبت به دو ناوگان وسایل نقلیه دیزلی باری و وسایل نقلیه بنزینی شخصی اثرگذاری بیشتری در تولید آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و SO_2 دارند. اما در حالت عبور متوسط نسبت‌های احجام ناوگان ترافیکی از معبر مورد نظر، به طور متوسط ناوگان وسایل نقلیه دیزلی باری نسبت به سایر ناوگان اثرگذاری بیشتری در تولید آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و SO_2 دارند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوای شهری، حجم تردد ناوگان، جریان ترافیک، مدیریت کیفیت هوا.

۱. مقدمه

امروزه آلودگی هوا تبدیل به معضل اصلی محیط‌زیست جوامع امروزی، خصوصاً کشورهای در حال توسعه شده است. رشد روزافزون گازهای گلخانه‌ای^۱ و غلظت آلاینده‌های زیست محیطی به واسطه مصرف بی‌رویه انرژی و منابع طبیعی باعث ایجاد خطرات جدی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست پیرامون شده که با توجه به افزایش خسارات جبران‌ناپذیر ناشی از آلودگی هوا، اعم از خسارات مالی، صدمات جانی و تلفات، مدیریت و مقابله با این بحران، چالش بزرگی را در مقابل سیاست‌گذاران و مسئولان بخش منابع طبیعی قرار داده است.

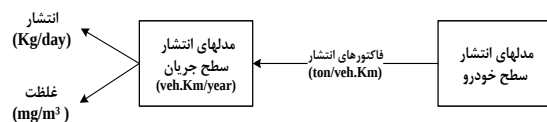
برطبق مدل آماری طراحی شده از سوی سازمان بهداشت جهانی، نتایج کمی‌سازی این مدل در رابطه با اثرات آلودگی هوا برای شهر تهران در سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۲ نشان داد که طی این ۴ سال به‌طور متوسط، سالانه ۶۴۷۶ نفر بر اثر قرارگرفتن در معرض آلودگی ناشی از آلاینده‌های ذرات معلق^۲، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و مونواکسید کربن، در شهر تهران جان خود را از دست می‌دهند و این یک آمار نگران‌کننده است که باید برای مقابله با آن سیاست‌های لازم به‌کارگرفته شود [Summary of the Third National Report on the Environment of Iran, 2015].

در دهه‌های اخیر، افزایش تراکم جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی در کلان‌شهرها، باعث افزایش حجم ترافیک و در نتیجه آن، بالا رفتن سطح آلودگی هوا شده است. عمده‌ترین منبع آلوده‌کننده هوا در شهرهای بزرگ در حال توسعه مربوط به حمل‌ونقل انبوه خودروهایی است که بیشتر از حد استاندارد، سوخت و انرژی مصرف می‌کنند و بار سنگین ترافیک خیابان‌های این شهرها، اغلب ریشه در معضلاتی مانند ضعف مدیریت ترافیک و فرهنگ ترافیکی دارد [Barari and Nazarpour, 2011]. تأثیر موتورهای احتراق داخلی روی آلودگی محیط زیست یک واقعیت مسلم است. نزدیک به دو دهه قبل، پیش‌بینی

شده بود که تولید خودرو در کشورهای در حال توسعه باعث افزایش قابل‌توجه گازهای گلخانه‌ای خواهد شد و باید سیاست‌هایی به منظور محدود کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شود [Paulikakos, Heutschi and Soltic, 2013]. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفیت شبکه حمل‌ونقل، میزان آلودگی ناشی از آمد و شد وسایل نقلیه است [Pourzahedi, Zareie and Kermanshah, 2002]. یکی از مشخصه‌های مهم و تأثیرگذار جریان ترافیک در میزان غلظت آلاینده‌های منتشر شده در سطح کلان، حجم و شمار ترافیک است که در مطالعات معدودی به میزان تأثیر این مشخصه پرداخته شده و امروزه به‌عنوان یکی از خلاءهای مطالعاتی نیازمند بررسی و پژوهش‌های بیشتر است. از طرفی بسته به اینکه حجم ترافیک شامل چه نوع ناوگانی است، سهم هر ناوگان در انتشار آلاینده‌ها اهمیت پیدا می‌کند که این مبحث می‌تواند یک زمینه جدید از مطالعات را باز کند. نیازهای بیشتر به زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به‌عنوان یکی از نتایج توسعه و رشد اقتصادی، خود را در قالب افزایش تعداد وسایل نقلیه سنگین^۳ در سراسر جهان آشکار کرده است. این افزایش به‌طور ذاتی با افزایش در تراکم، سر و صدا، مصرف انرژی و انتشارات گازی و ذرات معلق و همچنین افزایش در استفاده بیش از حد زیرساخت‌ها که تمامی آن‌ها پیامدهای اجتماعی گسترده‌ای هستند همراه است. اگرچه هزینه‌های سروصدا و تعمیر و نگهداری زیرساخت‌ها در درجه اول، اثرات محلی و موضعی در همان منطقه هستند، اما افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل یک مشکل جهانی است و تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در تغییرات آب‌وهوا دارد که باید با آن در سطح جهانی برخورد شود [Paulikakos, Heutschi and Soltic, 2013]. وسایل نقلیه سنگین که عموماً با موتور دیزلی کار می‌کنند، بخاطر احتراق ناقص گازوئیل همواره سطحی از آلودگی در گازهای خروجی از موتور این خودروها وجود دارد. آلاینده‌های خروجی

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

موتور^۶ و آزمون دینامومتر شاسی^۶ استوار بود [Ligterink, Tavasszy and Lange, 2012]. در این آزمون‌ها که نوعی تکنیک نظارت مستقل و ساکن محسوب می‌شوند می‌بایست جهت اندازه‌گیری میزان انتشار خودرو، موتور خودرو را پیاده کرده و بر روی دینامومتر موتور قرار دهند که در این حالت میزان انتشار آلاینده‌ها تنها در شرایط ساکن برآورد می‌شود و اطلاعات دقیقی از انتشار در واقعیت را به دست نمی‌دهد [Paulikakos, Heutschi and Soltic, 2013]. رویکرد کلان‌نگر، کلیت جریان ترافیک را در نظر می‌گیرد و انتشار آلاینده‌های منابع متحرک را در سطح شبکه‌ای متقابل از جریان وسایل نقلیه و معابر مورد بررسی قرار می‌دهد. این رویکرد، اثر عوامل مختلف جریان ترافیک نظیر سرعت جریان، حجم تردد، چگالی جریان، تشکیل صف و تأخیر و... را بر میزان آلاینده‌های منتشر شده در سطح جریان ترافیک مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد. مدل‌های انتشار سطح جریان در مدل‌های حمل‌ونقل جا گرفته و عمدتاً در چارچوب تجزیه و تحلیل سیاست‌های عمومی و تحلیل‌های هزینه-فایده اجتماعی اعمال می‌شود [Ligterink, Tavasszy and Lange, 2012]. شکل ۱ چگونگی رسیدن از مدل‌های سطح خودرو به سطح جریان را نشان می‌دهد:



شکل ۱. توالی مدل‌سازی انتشار از سطح خودرو به سطح جریان

براساس مطالعات لیگترینک^۷ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در هلند روی میزان انتشار آلاینده‌های متأثر از سرعت برای وسایل نقلیه سنگین حمل‌ونقل جاده‌ای، نتایج آزمایش اثر سرعت روی میزان انتشار آلاینده کلاس‌های مختلف کامیون دیزلی اعم از سبک، متوسط و سنگین نشان داد که سطح انتشار خروجی NO_x بالاتر ازگروز در سرعت‌های پایین حاصل می‌شود که علت اصلی

ازگروز این خودروها، متشکل از یک مخلوط پیچیده از گازها، ذرات معلق مایع و ذرات معلق جامد است و نکته حائز اهمیت اینست که میزان نشر آلاینده‌های ذرات معلق از خودروهای دیزلی ۱۰ برابر بیشتر از میزان همین آلاینده‌ها در خودروهای بنزینی است [Naderi and Rahro, 2013]. در چین کنترل انتشارات وسایل نقلیه دیزلی سنگین یک مؤلفه کلیدی مدیریت برنامه‌ریزی موثر کیفیت هوا است [Paulikakos, Heutschi and Soltic, 2013]. بنابراین، توجه به تنوع ناوگان ترافیکی و احجام ترد آن‌ها در شبکه حمل‌ونقل شهری و میزان اثرگذاری نسبی آن‌ها در تولید آلاینده‌ها و کاهش کیفیت هوا، کمک شایانی به مدیران و سیاست‌گذاران جهت مدیریت هرچه بهتر و به-کارگیری استراتژی‌های مختلف در حوزه کنترل آلودگی هوا خواهد کرد و به دنبال آن، گامی موثر در راستای بهبود کیفیت هوا برداشته خواهد شد.

