ارزیابی تاثیر وسایل نقلیه سنگین بر جریان ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از آن در شبکه‌های درون شهری با استفاده از شبیه‌سازی ترافیکی

منصور حاجی حسینلو، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران.

سید علی قائمی (مسئول مکاتبات)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران،

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران.

E-mail: ghaemiali66@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۴

چکیده:

امروزه یکی از مشکلات اصلی کلان‌شهرها افزایش شدید آلودگی هوا است. جریان ترافیک نیز مهم ترین عامل افزایش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در مناطق درون شهری به شمار میرود، بنابراین مدیریت ترافیک می‌تواند به طور چشمگیری غلظت این آلاینده‌ها را کاهش دهد. با توجه به پیچیدگی رابطه بین جریان ترافیک و انتشار آلاینده‌ها، استفاده از شبیه‌سازی ترافیکی به منظور برآورد میزان انتشار آلاینده‌ها از جریان ترافیک ضروری به نظر می‌رسد. این مقاله به بررسی وضعیت جریان ترافیک و آلودگی هوای یک شبکه ترافیکی تحت تاثیر وسایل نقلیه سنگین می‌پردازد. شبکه مورد مطالعه این پژوهش قسمتی از منطقه ۷ شهرداری تهران است. شبکه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار AIMSUN شبیه سازی شده و میزان انتشار آلاینده‌های مختلف، زمان تأخیر، زمان توقف و میانگین سرعت جریان ترافیک تحت حضور وسایل نقلیه سنگین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به افزایش ۱۱ و ۱۲ درصدی غلظت آلاینده‌های و و ۲۱ درصدی نرخ زمان توقف در شبکه تحت حضور وسایل نقلیه سنگین اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی ترافیکی، آلودگی هوا، مدیریت ترافیک، جریان ترافیک.

۱. مقدمه

در سالهای اخیر در کشورهای جهان سوم، در حالی که رشد اقتصادی، عملکرد زیست محیطی و توسعه زیرساخت‌های شهری در این کشورها پیشرفت چندانی نداشته است، ولی تولید خودرو و میزان استفاده از آن به طور چشمگیری افزایش یافته و مشکلاتی را پدید آورده است. یکی از پیامدهای حمل و نقل، افزایش مصرف انرژی در این بخش است که خود موجب خسارت‌های زیست محیطی بسیاری می شود که می‌توان مواردی را مانند دگرگون شدن آب و هوای کره زمین و آلودگی هوای مناطق شهری نام برد. از آنجا که رشد ترافیک عمدتاً در مناطق شهری متمرکز است، منجر به افزایش تولید و انتشار گازهای آلاینده باغلظت‌های بالاتر در این مناطق شده است.

آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی کشور نشان می‌دهد در سال ۱۳۸۸، ۹۷ درصد منواکسیدکربن و ۷۹ درصد هیدروکربنهای منتشر شده در کشور مربوط به بخش حمل و نقل است. به طور خاص شهر تهران به دلیل رشد سریع جمعیت، ناوگان فرسوده خودروها، تعداد زیاد واحدهای صنعتی، عوامل جغرافیایی و هواشناسی منطقه با کاهش شدید کیفیت هوا روبرو شده است که در برخی موارد سطح بالای آلاینده‌ها مسئولین را مجبور به تعطیلی مدارس و تحمیل محدودیت‌های ترافیکی کرده است[Atash , 2007].

جریان ترافیک یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی است که برای سلامتی انسان زیان آور بوده و اثرات زیست محیطی بسیاری مانند آلودگی هوای ناشی از ترافیک و تأثیر آن بر سلامت عابران پیاده و دوچرخه سوارها را موجب می‌شود [Morabia, Amstislavski and Mirer, 2009] ، بنابراین یافتن عوامل ترافیکی مؤثر بر آلودگی هوا و بررسی میزان تأثیر آنها ضروری به نظر می‌رسد. در ادامه می‌توان به مدیریت ترافیک اشاره کرد که شامل اقدامات استراتژیک برای افزایش ایمنی، بهبود کیفیت جریان ترافیک و همچنین کاهش راهبندان‌های شبکه‌های درون‌شهری است که در پاسخ به مسائل آلودگی هوا نیز مؤثر عمل کرده است[Cai and Xie, 2011]. در چند دهه گذشته در شهرهای سراسر دنیا از اقدامات مدیریت ترافیک در جهت کاستن غلظت آلاینده‌های ناشی از خودروها استفاده شده است[Keuken et al. 2010] . تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که مدیریت ترافیک به طور چشمگیری در بهبود کیفیت هوا مؤثر بوده است.[Panis et al. 2011]

با توجه به سطح بالای غلظت آلاینده‌ها در کلان شهرها، تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها از جریان ترافیک، شبیه‌سازی جریان ترافیک و تأثیر اقدامات مختلف ترافیکی بر آلودگی هوای شبکه‌های درون شهری صورت گرفته است.[Stoelhorst, 2008] که از آن جمله می‌توان به مطالعه ژیا در جزیره هنگ کنگ اشاره کرد[Xia and Shao, 2004] . در مطالعه‌ای دیگر، اسمیت به بررسی اثر تراکم بر جریان ترافیک پرداخت[Smit et al, 2008] و هرتل نیز انتشار اکسید نیتروژن از ترافیک را ارزیابی کرد[Hertel et al. 1995] .