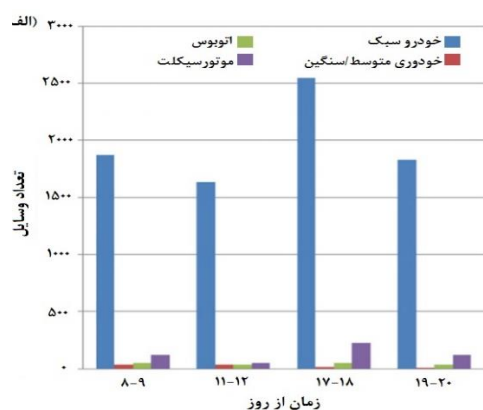
۲. پیشینه پژوهش

در بحث آلودگی و پارامترهای موثر بر میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از منابع متحرک (وسایل نقلیه) و نیز غلظت این آلاینده‌های انتشار یافته در محیط، همانند پارامترهای اساسی جریان ترافیک، دو رویکرد اصلی کلان‌نگر و خردنگر جهت بررسی و نظارت، تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج وجود دارد. رویکرد خردنگر، براساس عملکرد تک وسیله نقلیه و جزئیات رده خودرو روی میزان انتشار آلاینده استوار است. علاوه بر ویژگی‌های وسیله نقلیه، پارامترهای سرعت خودرو و تغییرات سرعت (یا شتاب) خودرو از عواملی هستند که می‌توانند در تولید آلاینده‌ها در سطح تک وسیله نقلیه تأثیرگذار باشند. سرعت هر خودرو ویژگی کلیدی برای نشان دادن رفتار راننده آن در رویکرد خردنگر بوده که در نهایت اثرات آن در سطح کلان‌نگر مشهود می‌شود. تا همین اواخر، مدل‌های انتشار آلاینده‌ها در سطح تک وسیله نقلیه بر داده‌های تجربی از آزمون

آزاد بسیار بالاتر بوده که اغلب تحت تاثیر شتاب‌گیری و شتاب-کاهی بخاطر تکرر توقف و حرکت است [Choudhary and Gokhale, 2016] و (Oh, Choi and Jung, 2016). از طرفی وسایل نقلیه سنگین به دلیل عملکرد ضعیفشان در توقف و شروع به حرکت، علاوه بر اینکه خود سطح بالاتری از آلاینده-ها را تولید می‌کنند، باعث کندی حرکت جریان ترافیک نیز شده و صفی از دیگر وسایل نقلیه در پشت آنها باعث افزایش در سطح تولید آلاینده‌ها می‌شود.

از دیگر مشخصه‌های مهم و تأثیرگذار جریان ترافیک در میزان غلظت آلاینده‌های منتشر شده در سطح کلان، حجم و شمار ترافیک است. همچنین ناوگانی تشکیل دهنده ترافیک و احجام آن‌ها در تعیین سهم انتشار آلاینده‌ها اهمیت پیدا می‌کند. در مطالعات صورت گرفته در کالیفرنیا توسط هو^{۱۶} و همکارانش، همبستگی بالایی بین شمار ترافیک و غلظت آلاینده‌های UFP و NO برقرار شد که نشان دهنده وجود یک ارتباط خطی مستقیم بین شمار ترافیک و غلظت‌ها بوده اس [Hu et al. 2009].

در مطالعه انجام شده در شهر دوبلین در ایرلند، مشاهده شد که اگرچه سهم حجم وسایل نقلیه سنگین از ترکیب ناوگان بسیار ناچیز است، اما درصد سهم آلاینده‌ی NO_x انتشار یافته از آنها مطابق شکل ۲ بسیار قابل توجه است [Gallagher, 2016]. بنابراین اگر سهم آلاینده نسبت به سهم حجم تردد وسایل نقلیه مرتبط نرمال شوند نتایج قابل ملاحظه و مناسب‌تری حاصل خواهد شد.

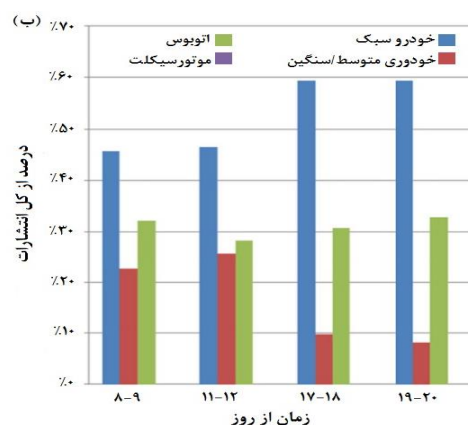


آن، پویایی رانندگی^۸ نسبتاً بالاتر در برابر سرعت‌های بالا است. برای سرعت بالاتر پویایی رفتار رانندگی به‌طور معمول کاهش می‌یابد و میزان انتشارات کمتر را در محدوده سرعت ۸۰ الی ۹۰ کیلومتر بر ساعت بدست می‌دهد [Ligterink, Tavasszy and Lange, 2012]. همچنین مطالعات انجام شده در شهر روتردام هلند نشان داد که تاثیر مدیریت سرعت تردد روی کیفیت هوا در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت برای NO_x و PM₁₀ در بزرگراه‌های با حجم بالای وسایل نقلیه سنگین در بیشترین مقدار است [Keuken, et al. 2010].

علاوه بر سرعت متوسط تردد، تغییرات سرعت نیز یکی دیگر از عوامل موثر بر میزان تولید آلاینده‌ها در سطح خرد است. این تغییرات سرعت در قالب افزایش و کاهش سرعت که به اصطلاح، شتاب‌گیری^۹ و شتاب‌کاهی^{۱۰} نامیده می‌شوند نمود پیدا می‌کند. می‌توان گفت که سطح انتشار آلاینده‌ها مطابق با الگوهای جریان ترافیک و سرعت، نسبت به فراوانی و شدت فرآیند شتاب‌گیری و شتاب‌کاهی حساس است [Choudhary and Gokhale, 2016]. این دو فرآیند عموماً در شرایط تداخل و ازدحام جریان اتفاق می‌افتد که به‌علت تکرر عملیات توقف و حرکت^{۱۱} است. از جمله محل‌هایی که انجام عملیات توقف و حرکت را ایجاب می‌کند می‌توان به مواردی چون نزدیکی تقاطعات^{۱۲}، محل تصادفات ترافیکی^{۱۳}، مناطق کاری^{۱۴}، شرایط ازدحام^{۱۵} و ... اشاره کرد. مطالعه انجام شده در کشور هند حاکی از کاهش کیفیت هوای شهری در تقاطعات به علت تغییرات سرعت وسایل نقلیه نزدیک شونده به تقاطع نزدیک و دور شونده از آن است [Pandian, Gokhale and Ghoshal, 2009]. مطالعه دیگری در اوکلند نشان داد که خیابان‌های شریانی شامل تقاطعات با چراغ‌های ترافیکی متعدد نسبت به بزرگراه‌های شلوغ اما با جریان ترافیک روان، تاثیر قوی‌تری بر روی غلظت آلاینده‌ها دارند [Pattinson, Longley and Kingham, 2014]. به‌طور کلی تولید جاده‌ای گازهای گلخانه‌ای ناشی از ترافیک شهری در شرایط تداخل جریان و ازدحام نسبت به شرایط جریان

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

ساعات شب (۰۸:۰۰ الی ۲۱:۰۰) در زمانی که بسیاری از وسایل نقلیه تجاری مانند وسایل نقلیه سنگین و کامیون‌ها در حال حرکت هستند اتفاق می‌افتد [Goyal et al. 2010]. همچنین مطالعات دیگری نظیر مطالعه شهرهای روچستر نیویورک [Wang et al. 2011] و سامرویل ماساچوست [Padró-Martínez et al. 2012] تاییدکننده این موضوع هستند و حاکی از افزایش غلظت آلاینده‌ها در طول ساعات شب تا صبح به واسطه تردد وسایل نقلیه سنگین است.



شکل ۲. سناریوی ترافیک محلی در مطالعه دوبلین

(الف) ترکیب ناوگان در خیابان (ب) غلظت NO_x مرتبط با

ناوگان نسبت به کل انتشار

۳. روش‌شناسی پژوهش

در بخش پیش رو ابتدا به معرفی روش تحلیل مورد استفاده در این پژوهش جهت بررسی اثرات حجم تردد ناوگان ترافیکی و ترکیبات ناوگان روی غلظت آلاینده‌ها پرداخته می‌شود؛ سپس به معرفی داده‌ها و نحوه گردآوری آنها اشاره شده و متغیرهای مدل‌ها تعریف خواهند شد.

۳-۱ تحلیل رگرسیون

رگرسیون به پیش‌بینی مقدار یک متغیر وابسته از روی مقادیر یک یا چند متغیر مستقل اشاره می‌کند. در واقع رگرسیون به دنبال ارائه اطلاعات و ویژگی‌ها در مورد پارامترهای مدل جامعه با بررسی ویژگی‌های بتای تخمینی نمونه، نحوه رفتار آنها و آنچه که آنها در مورد نمونه و در نتیجه در مورد جامعه می‌توانند به ما بگویند است [Washington, Karlaftis and Mannering, 2003]. روش تحلیل رگرسیونی را می‌توان هم برای داده‌های مشاهده‌ای^{۱۸} و هم برای داده‌های آزمایشی^{۱۹} به کار گرفت [Kutner et al. 2005] در داده‌های مشاهده‌ای، هدف تعیین رابطه همبستگی بین Y و X است. در صورتی که این همبستگی به قدر کافی قوی و معنی‌دار باشد، و متغیر یا متغیرهای X از طریق رابطه تابعی μ_y مقدار متوسط Y را با تقریبی خوب تعیین کنند، در عمل می‌توان از این وابستگی بهره

علاوه بر عوامل جریان ترافیک، دسته‌ای دیگر از عوامل ثانویه هستند که بر میزان غلظت آلاینده‌های انتشار یافته اثر می‌گذارند. این عوامل شامل پارامترهای آب‌وهوایی نظیر دما، رطوبت نسبی هوا، وزش باد هستند که باید در مقیاس کلان‌نگر و در سطح جریان مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند.

مطالعه انجام گرفته در دهلی نو، مهم‌ترین فصل از دیدگاه آلودگی هوا زمستان به مدت دسامبر تا فوریه است. این دوره با سردی هوا، هوای خشک و وارونگی زمینی با شرایط باد کم (سرعت کمتر از ۱ متر بر ثانیه) که باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌شود همراه است [Goyal, et al. 2010]. همچنین در مطالعه کلان‌شهر نیوآرک در کشور نیوجرسی جهت بررسی اثرات تغییرات زمانی و مکانی روی غلظت آلاینده‌ها مشاهده گردید که تغییرات قابل توجه فصلی برای غلظت آلاینده‌های هوای مرتبط با ترافیک بیان‌کننده غلظت بالاتر آلاینده‌ها در ماه‌های سرد سال (مارس و آوریل) نسبت به ماه‌های گرم سال (مه و ژوئیه) است [Yu et al. 2016]. طبق مطالعه گویال^{۱۷} و همکارانش در یکی از شلوغ‌ترین تقاطع‌های ترافیکی دهلی‌نو، مشخص شد که تغییرات روزانه غلظت NO_x بر اساس الگوهای ترافیک ساعتی، نشان می‌دهد که غلظت‌های بالاتر در طول

رگرسیون خطی برای هر جامعه مورد نظر با تعداد $p - 1$ متغیر پیش‌بین شامل $X_1, \dots, X_{p-1}$ به شکل رابطه (۱) است [Kutner, et al. 2005]:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \quad (1)$$

β : ضرایب مدل

ε_i : مولفه خطای تصادفی مدل

X_i و Y_i : به ترتیب متغیر وابسته مدل و متغیرهای مستقل مدل
یک حالت خاص مهم از رگرسیون خطی زمانی رخ می‌دهد که در رابطه (۱) $\beta_0 = 0$ باشد. یعنی، تغییرات متغیر پاسخ بدون واسطه تحت تأثیر تغییرات متغیرهای پیشگو است و بنابر دلیل-های عملی یا نظری مشخص شده است که عرض از مبدا خط رگرسیون صفر است که اصطلاحاً به این نوع رگرسیون، رگرسیون گذرنده از مبدا^{۲۰} می‌گویند [Eisenhauer, 2003] و [Abdulsalam Othman, 2014] و [Meshkani, 2017].

برای ارزیابی پارامترهای رگرسیون خطی از آزمون t -استودنت استفاده شده که یک تست آماری برای اثبات احتمالاتی مقدار خاص پارامتر β_k ارائه می‌کند.

برای برآورد ضرایب مدل رگرسیونی از روش تخمین حداقل مربعات استفاده شده یک روش معمول برآورد برای کاربر است رگرسیون است که اغلب با عنوان "حداقل مربعات معمولی" یا OLS نامیده می‌شود و روشی برای تخمین ضرایب مدل رگرسیون (پارامترهای بتا) با استفاده از داده‌های نمونه است. همان‌طور که انتظار می‌رود، OLS نیاز به راه حلی برای کمینه (حداقل) کردن مربعات خطاها دارد [Kutner et al. 2005]
برای ارزیابی کلی مدل رگرسیون و برآورد نیکویی برازش نیز از ضریب تعیین چندگانه اصلاح شده $R^2_{adjusted}$ و آزمون F -فیشر استفاده شده است.

۳-۱-۳ پیش‌فرض‌های زیربنایی رگرسیون خطی

فرض‌های متعددی از مدل رگرسیون خطی وجود دارد که هر

گرفت و برای پیش‌گویی مقدارهای آینده Y از آن استفاده کرد [Meshkani, 2017].

۳-۱-۱ اهداف تحلیل رگرسیون

به‌طور کلی تجزیه و تحلیل‌های رگرسیونی سه هدف عمده (۱) توصیف، (۲) کنترل و (۳) پیش‌بینی را ارائه می‌دهد [Kutner, et al. 2005]

(۱) توصیف رابطه: در واقع همان برازش مدل به داده‌ها است و رفتار متغیر Y براساس متغیر X را توصیف می‌کند؛ یعنی با تغییر نمرات X در آزمودنی‌ها، متغیر Y چه رفتاری را از خود نشان می‌دهد.

(۲) کنترل: در رگرسیون چندگانه می‌توان اثر منحصر به فرد یک یا چند متغیر پیش‌بین را پس از کنترل (تعدیل) یک یا چند متغیر کمکی مورد بررسی قرار داد.

(۳) پیش‌بینی: تعیین مقداری از متغیر پاسخ که جزو داده‌های مشاهده شده نیست. به عبارت دیگر پیش‌بینی بر اساس داده‌ها برای نمونه‌های آینده، که هدف اصلی در داده‌کاوی از طریق روش‌های آماری است را می‌توان انجام داد.

۳-۱-۲ رگرسیون خطی

رگرسیون خطی به دنبال مدل‌سازی رابطه بین یک متغیر وابسته Y با یک یا چند متغیر مستقل X است. توانایی بیان اینکه نحوه اثرگذاری X بر Y چگونه است از طریق پارامترهای مدل رگرسیون - مقادیر بتا - فراهم می‌شود. رگرسیون خطی برای دامنه وسیعی از مدل‌سازی ارتباط بین متغیرها مناسب است. به-علاوه، فرضیه‌های مدل رگرسیون خطی اغلب در بسیاری از کاربردهای عملی بسیار مناسب است. همچنین، خروجی مدل رگرسیون برای تفسیر و برقراری ارتباط با دیگران نسبتاً آسان بوده، و نیز برآورد عددی مدل‌های رگرسیون به‌نسبت ساده است و نرم‌افزار برای تخمین مدل‌ها در بسته‌های نرم‌افزاری غیرخصوصی قابل دسترس هستند [Washington, Karlaftis and Mannering, 2003].