با بررسی این گونه مطالعات می‌توان از میزان تأثیر اجرای طرح‌هایی همچون طرح محدوده ترافیکی، طرح زوج و فرد و یا دیگر طرح‌های ترافیکی بر میزان انتشار ناشی از خودروها، آگاهی یافت[Cai et al. 2011]. یکی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه مطالعه‌ای بود که در سال ۲۰۰۹ در شهر پکن انجام شد.[Wang et al. 2009]

در بسیاری از پژوهش‌ها نیز به بررسی رابطه سرعت جریان ترافیک و انتشار آلاینده‌ها از خودروها پرداخته شده است. به طور کلی مدیریت سرعت باعث کاهش آلاینده‌ها می‌شود، به همین علت بسیاری از کشورها مانند انگلستان، اسپانیا، سوئد، پرتغال و هلند برای بهبود کیفیت هوا از طرح مدیریت سرعت بهره می‌برند [Mountain et al. 2005]و .[Keller et al. 2008]

علاوه بر میانگین سرعت، یکی دیگر از دلایل تولید آلاینده‌ها، افزایش و کاهش سرعت است، همان طور که جریان ترافیک از نوع توقف – حرکت در مقایسه با جریان روان و یکنواخت ترافیک به مراتب دارای غلظت آلاینده بیشتری است. بنابراین جریان ترافیک را با دو عامل میانگین سرعت و تغییرات سرعت می‌توان شناخت که در اصطلاح، پویایی ترافیک گفته می‌شود، یعنی جریان‌های ترافیکی که به صورت متراکم و توقف–حرکت هستند، دارای پویایی بالا و ترافیکهایی که به صورت روان و شناور هستند، دارای پویایی پایینی هستند. ترافیکهای پویاتر آلاینده‌های بیشتری منتشر می‌کنند.[Wesseling et al. 2003] همچنین مطالعات شبیه‌سازی ارتباط تنگاتنگی میان مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها با بهینه‌سازی زمان بندی چراغ‌های راهنمایی نشان می‌دهد[Coelho et al. 2005] و [Gokhale et al. 2011].

پیشرفتهای اخیر در فناوری‌های رایانه‌ای و تئوری جریان ترافیک سبب شده است که مهندسان ترافیک و برنامه ریزان حمل و نقل به طور گسترده‌ای از مدلهای شبیه‌سازی شده در برنامه ریزی، بهره برداری و طراحی تسهیلات حمل و نقل استفاده کنند. علاوه بر سودمندی شبیه‌سازی ترافیکی در تحلیل شرایط موجود و هزینه کمتر نسبت به آزمایش‌های محلی، بیشتر مدلهای شبیه‌سازی ترافیکی شامل قابلیت نمایش دیداری عملیات ترافیکی هستند، در صورتی‌که در گذشته شرایط ترافیکی فقط در قالب اعداد و کلمات توصیف می‌شدند.

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر جریان ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در شبکه‌های ترافیکی درون‌شهری با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Aimsun بوده است. محدویت‌ها و فرضیات این تحقیق را این‌گونه می‌توان بیان کرد: به دلیل وسعت و موقعیت ارتباطی شبکه مورد بررسی، وجود تعداد زیاد خیابانهای فرعی و در دسترس نبودن اطلاعات دقیق مربوط به حجم بیست و چهار ساعته ترافیک این خیابانها، از شبیه‌سازی خیابانهای فرعی و کوچه‌ها صرف نظر شد. همچنین به علت وسعت محدوده مورد مطالعه، شیب دقیق همه معابر در نظر گرفته نشده است. از دیگر محدودیت‌های این پژوهش عدم دسترسی به میزان دقیق انتشار آلاینده‌های خودروها بوده است، به همین دلیل ناوگان ترافیکی مقاله پیش رو شامل سه نوع خودرو بوده که بیشترین سهم را در تعداد خودروهای موجود دارند. همچنین اطلاعات به دست آمده از آنان مربوط به چند آزمایش برای هر نوع خودرو بوده است، حال ممکن است با توجه به نوسانات خط تولید، عدد به دست آمده از یک آزمایش مقایسه‌کننده مناسبی برای همه خودروهای مشابه نباشد. در این تحقیق تاثیر پارامترهای هواشناسی بر توزیع و پراکنش آلاینده‌ها نیز مدنظر قرار نگرفته است.