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

محدودیت‌های مربوط به تفسیر مدل شناسایی شده و مستند گردند [Washington, Karlaftis and Mannering, 2003]. برای شناسایی هم‌خطی چندگانه جدی، اغلب از شاخص‌هایی نظیر عامل تورم واریانس^{۲۲} VIF یا تولرانس^{۲۳} استفاده می‌شود که تولرانس معکوس عامل تورم واریانس است. رابطه عامل تورم واریانس طبق رابطه (۲) است:

$$(VIF)_k = \frac{1}{1 - R_k^2} \quad (2)$$

که در آن R_k^2 ضریب تعیین مدلی است که در آن متغیر مستقل X_k روی سایر متغیرهای مستقل مدل، برازنده شده‌است. اگر بیشترین مقدار عامل تورم واریانس بزرگتر از ۱۰ باشد معمولاً به نشانه این مسئله در نظر گرفته می‌شود که هم‌خطی موجود در مدل، اثر نامطلوبی بر برآوردهای روش حداقل مربعات دارد. این عامل نشان می‌دهد که واریانس ضرایب تخمینی تا چه حد نسبت به حالتی که متغیرهای تخمینی همبستگی خطی ندارند، متورم شده است [Kutner et al, 2005]

۳-۱-۵ ملاحظات انتخاب حجم نمونه

اگرچه محققان پیشین، از تئوری‌ها و شبیه‌سازی‌های تعیین اندازه نمونه پیشنهادی برای به حداقل رساندن انقباض R^2 استفاده می‌کنند، نویسندگان دیگر به سادگی قوانین سرانگشتی را تعیین می‌کنند که بعضی از آنها ممکن است با یکدیگر ناسازگار باشد. برای فراهم کردن شرایطی که در آن انقباض R^2 حداقل شود، Pedhazur و Schmelkin (۱۹۹۱) اظهار دارند که مقدار ۳۰ به ۱ برای اندازه نمونه نسبت به تعداد متغیرهای پیش-بین یک مقدار محکم و اساسی است در حالی که Miller و Kunc (۱۹۷۳) نشان می‌دهند که نسبت ۱۰ به ۱ کافی است. دلیل تنوع بسیار زیاد پیشنهادها برای اندازه نمونه، کاربردهای متعدد MLR است [Knofczynski and Mundfrom, 2008].

مدل رگرسیون به‌طور ضمنی متکی بر این فرض‌هاست و باید به‌عنوان الزامات مورد توجه قرار گیرد. عدول از هر یک از این فرض‌ها می‌تواند استنباط و نتیجه‌گیری‌ها از تحلیل رگرسیونی را بی‌اعتبار سازد. در صورت عدول از این فرض‌ها برآورد پارامترها، نتیجه‌گیری از آزمون‌های فرضیه، و پیشگویی‌های انجام شده به کمک معادله رگرسیونی می‌توانند گمراه‌کننده باشند. بنابراین اطمینان از درستی فرض‌های زیربنایی بسیار مهم است (مشکانی، ۱۳۹۶). فرض‌های زیربنایی که مدل‌های رگرسیون خطی براساس آنها ساخته می‌شوند در ادامه آورده شده است [Washington, Karlaftis and Mannering, 2003]:

(۱) پیوستگی متغیر وابسته Y

(۲) رابطه خطی بین متغیر وابسته Y و متغیرهای مستقل X

(۳) استقلال مشاهدات و تصادفی بودن نمونه‌گیری

(۴) استقلال ترم خطا و امید ریاضی صفر خطا

(۵) توزیع نرمال تقریبی خطاها

(۶) عدم خودهمبستگی خطاها

(۷) ناهمبستگی رگرسورها و آشفتگی‌ها

۳-۱-۴ هم‌خطی چندگانه در رگرسیون خطی

هم‌خطی یعنی بین دو متغیر پیش‌بین همبستگی قوی وجود داشته باشد. هم‌خطی چندگانه^{۲۴} اصطلاحی برای توصیف وضعیتی در رگرسیون چندگانه است که در آن بین دو یا چند متغیر پیش‌بین همبستگی بالایی وجود داشته یا که متغیرهای مستقل با متغیرهای حذف شده مرتبط با متغیر وابسته نیز همبسته باشند [Washington, Karlaftis and Mannering, 2003]. این صورت ممکن است با وجود بالا بودن مقدار ضریب تعیین، مدل رگرسیون از اعتبار بالایی برخوردار نباشد. به عبارت دیگر با وجود آن‌که مدل رگرسیون خوب به‌نظر می‌رسد، ممکن است هیچ یک از متغیرهای مستقل اثر معنی‌داری در تبیین Y نداشته باشند. در این حالت باید اثرات ترک متغیرهای مرتبط در مدل و

۲-۳ تعریف و تعیین متغیرهای مدل

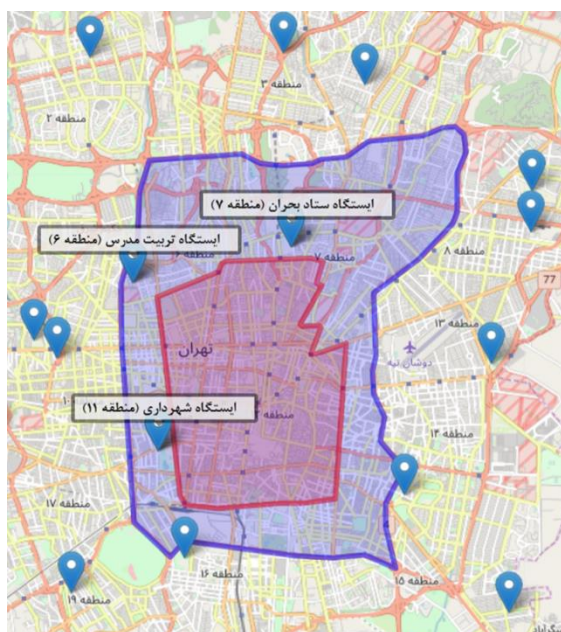
از آنجا که موضوع مورد بررسی پژوهش حاضر، بررسی اثرات حجم تردد ناوگان و تنوع آنها روی تغییرات در کیفیت آلودگی هوای شهری است، و مقیاس بررسی‌های این پژوهش از نوع ساعتی است، متغیر وابسته مدل‌سازی همان مقدار غلظت ساعتی آلاینده‌های هوا خواهد بود که به‌عنوان متغیر خروجی مدل تعریف می‌شود. متغیرهای مستقل مدل‌سازی که در دسته متغیرهای ورودی اصلی مدل قرار می‌گیرند شامل دو پارامتر هستند که یکی، پارامتر حجم تردد ساعتی ناوگان ترافیک شهری بوده و دیگری، پارامتر غلظت پس‌زمینه ساعتی است که متغیر خروجی مدل، حاصل از این دو متغیر ورودی اصلی خواهد بود و بنابر مباحث مطرح شده درباره رگرسیون خطی بدون عرض از مبدا، تمام مدل‌سازی‌های این پژوهش بدون مقدار عرض از مبدا در نظر گرفته می‌شوند. متغیرهای مستقل دیگری نیز تحت عنوان متغیرهای تعدیل‌گر در فرآیند مدل‌سازی وارد می‌شوند که بخش دوم متغیرهای مستقل ورودی مدل را تشکیل می‌دهند و آن‌ها همان پارامترهای هواشناسی هستند که اثر ثانویه‌ای روی میزان غلظت آلاینده‌های تولید شده هوا دارند و در دسته متغیرهای ورودی فرعی مدل جای می‌گیرند.

در پژوهش حاضر به دلیل عدم دسترسی به داده غلظت تمامی آلاینده‌های معیار هوا، تنها اطلاعات غلظت ساعتی دو آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2 که توسط ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوا در سراسر شهر تهران اندازه‌گیری می‌شوند، برای محدوده مکانی و زمانی پژوهش (که در ادامه اشاره خواهد شد) از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران اخذ گردیده است. برای ایجاد غلظت پس-زمینه ساعتی نیز با ایجاد تأخیر یک ساعته در غلظت‌ها، غلظت ساعت قبل هر نوع آلاینده به‌عنوان غلظت پس‌زمینه ساعتی آن آلاینده حاصل شد.

برای دستیابی به حجم تردد ساعتی خودروها در محدوده مکانی و زمانی پژوهش نیز، حجم شبانه‌روزی وسایل نقلیه برای محدوده مکانی و زمانی پژوهش که توسط دوربین‌های شناسا-گر^{۲۴} در شهر تهران اندازه‌گیری می‌شوند به تفکیک نوع ناوگان عبوری، از شرکت کنترل ترافیک تهران اخذ گردید. با توجه به تعدد ناوگان، جهت کاهش ابعاد و نیز پیچیدگی مدل، یک ساده-سازی روی دسته‌بندی ناوگان انجام می‌گیرد. جهت این دسته-بندی باید به نوع سوخت مصرفی در کنار کاربری توجه ویژه داشت؛ چرا که سطح انتشار آلاینده‌های مدنظر از خودروهای بنزینی به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از خودروهای دیزلی بوده و یکی از دسته‌بندی‌ها، تفکیک وسایل نقلیه بنزینی از دیزلی است؛ به‌علاوه، وسایل نقلیه دیزلی دارای دو طبقه کاربری متفاوت باری و مسافری هستند که باید این دو طبقه کاربری از هم جدا گردند که دسته‌بندی‌های دیگر، تفکیک وسایل نقلیه دیزلی مسافری از باری است. در نهایت ۳ نوع دسته‌بندی جهت حجم‌های ساعتی تردد ناوگان مختلف با نام‌های وسایل نقلیه بنزینی شخصی^{۲۵}، وسایل نقلیه دیزلی مسافری^{۲۶} و وسایل نقلیه دیزلی باری^{۲۷} مدنظر قرار می‌گیرد.