۲. روش تحقیق

در این مطالعه پس از جمع آوری داده‌ها و پردازش آن‌ها، نخست برای تشخیص آلاینده‌های ترافیکی به مقایسه روند تغییرات غلظت آلاینده‌های اندازه‌گیری شده توسط ایستگاههای سنجش آلودگی هوا با جریان ترافیک پرداخته شد. سپس شبکه ترافیکی مورد مطالعه توسط نرم افزار Aimsun شبیه‌سازی و اطلاعات مربوطه وارد نرم افزار شد. شبکه ترافیکی مورد مطالعه با دو سناریوی ترافیکی مختلف، یک بار با حضور وسایل نقلیه سنگین و بار دیگر بدون حضور وسایل نقلیه سنگین به منظور بررسی تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر کیفیت جریان ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌های ترافیکی با استفاده از مدل نرخ انتشار آقای Pains مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲-۱ داده های ورودی

۲-۱-۱ مشخصات شبکه مورد مطالعه

در این مقاله تلاش شده با انتخاب نمونه مطالعاتی مناسب رابطه

کیفیت جریان ترافیک و آلودگی هوا با تغییرات حضور وسایل نقلیه سنگین در شبکه ترافیکی درون شهری مشخص شود. برای گزینش شبکه مورد مطالعه نیاز به محدوده‌ای بود که دارای شرایط ترافیکی گوناگونی بوده و اطلاعات مربوط به حجم خودروها و درصد گردشهای آنان در تقاطع‌ها در ۲۴ ساعت شبانه‌روز در دسترس باشد. این شبکه از سمت شرق به خیابان سهروردی، از سمت غرب به خیابان ولیعصر، از شمال به خیابان خرمشهر و از جنوب به خیابان مطهری محدود می شود و شامل خیابانهای هویزه، بهشتی، اندیشه، صابونچی، مفتح، قائم مقام، میرزای شیرازی و قسمتی از بزرگراه مدرس می شود. این شبکه شامل ۲۰ تقاطع همسطح و ۲ تقاطع غیر همسطح است که از این تعداد ۱۸ تقاطع، چراغ دار هستند. در گام اول، نقشه محدوده مورد مطالعه از شهرداری تهران در فرمت فایل Auto Cad دریافت شد. سپس به منظور به روز رسانی نقشه دریافت شده، جزئیات تقاطع‌ها و معابر موجود در شبکه، با عکس‌های هوایی به دست آمده از Google Earth مقایسه شد، همچنین نقشه‌ها با بازدید محلی مورد بررسی قرار گرفتند تا هرگونه تغییر احتمالی در شبکه مورد اصلاح قرار گیرد، شکل۱ محدوده شبکه را نشان می‌دهد.

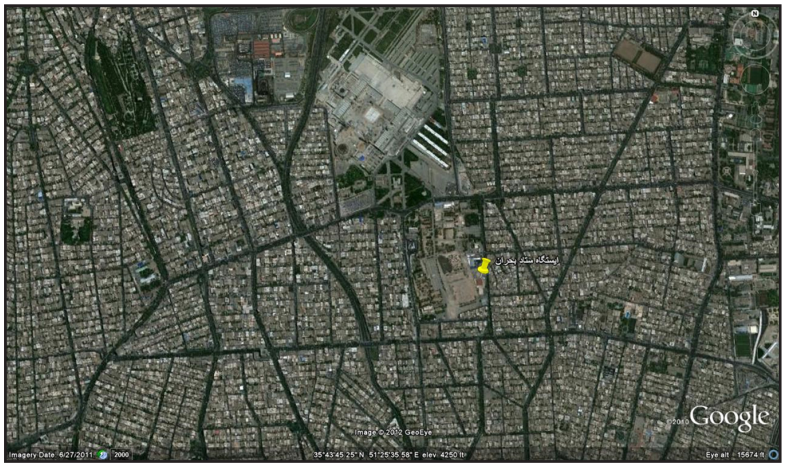
۲-۱-۲ پارامترهای ترافیکی

حجم تردد خودروها در معابر شبکه مورد مطالعه یکی از پارامترهای مؤثر بر میزان انتشار آلاینده‌ها است. به این منظور از حجم ۲۴ ساعته گروه خطهای[1] مختلف در تقاطع‌های چراغ دار شبکه که توسط شمارشگرها[2] جمع آوری شده، استفاده شد. آمار حجم وسایل نقلیه در روز ۱۳/۱۲/۱۳۹۰ به صورت بازه‌های زمانی یک ساعته در رویکردهای مختلف تقاطع‌های شبکه مطالعاتی از شرکت کنترل ترافیک شهرداری تهران اخذ شد.

۲-۱-۳ مشخصات خودروها

مشخصات فیزیکی وسایل نقلیه و میزان انتشار آلاینده‌ها توسط خودروهای موجود در ناوگان ترافیکی کشور از دیگر اطلاعات مورد نیاز برای این پژوهش بوده است که در این مطالعه از اطلاعات مربوط به سه خودرو که بیشترین سهم را در ناوگان ترافیکی شهر تهران به خود اختصاص می‌دهند، استفاده شده است.

سپس به جهت آنکه خصوصیات وسایل نقلیه، نقش بسزایی در تمامی خصوصیات ترافیکی و زیست محیطی شبکه مورد مطالعه دارند با مراجعه به پایگاه اینترنتی شرکتهای ایران خودرو[3] و



شکل ۱. شبکه ترافیکی مورد مطالعه

جدول ۱. سهم وسایل نقلیه شماره گذاری شده در شهر تهران

نوع وسایل نقلیه	پراید	پژو	پژو۲۰۶	پیکان	تندر ۹۰	ریو	سمند	زانتیا
سهم(%)	۲۷	۲۲	۱۹	۱	۸	۶	۱۰	۷

ساپیا[۴] مشخصات فیزیکی مورد نیاز این وسایل نقلیه استخراج شد، همچنین برای مطابقت هر چه بیشتر مدل شبیه‌سازی شده با شرایط واقعی موجود، سهم وسایل نقلیه مختلف شماره گذاری شده در تهران از مرکز شماره گذاری پلیس راهور ناجا دریافت شد که در جدول ۱ قابل مشاهده است. در ادامه بر اساس نسبت‌های به دست آمده، خودروها در نرم افزار Aimsun شبیه سازی شدند. اطلاعات مربوط به انتشار آلاینده‌های وسایل نقلیه نیز از شرکت بازرسی کیفیت و استاندارد ایران و مرکز تحقیقات و آزمون آلایندگی خودرو گرفته شد.

۲-۲ شبیه‌سازی

در گام نخست شبیه‌سازی، نقشه محدوده مطالعاتی در محیط نرم افزار Aimsun با فرمت CAD وارد شد، سپس عکس هوایی محدوده مطالعاتی دریافتی از Google Earth وارد نرم افزار شد تا جزئیات بیشتری قابل مشاهده باشد، در ادامه عکس و نقشه موجود با مقیاس مناسب بر روی یکدیگر منطبق شدند. حال با در اختیار داشتن نقشه شبکه مورد مطالعه، می‌توان به ترسیم شبکه ترافیکی در محیط نرم‌افزار پرداخت و اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی شبکه، پارامترهای ترافیکی و مشخصات فنی خودروها را وارد نرم‌افزار کرد.

۲-۲-۱ پیاده‌سازی اطلاعات ورودی در نرم‌افزار

در نرم افزار Aimsun وارد کردن حجم ترافیک به دو صورت امکان‌پذیر خواهد بود که عبارتند از:

- **روش حجم جریان ترافیک[۵]**

در این روش حجم خودروهای ورودی به معابر شبکه، وارد نرم افزار شده، سپس اطلاعات مربوط به گردش در تقاطع‌ها، برای تمامی تقاطع‌ها وارد می‌شود، در ادامه نرم‌افزار بر اساس همین اطلاعات خودروها را در شبکه توزیع می‌کند. در این مقاله با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به حجم گروه خط‌ها در تقاطع‌ها و درصد توزیع خودروها در تقاطع‌ها، برای ورود اطلاعات از این روش بهره گرفته شد.

*** روش ماتریس مبدأ – مقصد[۶]**

در این روش چندین مرکز تولید و جذب سفر تحت عنوان Centroid در شبکه تعریف می شود، سپس اطلاعات کلی که از هر مبدأ چه تعداد خودرو به کدام مقصد می‌رود را تحت یک ماتریس تعریف کرده، سپس نرم افزار بر اساس ماتریس‌های تعریف شده خودروها را در سراسر شبکه توزیع می‌نماید.

همچنین باید در تمامی تقاطع‌ها، گروه خط و حق تقدم‌ها و برای تقاطع‌های چراغدار نیز فازهای تقاطع و زمانبندی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی تعریف شود. سپس شبیه‌سازی هندسی و جانمایی جزئیاتی مانند تابلوهای حق تقدم، VMS، شمارشگرها و ... در شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد .

۲-۲-۲ مدل محاسبه میزان نرخ انتشار آلاینده‌ها

نرم‌افزار Aimsun برای محاسبه نرخ انتشار آلاینده‌های ناشی از جریان ترافیک بر اساس میزان انتشار هر نوع آلاینده از خودروهای مختلف در شرایط گوناگون هندسی شبکه و خصوصیات فیزیکی و آلایندگی هر نوع وسیله نقلیه و همچنین شرایط ترافیکی شبکه عمل می‌کند.

این نرم‌افزار میزان انتشار آلاینده‌های مختلف از خودروها را براساس شش فاکتور مربوط به نوع خودرو و نوع سوخت مصرفی خودرو در سه حالت افزایش شتاب، کاهش شتاب و حالت سکون از کاربر می‌گیرد. سپس بر اساس شیب معابر و سرعت جریان ترافیک میزان انتشار هر خودرو را به طور نهایی محاسبه می کند. تئوری‌های محاسبه میزان انتشار هر خودرو در این نرم‌افزار بر اساس مطالعات و نتایج پژوهش‌های آقای Pains و همکاران بوده است. به طور مختصر روابط و نحوه محاسبه نرخ انتشار هر خودرو عبارتند از:

$$ER_{seg} = \frac{E_{seg}}{L_{seg} \times t_{seg}} \qquad (۱)$$

$$E_{seg} = \sum EF_i \times VP_i \times L_{seg}$$

$$t_{seg} = \frac{L_{seg}}{V_{seg}} \times 3600 \quad (۲)$$

$$ER_{seg} = \frac{\sum EF_i \times VP_i \times V_{seg}}{3600 \times L_{seg}} \quad (۳)$$

(۴)

ER_{seg} : نرخ انتشار

L_{seg} : طول

V_{seg} : سرعت طرح

VP_i : تعداد هر نوع خودرو

E_{seg} : انتشار

t_{seg} : زمان سفر

ER_i : نرخ انتشار هر خودرو

البته عدد به دست آمده از روابط بالا با تاثیر عوامل گوناگونی شامل اثر شیب، شتاب، نوع خودرو و سوخت مصرفی توسط نرم‌افزار اصلاح می شود.