پارامترهای هواشناسی نظیر دما، رطوبت هوا و وزش باد می‌توانند روی میزان غلظت آلاینده‌های هوا به‌طور ثانویه اثرگذار باشند که باید اثر آن‌ها جهت مدل‌سازی غلظت آلاینده‌ها در کنار منابع انتشار دیده شود. بنابراین پارامترهای هواشناسی از سایت www.wunderground.com برای محدوده زمانی و مکانی پژوهش حاضر اخذ گردید. برای تحلیل‌ها، تمام ساعتی که در آن وزش باد و نیز هیچ‌گونه بارندگی اعم از بارش باران، برف، تگرگ و ...، وزیدن ماسه، گردوغبار و مه‌دود وجود ندارد مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا میزان غلظت آلاینده‌های تولید شده از منابع انتشار را دستخوش تغییرات نکند.

در جدول (۱) لیستی از مشخصات متغیرهای مدل‌ها و کاربرد در مدل‌سازی غلظت هر آلاینده و اجزای تشکیل دهنده هر کدام ارائه شده است.



شکل ۳. محدوده مکانی کلی پژوه

۳-۳ تعیین محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل محدوده مکانی و محدوده زمانی است که باید به آنها پرداخته شود. در وهله اول، محدوده مکانی کلی درون مناطق طرح زوج و فرد مناطق شهرداری تهران مطابق شکل ۳ انتخاب می‌شود. چرا که این دو منطقه از جمله مناطق شلوغ و پر رفت و آمد شهر تهران هستند که البته با اعمال اقدامات و سیاست‌های محدودیت در تردد وسایل نقلیه تا حدودی از میزان ازدحام ترافیکی و در نتیجه میزان آلودگی هوای آن‌ها کاسته شده است. محدوده زمانی کلی نیز روزهای مابین دو تاریخ ۱۳۹۵/۰۱/۰۱ الی ۱۳۹۶/۰۴/۱۵ است.

جدول ۱. متغیرهای تعریف شده در هر مدل سازی و جزئیات مربوط به هر یک

۳-۳-۲ محدوده مکانی				۳-۳-۱ محدوده زمانی		
با توجه به محدودیت در اخذ داده های هواشناسی و فقدان آن ها برای ایستگاه های هواشناسی داخل مناطق طرح زوج و فرد تهران، و تنها دسترسی به داده های ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد،				در بازه زمانی مذکور، برخی از روزها و ساعات به دلیل فقدان داده ها اعم از پارامتر ترافیکی، غلظتی و هواشناسی، حذف می گردند و بازه زمانی جدید محدود به ساعات روزهایی		
دسته پارامتر	نماد متغیر	تعریف متغیر	کاربر در مدل سازی	جزئیات	واحد اندازه گیری	
			آلاینده			
			SO ₂	PM _{2.5}		
غلظت پس زمینه	PM _{2.5} -BG	غلظت یک ساعت قبل PM _{2.5}	✓	-	-	μg/m ³
غلظت ساعتی	SO ₂ -BG	غلظت یک ساعت قبل SO ₂	✓	-	-	ppb
حجم تردد ساعتی ناوگان ترافیکی	V _{PGV}	حجم تردد ساعتی PGV (وسایل نقلیه بنزینی شخصی)	✓	-	خودروی شخصی - تاکسی و وانت - آمبولانس	veh/hr
	V _{PDV}	حجم تردد ساعتی PDV (وسایل نقلیه دیزلی مسافری)	✓	✓	مینی بوس - اتوبوس	veh/hr
	V _{HDV}	حجم تردد ساعتی HDV (وسایل نقلیه دیزلی باری)	✓	✓	کامیونت - کامیون - کشنده - یدک، نیمه یدک، تریلر	veh/hr
متغیرهای هواشناسی	T	دمای ساعتی هوا	✓	✓	شرایط آب و هوای شامل: هوای صاف - رعدوبرق - مه ابر پراکنده - قسمتی ابری -	°F
	RH	درصد رطوبت نسبی ساعتی هوا	✓	✓	اغلب ابری - تمام ابری - بدون باد	%

می شود که هر سه دسته داده مذکور با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند. علاوه بر این، به دلیل پالایش های انجام شده روی شرایط هواشناسی، نظیر انتخاب شرایط آرام باد (سرعت صفر کیلومتر بر ساعت باد) و شرایط آب و هوایی مدنظر (طبق جدول (۱))، محدوده زمانی پژوهش حاضر محدود به این ساعات خواهد شد.

باید از بین ایستگاه های کنترل کیفیت هوا ایستگاهی که فاصله نسبتاً نزدیکی تا ایستگاه هواشناسی مذکور دارد جهت بررسی های این پژوهش انتخاب گردد که ایستگاه کنترل کیفیت شهرداری منطقه ۱۱ برای مطالعه انتخاب می گردد. که در خیابان قزوین واقع شده است. در شکل ۴ موقعیت دوربین تردد شمار با شماره ۱۳۳۵۷ و ایستگاه کنترل کیفیت هوای منطقه ۱۱ نشان داده شده است.

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

پارامترهای هواشناسی روی میزان تغییرات غلظت آلاینده مدنظر است که تمام حالات ممکن برای وجود این دو متغیر به عنوان متغیر مستقل در مدل سازی شامل ۳ مدل زیر خواهد بود:

مدل های رویکرد اول:

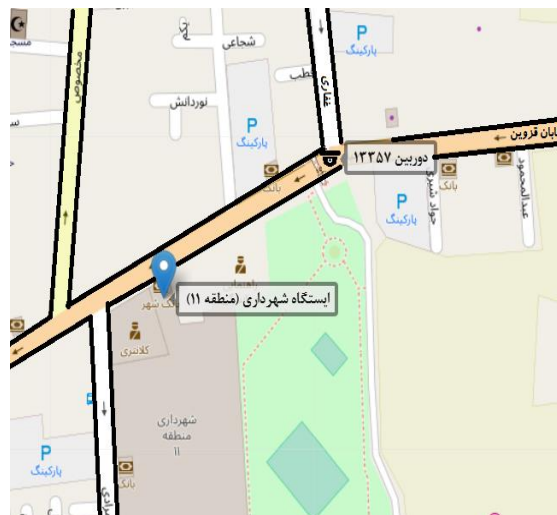
✓ مدل ۱: وجود هر دو متغیر دمای هوا (Temp) و درصد

رطوبت نسبی هوا (RH) در مدل سازی

✓ مدل ۲: وجود متغیر درصد رطوبت نسبی هوا (RH) در

مدل سازی

✓ مدل ۳: وجود متغیر دمای هوا (Temp) در مدل سازی



شکل ۴. محدوده مکانی نهایی پژوهش

رویکرد دوم با فرض عدم اثرگذاری ساعتی پارامترهای هواشناسی روی میزان تغییرات غلظت آلاینده مدنظر است. دلیل در نظرگیری این رویکرد این است که آلاینده های مدنظر پژوهش حاضر جزء آلاینده های اولیه هستند و علت اصلی تغییرات غلظت آنها در بازه های ساعتی نتیجه انتشارات ناشی از تردد ناوگان وسایل نقلیه در محدوده مکانی و زمانی این پژوهش است. از طرفی، نحوه و میزان اثرگذاری متغیرهای دما و رطوبت نسبی در تغییر غلظت آلاینده انتشار یافته در جو به صورت بازه های ساعتی در پژوهش ها و تحقیقات گذشته با استدلال های مبرهن و معقول مشخص نشده و در مدل سازی های آنها فقط روابط آماری معنی دار بین این متغیرها برقرار گردیده است؛ در حالی که پی بردن به رابطه علت و معلولی حقیقی بین متغیرهای هواشناسی و میزان غلظت آلاینده ها جهت اظهار نظر قطعی در مورد نحوه اثرگذاری این متغیرها روی میزان غلظت آلاینده ها مستلزم تحقیقات بیشتری است. بنابراین در این رویکرد مدل های ارائه شده به شرح زیر خواهد بود:

مدل های رویکرد دوم:

✓ عدم وجود متغیرهای دما (Temp) و درصد رطوبت

نسبی هوا (RH) در مدل سازی

در جدول های (۳) و (۴) به ترتیب انواع مدل سازی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2 و نتایج تحلیل آنها آورده شده است.