۲-۲-۳ روند کلی شبیه‌سازی

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر جریان ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌ها، دو سناریو ترافیکی در نظر گرفته شد. سناریو اول شبیه‌سازی شبکه ترافیکی مورد مطالعه با حضور وسایل نقلیه سنگین و سناریو دوم شبیه‌سازی شبکه ترافیکی بدون حضور وسایل نقلیه سنگین است. سپس تمامی اطلاعات ورودی به نرم افزار و همچنین نوع خروجیهای مورد نیاز در هر دو سناریو تعریف می شود که با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار مزوسکوپیک Aimsun در شبیه‌سازی، خروجی‌هایی از جمله میانگین سرعت جریان ترافیک، زمان تاخیر، زمان توقف و نرخ انتشار آلاینده‌های ترافیکی مدنظر قرار گرفتند. در ادامه با توجه به وسعت شبکه مطالعاتی، دقت اطلاعات ورودی به شبکه و همچنین دقت مورد نیاز برای محاسبه خروجی‌های نرم افزار، از نرم‌افزار خواسته شد به تعداد دفعات معینی به آنالیز، تجزیه و تحلیل شبکه و انجام محاسبات مربوط به خروجی‌های شبکه بپردازد.

شایان ذکر است با توجه به عدم توانایی نرم افزار Aimsun در شبیه‌سازی توقف یک خودرو در شبکه، از استراتژی‌ها و خط مشی‌های مدیریتی ترافیک این نرم افزار استفاده شد، به طوری که شبیه‌سازی توقف یک کامیون در شبکه با Section incident به مدت زمان توقف وسیله نقلیه در شبکه تعریف می شود.

Section incident یکی از استراتژی‌های تصادف ترافیکی نرم افزار است که طبق تعریفی که توسط کاربر صورت می‌گیرد یک یا چند خط خیابان را در مکانی از شبکه، در زمان مشخص و یا با توابع احتمالات و به مدت زمان تعیین شده مسدود می‌کند و دیگر خودروها اجازه عبور از آن مقطع را ندارند.

۳. نتیجه‌گیری

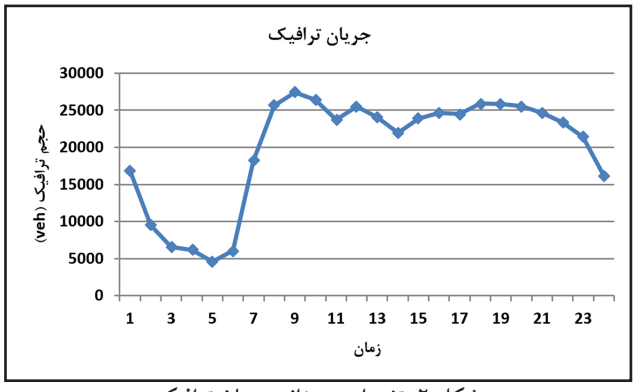
در این پژوهش نخست به مقایسه روند تغییرات غلظت آلاینده‌های مختلف که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا اندازه‌گیری شده‌اند، با جریان ترافیک پرداخته می‌شود. با این ارزیابی آلاینده‌هایی که می‌توان با اقدامات مدیریت ترافیک، از میزان غلظتشان کاست، شناسایی می‌شوند. بعد از شبیه‌سازی شبکه مورد مطالعه، حضور وسایل نقلیه سنگین در شبکه ترافیکی درون شهری بر میزان کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱ مقایسه تغییرات غلظت آلاینده‌های مختلف با تغییرات حجم جریان ترافیک

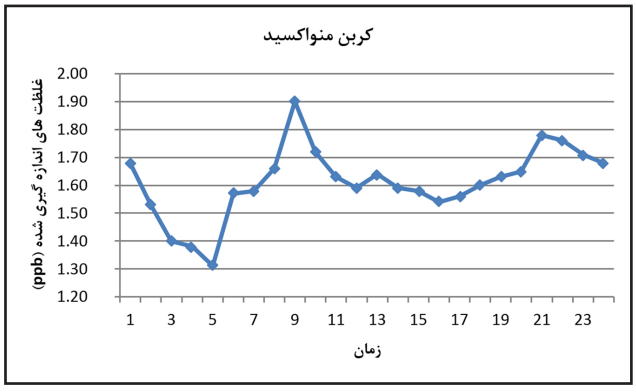
برای تشخیص آلاینده‌هایی که به طور مستقیم ناشی از جریان ترافیک بوده، از آلاینده‌هایی که انتشارشان به طور کامل ناشی از جریان ترافیک نبوده و میزان غلظت آنها به منابع دیگر انتشار نیز مربوط می شود، به مقایسه روند تغییرات غلظت آلاینده‌های گوناگون با تغییرات جریان ترافیک در طول شبانه روز پرداخته می‌شود. شکل ۲ تغییرات روزانه جریان ترافیک را نشان می‌دهد که اگر با تغییرات روزانه آلاینده‌ها مقایسه شود، می‌تواند تفسیرهای