برای این محدوده زمانی و مکانی در پژوهش، کل مشاهدات با توجه به شرایط مدنظر آب و هوایی و فقدان در داده ها به شرح جدول (۲) خواهند بود که با داشتن ۶ متغیر مستقل در مدل سازی هر دو آلاینده و معیار حداقل ۱۰ عدد نمونه به ازای هر متغیر مستقل (یعنی ۶۰ عدد نمونه در کل) [Knofczynski and Mundfrom, 2008] معیار حداقل حجم نمونه لازم هم رعایت شده است. لازم به ذکر است که داده های پرت کنار گذاشته شده اند.

جدول ۲. تعداد مشاهدات کل، نمونه و تست در مدل سازی آلاینده

مدل سازی آلاینده	$PM_{2.5}$	SO_2
کل مشاهدات	۷۱۸	۷۸۵
نمونه (۸۰/کل)	۵۷۰ (>۶۰)	۶۲۸ (>۶۰)
آزمون و پیش بینی (۲۰/کل)	۱۴۸	۱۵۷

۴. مدل سازی و تحلیل نتایج

در تمام مدل ها، برای لحاظ نمودن اثرات دسته پارامترهای هواشناسی - شامل اثرات متغیرهای دما و رطوبت نسبی هوا - روی تغییرات میزان غلظت آلاینده ها دو رویکرد کلی در نظر گرفته شده است. رویکرد اول با فرض اثرگذاری ساعتی

جدول ۳. نتایج تحلیل رگرسیون خطی از اثر تردد انواع ناوگان وسایل نقلیه بر غلظت آلاینده $PM_{2.5}$

ارزیابی			Sig. ضریب مدل					مدل	رویکرد
خطا	رگرسیون	مدل	$*** p < 0.001 < ** p < 0.01 < * p < 0.05 < ^p < 0.1$						
<i>MSE</i>	<i>Sig.</i>	<i>F*</i>	<i>R²_a</i>	PM _{2.5} -BG	RH	Temp	V _H DV	V _P DV	
۳۱۲	۰/۰۰	۸۲۳	۰/۸۷۸	۰/۶۹۷*** VIF=4.23	۰/۱۴۷*** VIF=3.68	۰/۱۱۰*** VIF=4.18	-۰/۰۳۲ VIF=2.28	۰/۴۵۳ VIF=1.65	۱
۳۲۰	۰/۰۰	۹۹۶	۰/۸۷۵	۰/۷۵۲*** VIF=3.39	۰/۱۸۷*** VIF=3.32	-	۰/۲۰۷ VIF=2.13	۰/۵۸۴ VIF=1.65	۲
۳۲۳	۰/۰۰	۹۸۶	۰/۸۷۴	۰/۷۵۲*** VIF=3.58	-	۰/۱۴۹*** VIF=3.78	۰/۰۷۴ VIF=2.26	۰/۸۷۳ [^] VIF=1.61	۳
۳۴۲	۰/۰۰	۱۲۳۲	۰/۸۶۶	۰/۸۵۶*** VIF=2.07	-	-	۰/۴۷۷* VIF=2.05	۱/۲۴۳* VIF=1.59	۴

فرض اثرگذاری ساعتی
پارامترهای هواشناسی

فرض عدم اثرگذاری

جدول ۴. نتایج تحلیل رگرسیون خطی از اثر تردد انواع ناوگان وسایل نقلیه بر غلظت آلاینده SO_2

ارزیابی			Sig. ضریب مدل							مدل	رویکرد
خطا	رگرسیون	مدل	$*** p < 0.001 < ** p < 0.01 < * p < 0.05 < ^p < 0.1$								
<i>MSE</i>	<i>Sig.</i>	<i>F*</i>	<i>R²_a</i>	SO ₂ -BG	RH	Temp	V _H DV	V _P DV	V _P GV		
۱/۲۲۰	۰/۰۰	۵۲۷۳	۰/۹۸۱	۰/۸۶۵*** VIF=6.68	۰/۰۱۱*** VIF=3.82	۰/۰۰۷*** VIF=5.15	-۰/۰۱۱ VIF=2.96	۰/۰۱۹ VIF=1.91	۰/۰۰۱* VIF=4.17	۱	فرض اثرگذاری ساعتی پارامترهای هواشناسی
۱/۲۵۳	۰/۰۰	۶۱۶۰	۰/۹۸۰	۰/۸۹۹*** VIF=4.46	VIF=3.82	-	-۰/۰۰۳ VIF=2.91	۰/۰۱۴ VIF=1.91	۰/۰۰۲** VIF=3.88	۲	
۱/۲۸۴	۰/۰۰	۶۰۰۵	۰/۹۸۰	۰/۹۰۹*** VIF=4.76	-	۰/۰۰۷*** VIF=5.14	۰/۰۰۱ VIF=2.91	۰/۰۵۶^ VIF=1.84	۰/۰۰۱^ VIF=4.17	۳	
۱/۳۱۵	۰/۰۰	۷۳۲۶	۰/۹۷۹	۰/۹۴۲*** VIF=2.60	-	-	۰/۰۰۹ VIF=2.87	۰/۰۵۱ VIF=1.84	۰/۰۰۲** VIF=3.88	۴	فرض عدم اثرگذاری
۱/۳۳۴	۰/۰۰	۹۶۳۲	۰/۹۷۹	۰/۹۵۴*** VIF=2.18	-	-	۰/۰۳۷* VIF=2.06	۰/۰۸۰* VIF=1.69	-	۵	

تورم واریانس بالایی برای سه متغیر دما، درصد رطوبت و غلظت $PM_{2.5}$ پس زمینه ساعتی حاصل شده است. در مدل ۴ با در نظرگیری رویکرد دوم و فرض عدم اثرگذاری ساعتی پارامترهای هواشناسی در تغییرات غلظت آلاینده، هر دو متغیر

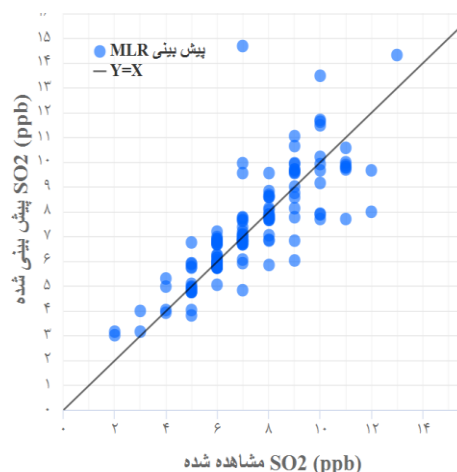
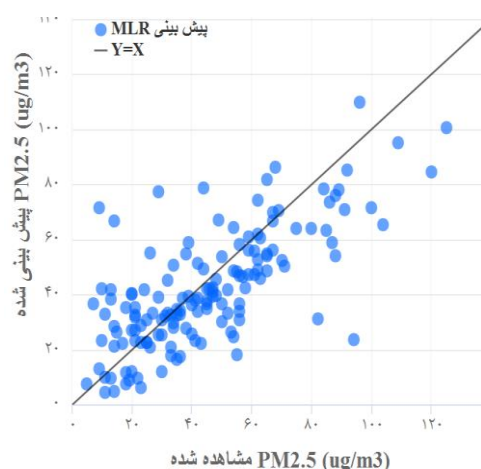
همان طور که از جدول (۳) برمی آید، هیچ کدام از مدل های رویکرد اول از نظر آماری اعتباری ندارند. چرا که در هر سه مدل ۱، ۲ و ۳ ضرایب متغیرهای احجام تردد معنی دار نشده که دلیل اصلی انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ هستند و از طرف دیگر عامل

۵. مسئله پیش‌بینی ساعتی غلظت آلاینده‌ها

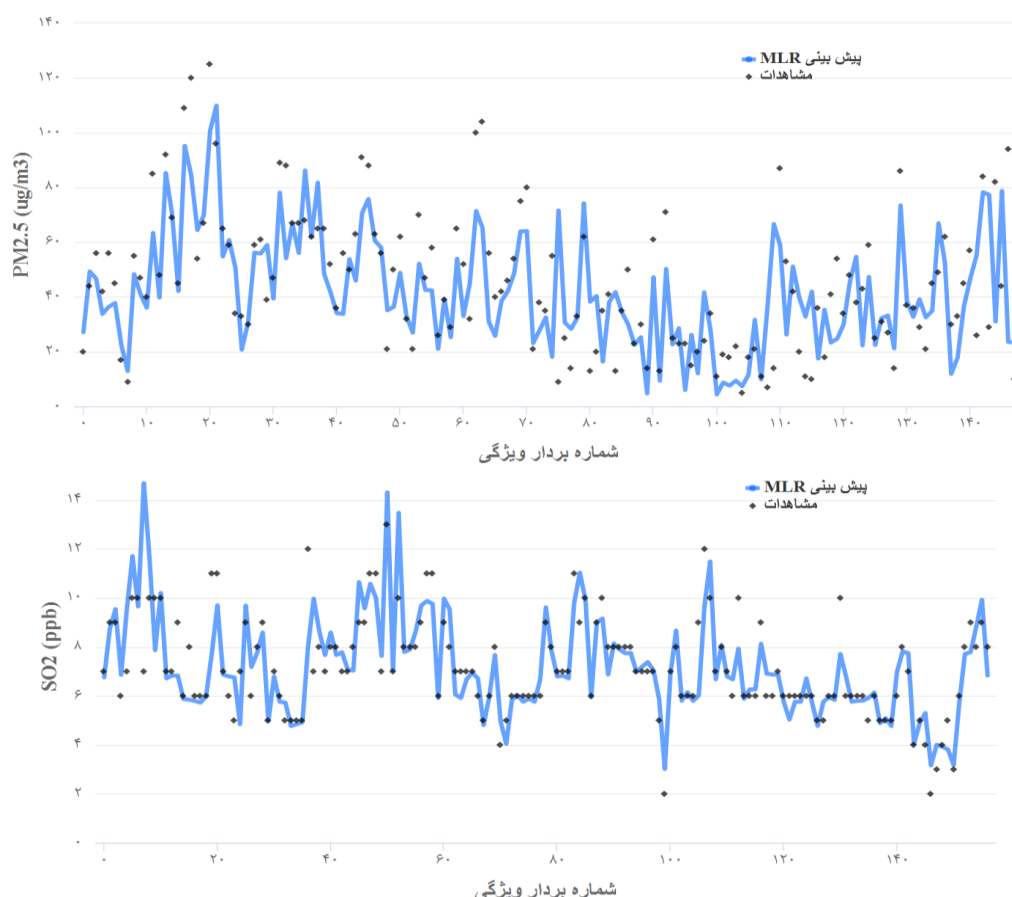
یکی از مسائل حائز اهمیت در شهرها و کلان‌شهرهایی که با معضلات و آثار زیان‌بار آلودگی مواجه هستند، مسئله اطلاع‌رسانی وضعیت آینده کیفیت هوا و میزان آلودگی هوای شهری به مردم است. این مهم می‌تواند از طریق پیش‌بینی‌های ساعتی یا حتی روزانه وضعیت آلودگی هوا میسر شود و از قرارگیری افراد جامعه در مکان‌های آلوده و تبعات جبران‌ناپذیر آن جلوگیری کند. بنابراین نیاز به پیش‌بینی وضعیت کیفی هوا و تخمین‌های کمی از غلظت آلاینده‌ها در پی آلودشد وسایل نقلیه احساس می‌شود که می‌تواند از روش‌های آماری، سری‌های زمانی و... به آن دست یافت. بنابراین بحث دیگری که در این پژوهش می‌تواند مطرح شود و با ارزش افزوده همراه باشد، مسئله پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوا است. بخشی از این هدف، از طریق پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌ها با توجه به احجام تردد ناوگان ترافیکی با مدل‌های ساخته شده این پژوهش قابل وصول است. ذکر این نکته ضروری است که پیش‌بینی مدنظر از نوع پیش‌بینی ساعتی است و تمام پیش‌بینی‌های این بخش، در محدوده زمانی مدنظر پژوهش انجام شده‌اند که شامل شرایط پایدار جوی و زمان‌های بدون وزش باد است. نتایج حاصل از پیش‌بینی‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است.

حجم تردد ساعتی ناوگان دیزلی باری و مسافری و نیز غلظت پس‌زمینه ساعتی در سطح خطا ۵ درصد معنی‌دار شده‌اند، مضاف بر اینکه عامل تورم واریانس هر سه متغیر نیز کم است و وجود هم‌خطی چندگانه در مدل ضعیف است.

نتایج مدل‌سازی اثر تردد ناوگان وسایل نقلیه مختلف بر تغییرات غلظت آلاینده SO_2 در جدول (۴) نیز همانند مدل‌سازی غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ نشان دادند که رویکرد دوم با فرض عدم تأثیرگذاری ساعتی متغیرهای دما و رطوبت نسبی نسبت به رویکرد اول (با مدل‌ها مفروض ۱، ۲ و ۳) در برآورد غلظت ساعتی آلاینده SO_2 برتری دارد. با فرض عدم اثرگذاری ساعتی پارامترهای هواشناسی روی غلظت آلاینده SO_2 ، مدل ۴ نیز از اعتباری برخوردار نیست چرا که متغیرهای اصلی احجام تردد ناوگان وسایل نقلیه دیزلی که منبع عمده انتشار آلاینده SO_2 هستند معنی‌دار نشده‌اند و متغیر حجم تردد ساعتی وسایل نقلیه بنزینی شخصی نیز با عامل تورم واریانس بالایی معنی‌دار شده که اعتبار نتایج را بی‌حاصل می‌کند. بنابر نتایج جدول (۴) در مدل ۵ با حذف ناوگان وسایل نقلیه بنزینی شخصی، سه پارامتر باقیمانده حجم تردد وسایل نقلیه دیزلی مسافری و باری و غلظت پس‌زمینه ساعتی آلاینده SO_2 با عامل تورم واریانس‌های قابل قبولی، در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار شده‌اند که نشان از تأثیرگذاری بسیار ناچیز ناوگان بنزینی در تولید آلاینده SO_2 دارد و با یافته‌های نتایج دیگر محققان همسو است.



شکل ۵. نمودارهای پراکنش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی رگرسیون خطی برای غلظت ساعتی دو آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2



شکل ۶. نمودارهای دنباله‌ای مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی رگرسیون خطی برای غلظت ساعتی دو آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2

۱. نتایج مدل‌سازی هر دو آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2 نشان داد که پارامترهای هواشناسی دما و درصد رطوبت نسبی هوا در ایجاد تغییرات ساعتی غلظتی این آلاینده‌ها بی تأثیرند.

۲. در حجم‌های تردد عبوری یکسان از ناوگان‌های مختلف، به‌طور متوسط ۷۲ درصد از انتشارات کل آلاینده $PM_{2.5}$ و ۶۸ درصد از انتشارات کل آلاینده SO_2 مربوط به ناوگان وسایل نقلیه دیزلی مسافری (شامل اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌ها) است و مابقی ۲۸ درصد انتشارات $PM_{2.5}$ و ۳۲ درصد انتشارات SO_2 مربوط وسایل نقلیه دیزلی باری (شامل انواع کامیون، تریلر، کامیونت و...) است.

۳. در هنگام عبور میانگین نسبت‌های حجمی تردد موجود در جریان ترافیک، به‌طور متوسط ۵۶ درصد از انتشارات کل آلاینده $PM_{2.5}$ و ۵۷ درصد از انتشارات کل آلاینده SO_2 مربوط به ناوگان وسایل نقلیه دیزلی باری است و مابقی ۴۴ درصد

همان‌طور که شکل‌های ۵ و ۶ برای مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده نشان می‌دهند، پیش‌بینی‌های هر دو آلاینده نسبتاً قابل قبول‌اند و به‌طور ویژه مدل رگرسیون برای پیش‌بینی غلظت آلاینده SO_2 از دقت بالاتری برخوردار است، چرا که در سطوح بالای غلظت، پیش‌بینی‌ها مقادیر مشاهده شده را رصد می‌کنند و که مقادیر بالای غلظت آلاینده بحران‌ساز هستند و در این شرایط است که نیاز به پیش‌بینی دقیق‌تر - جهت اطلاع‌رسانی عمومی و اتخاذ تصمیم‌های مدیریت ترافیکی و زیست‌محیطی - احساس می‌شود.