منطقی را به دنبال داشته باشد. کردار غلظت آلاینده منو اکسید کربن در شکل ۳ ارایه شده است، این کردار روند نزدیکی را به تغییرات جریان ترافیک نشان می‌دهد، این شباهت مشخص می‌کند که منواکسید کربن یک آلاینده اولیه است که به طور قطع متأثر از انتشار جریان ترافیک شبکه است. با توجه به کردار شکل‌های ۴ و ۵ که مربوط به غلظت آلاینده‌های بنزن و اکسیدهای نیتروژن است، مشخص می‌شود که انتشار این آلاینده‌ها نیز ناشی از جریان ترافیک بوده است.

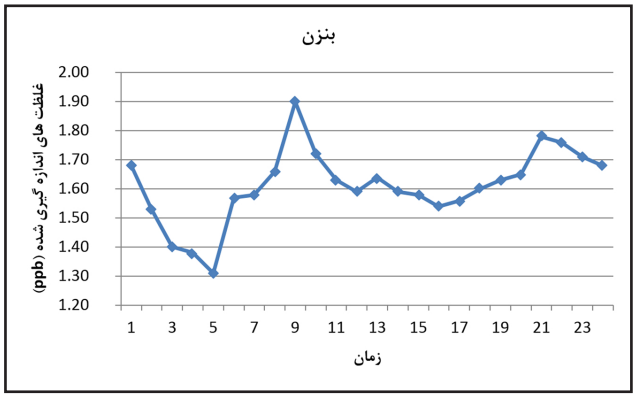
میزان غلظت اندازه‌گیری شده هر سه آلاینده در طول روز افزایش یافته و دارای مقادیر بالایی است و در شب که حجم جریان ترافیک کم است، دارای مقادیر پایینی بوده‌اند. در صورتی که غلظت ازن رابطه مشخصی با کردار جریان ترافیک ندارد و بیشتر ناشی از عواملی همچون تابش و درجه حرارت است، که می‌توان نتیجه گرفت برای کاهش این آلاینده هیچکدام از راهکارهای



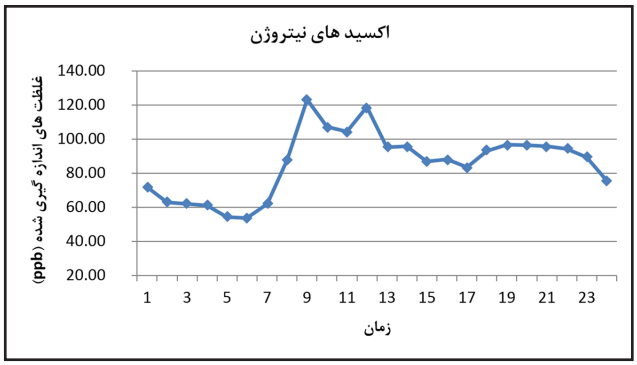
شکل ۲. تغییرات روزانه جریان ترافیک



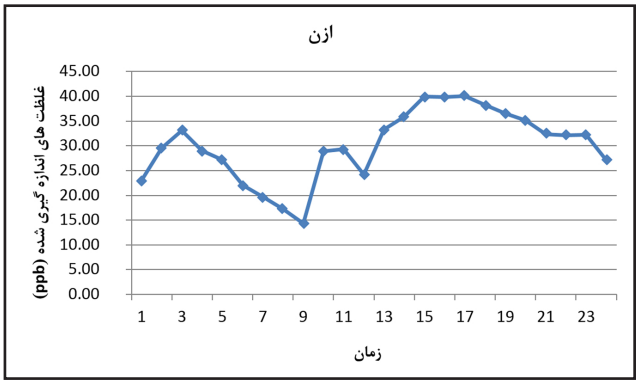
شکل ۳. تغییرات روزانه میزان غلظت کربن مونو اکسید



شکل ۴. تغییرات روزانه میزان غلظت بنزن



شکل ۵. تغییرات روزانه میزان غلظت اکسیدهای نیتروژن



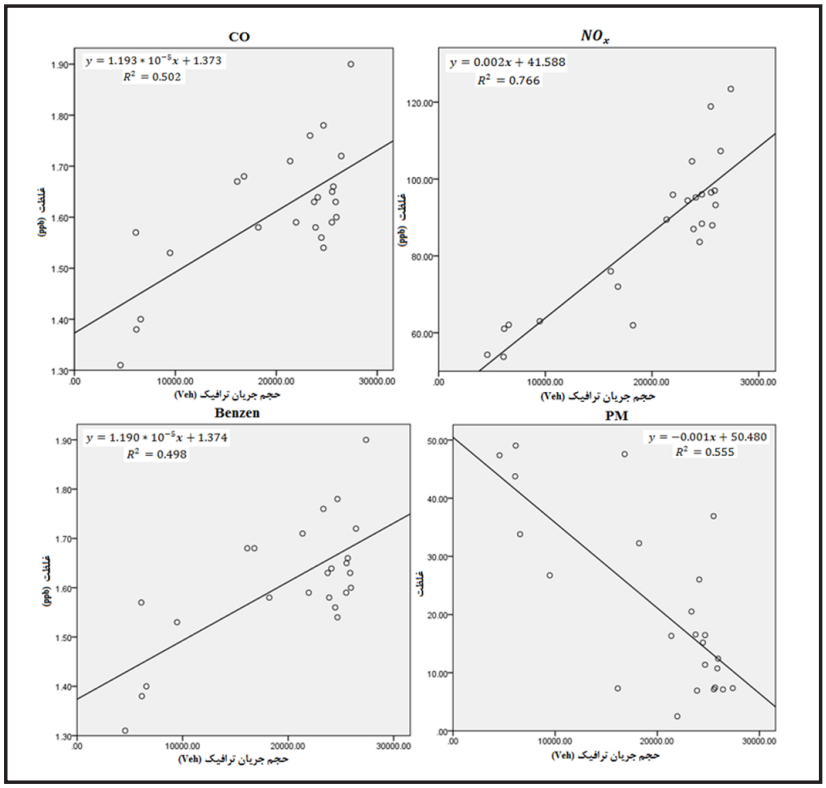
شکل ۶. تغییرات روزانه میزان ازن

مدیریتی ترافیک مؤثر نیست.

به منظور بررسی آماری رابطه میان انتشار آلاینده‌ها و جریان ترافیک، رابطه خطی میان غلظت آلاینده‌های موجود در شبکه و جریان ترافیک ایجاد می‌شود. در اشکال زیر غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده‌های CO، PM و VOC در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز بر روی محور عمودی و حجم جریان ترافیک شبکه منطقه هفت بر روی محور افقی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، معادلات رگرسیون خطی و ضریب تعیین در هر شکل برای آلاینده‌های مختلف آورده شده است. با توجه به کردارهای شکل ۷ می‌توان مشاهده کرد که انتشار آلاینده‌های مونواکسیدکربن، هیدروکربن‌های فرار، ذرات معلق و اکسیدهای نیتروژن متاثر از جریان ترافیک هستند. به طوری که ضریب تعیین برای آلاینده، ۰/۷۶۶ بوده و این به معنی آن است که با یک واحد تغییر حجم ترافیک، غلظت اکسیدهای نیتروژن ۰/۷۶۶ واحد تغییر می‌کند. ضریب تعیین برای آلاینده‌های PM، CO و Benzen نیز به ترتیب ۰/۵۵۵، ۰/۵۰۲ و ۰/۴۹۸ است. در صورتی که ضریب تعیین ازن ۰/۰۳۸ بوده و این نشان می‌دهد که میزان انتشار این آلاینده ناشی از عوامل دیگری بوده است.

۳-۲ اثرات وسایل نقلیه سنگین بر جریان ترافیک و انتشار آلاینده‌ها

در مقاله پیش رو تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر پویایی جریان ترافیک، پارامترهای ترافیکی(زمان سفر، زمان تأخیر و سرعت) و نرخ انتشار مورد مطالعه قرار گرفته است. در شهر تهران برای ورود کامیونهای با طول بلند به شبکه درون‌شهری محدودیت‌های زمانی وجود دارد، که این وسایل فقط از ساعت ۲۳ تا ۵ بامداد اجازه تردد در سطح شهر را دارند. سایر کامیونهای با طول کمتر که بیشتر شامل کامیونهای پخش و توزیع مواد غذایی هستند دارای محدودیت خاصی نیستند. این کامیون‌ها در طول شبانه‌روز در شبکه‌های ترافیکی درون شهری تردد دارند و برای تخلیه بار و بارگیری توقفهای گاه بلند مدتی در نقاط مختلف شبکه



شکل ۷. مقایسه غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده‌ها با جریان ترافیک