۶. نتایج

با مقایسه ضرایب رگرسیونی در مدل‌های غلظت دو آلاینده $PM_{2.5}$ و SO_2 نتایج حاصله را به شرح زیر می‌توان نوشت:

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

15. Congestion Conditions
16. Hu
17. Goyal
18. Observational
19. Experimental
20. Regression through the Origin (RTO)
21. Multicollinearity
22. Variance Inflation Factor (VIF)
23. Tolerance
24. Detector
25. Personal Gasoline Vehicles (PGV)
26. Passenger Diesel Vehicles (PDV)
27. Heavy Diesel Vehicles (HDV)

۹. مراجع

- Abdulsalam Othman, S. (2014) "Comparison between models with and Without Intercept", Journal of Gen. Math. Notes, Vol. 21, No. 1, pp. 118-127.
- Choudhary, A. and Gokhale, S. (2016) "Urban real-world driving traffic emissions during interruption and congestion", Journal of Transportation Research Part D, Vol. 43, pp. 59-70.
- Eisenhauer, J. G. (2003) "Regression through the origin", Journal of Teaching Statistics, Vol. 25, No. 1, pp. 76-80.
- Gallagher, J. (2016) "A modelling exercise to examine variations of NO_x concentrations on adjacent footpaths in a street canyon: The importance of accounting for wind conditions and fleet composition", Journal of Science of the Total Environment, Vol. 550, pp. 1065-1074.
- Goyal, P., Jaiswal, N., Kumar, A., Dadoo, J.K. and Dwarakanath, M. (2010). "Air quality impact assessment of NO_x and PM due to diesel vehicles in Delhi", Journal of Transportation Research Part D, Vol. 15, No. 45, pp. 298-303.

انتشارات PM_{2.5} و ۴۳ درصد انتشارات SO₂ مربوط وسایل-
نقلیه دیزلی مسافری است.

۴. مدل‌های رگرسیون خطی در پیش‌بینی ساعتی غلظت آلاینده‌ها
به‌طور نسبتاً قابل قبولی عمل می‌کنند به‌ویژه اینکه در برآورد
غلظت ساعتی آلاینده SO₂ دقت بالایی دارند.

۷. پیشنهادها

جهت انجام تحقیقات آینده، موضوعات زیر پیشنهاد می‌شوند:
۱. پیش‌بینی روزانه غلظت آلاینده‌ها با استفاده از مدل‌های
شبکه عصبی مصنوعی و نیز مدل‌های سری‌زمانی نظیر
ARMA، ARIMA و ...

۲. شبیه‌سازی اثرات معاینه فنی احجام ترافیکی در شبکه
معابر روی میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه-
سازی نظیر AIMSUN، CORFLO و VISSIM که میزان
انتشارات ترافیک شبیه‌سازی شده را در خروجی خود دارند،
۳. مدل‌سازی اثرات تردد ناوگان مختلف روی غلظت سایر
آلاینده‌های معیار هوا،
۴. شبیه‌سازی اثرات مدیریت سرعت تردد در معابر روی
میزان انتشار آلاینده‌ها در سطح جریان ترافیک.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Greenhouse Gases (GHG)
2. Concentrations of Pollutants
3. Suspended Particulate Matter (SPM)
4. Heavy Duty Vehicles (HDVs)
5. Engine Tests
6. Chassis Dynamometer Tests
7. Ligterink
8. Driving dynamics
9. Acceleration
10. Deceleration
11. Stop and Go
12. Intersection
13. Traffic Incidents
14. Work Zones

traffic intersections”, *Journal of Transportation Research Part D*, Vol. 14, No. 3, pp. 180-196.

-Pattinson, W., Longley, I. and Kingham, S. (2014) “Using mobile monitoring to visualise diurnal variation of traffic pollutants across two near-highway neighborhoods”, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 94, pp. 782-792.

-Paulikakos, L. D., Heutschi, K. and Soltic, P. (2013) “Heavy duty vehicles: Impact on the environment and the path to green operation”, *Journal of Environmental Science and Policy*, Vol. 33, pp. 154-161.

-Wang, Y., Hopke, P. K., Chalupa, D. C. and Utell, M. J. (2011) “Long-term study of urban ultrafine particles and other pollutants”, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 45, No. 40, pp. 7672-7680.

-Washington, S. P., Karlaftis, M. G. and Mannering, F. L. (2003) “Statistical and econometric methods for transportation data analysis”, Bosa Roca, United States: Taylor and Francis.

-Yu, C.H., (Tian) Fan, Z.-H., Lioy, P.J., Baptista, A. Greenberg, M. and Laumbach, R. (2016) “A novel mobile monitoring approach to characterize spatial and temporal variation in traffic-related air pollutants in an urban community”, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 141, pp. 161-173.

-براری، ک.، نظریور، الف. و صولت، ق. (۱۳۹۰) «مدلسازی و تخمین آلاینده‌های هوا ناشی از ترافیک شهری جهت افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف انرژی»، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، مقاله‌های همایش‌های ایران. تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-پورزاهدی، ح.، زارعی، ح. و کرمانشاه، م. «ارزیابی سیاست‌های مدیریت ترافیک شهری در وضعیت بحرانی آلودگی هوا

-Hu, S., Fruin, S., Kozawa, K., Mara, S., Paulson, S.E. and Winer, A.M. (2009). “A wide area of air pollutant impact downwind of a freeway during pre-sunrise hours”, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 43, No. 16, pp. 2541-2549.

-Keuken, M. P., Jonkers, S., Wilmink, I. R. and Wesseling, J. (2010) “Reduced NO_x and PM₁₀ emissions on urban motorways in The Netherlands by 80 km/h speed management”, *Journal of Science of the Total Environment*, Vol. 408, No. 12, pp. 2517-2526.

-Knofczynski, G. T. and Mundfrom, D. (2008) “Sample sizes when using multiple linear regression for prediction”, *Journal of Educational and Psychological Measurement*, Vol. 68, No. 3, pp. 431-442.

-Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J. and Li, W. (2005) “Applied linear statistical models”, Fifth Edition, New York: McGraw-Hill/Irwin.

-Ligterink, N. E., Tavasszy, L. A. and Lange, R. D. (2012) “A velocity and payload dependent emission model for heavy-duty road freight transportation”, *Journal of Transportation Research Part D*, Vol. 17, No. 6, pp. 487-491.

-Oh, C., Choi, J. and Jung, S. (2016) “Proactive vehicle emissions quantification from crash potential under stop-and-go traffic conditions”, *Journal of Transport Policy*, Vol. 49, pp. 86-92.

-Padró-Martínez, L.T., Patton, A. P., Trull, J. B., Zamore, W., Brugge, D. and Durant, J. L. (2012) “Mobile monitoring of particle number concentration and other traffic-related air pollutants in a near-highway neighborhood over the course of a year”, *Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 61, pp. 253-264.

-Pandian, S., Gokhale, S. and Ghoshal, A. K. (2009) “Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near

بررسی اثرات حجم تردد انواع ناوگان جریان ترافیک روی کیفیت هوای شهری

-مشکانی، م. (۱۳۹۶) «آمار و احتمال مهندسی»، ویرایش دوم، تهران: انتشارات فاطمی.

-نادری، م. و رهرو مستقیم، مهسا. (۱۳۹۲) «بررسی اثرات کیفیت بنزین و دیزل بر انتشار آلاینده‌ها از خودروهای سواری و سنگین»، تهران: شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران.

نمونه شهر شیراز"، مجله علمی مدیریت شهری، زمستان و پائیز ۱۳۸۱، دوره سوم، شماره ۱۲، ۱۱، ص ۵۴-۶۱.

-خلاصه سومین گزارش ملی وضعیت محیط زیست ایران (۱۳۸۳-۹۲) (۱۳۹۴)، تهران: سازمان حفاظت محیط زیست.

بهروز شیرگیر، درجه کارشناسی در رشته عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه آزاد قزوین و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران - راه و ترابری در سال ۱۳۸۴ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته عمران راه و ترابری از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی ترافیک و تحلیل داده های ترافیکی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه خوارزمی است.



محمد دلنواز، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست در سال ۱۳۸۶ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی محیط زیست از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان فناوری بتن و توسعه پایدار و رفع آلودگی های زیست محیطی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه خوارزمی است.



محمدرضا کاشی پزان قمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه قم و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری در سال ۱۳۹۶ را از دانشگاه خوارزمی اخذ نمود.