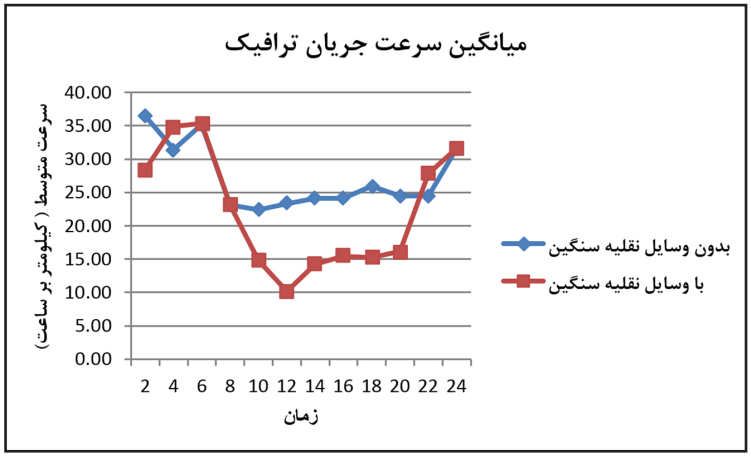
بخصوص در خط سه و گاهاً به صورت موازی در خط دو دارند. در این مدل سعی شد تردد کامیونها در شبکه و همچنین توقفشان شبیه‌سازی شود. برای شبیه‌سازی کامیونها نیاز به اطلاعات مربوط به حجم ترافیک ۲۴ ساعته وسایل نقلیه سنگین است که با توجه به موجود نبودن این اطلاعات، از بازدید محلی و همچنین تخمین توزیع آنها با توجه به دسترسی به آمار کلی تردد کامیونها استفاده شد.پس از شبیه سازی شبکه، شبکه توسط نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل گرفت. آنچه واضح است ورود کامیونها و توقفشان در شبکه، باعث افزایش پویایی ترافیک می‌شود و جریان ترافیک بیشتر به سمت جریان توقف- حرکت میرود. همان طور که مشخص است هرچه ناوگان ترافیکی ناهمگونتر باشد، پیوستگی و استمرار جریان کاهش یافته و جریان بیشتر به سمت جریان متراکم میرود، در ادامه با ورود کامیونها به شبکه، پویایی ترافیک افزایش میابد. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن شد تا با استفاده از شبیه سازی، تأثیر وسایل نقلیه سنگین در پویایی ترافیک، انتشار آلاینده‌ها، زمان سفر و میزان تأخیر در شبکه مورد بررسی قرار گیرد.

در شکل ۸ مشاهده می‌شود که با حضور وسایل نقلیه سنگین در شبکه ترافیکی مقدار میانگین سرعت شبکه افزایش یافته است، که این امر موجب افزایش انتشار آلاینده‌ها از جریان ترافیک می شود. علاوه بر میانگین سرعت یکی دیگر از دلایل تولید آلاینده‌ها، افزایش و کاهش سرعت است، مانند جریان ترافیک از نوع توقف – حرکت که در مقایسه با جریان روان و یکنواخت ترافیک دارای نرخ انتشار بیشتری است. بنابراین جریان ترافیک را با دو عامل میانگین سرعت و تغییرات سرعت می‌توان شناخت که در اصطلاح پویایی ترافیک[۷] گفته می شود، یعنی ترافیکهایی که به صورت متراکم و توقف – حرکت هستند، دارای پویایی بالا و ترافیکهایی که به صورت روان و شناور هستند دارای پویایی پایینی هستند.[Ahn, Rakha, 2009] در این پژوهش نیز مشاهده شد زمانی که وسایل نقلیه سنگین وارد شبکه ترافیکی

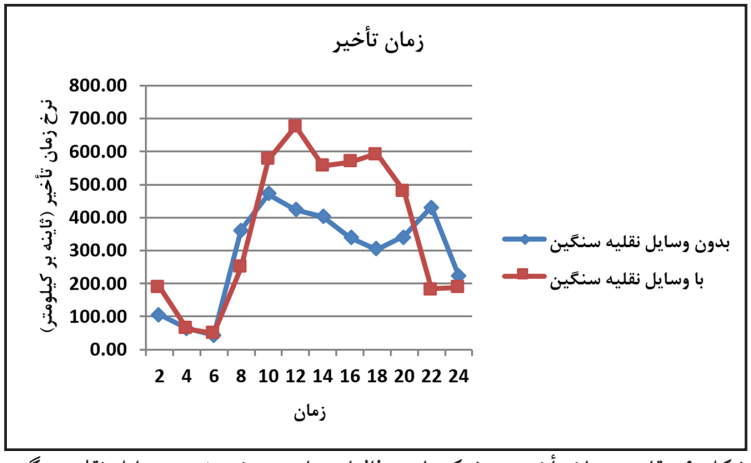
می‌شوند، دامنه تغییرات سرعت افزایش یافته یا به عبارت دیگر شبکه ترافیک پویاتر شده است. جریان ترافیک پایدارتر می‌شود (شکل ۸).

با توجه به روند تغییرات زمان تاخیر و زمان توقف که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده است، حضور وسایل نقلیه سنگین در شبکه ترافیکی درون شهری زمان تاخیر و میزان توقف در شبکه را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت حضور این وسایل نقلیه منجر به کاهش کیفیت جریان می‌شود.اگر به شکل‌های ۳ و ۴ توجه شود، مشاهده می‌شود در هر دو کردار زمان تاخیر و زمان توقف در ساعت‌های ۶ تا ۸ صبح که زمان ورود کامیون‌ها به شبکه ترافیکی است، دارای سیر صعودی بوده و در ساعت‌های ۲۰ تا ۲۲ که تقریبا زمان خروج کامیون‌ها از شبکه است، کردار دارای سیر نزولی قابل توجهی است. این امر نشان دهنده وابستگی کیفیت جریان ترافیک به حضور وسایل نقلیه در شبکه ترافیکی درون‌شهری است.

همچنین شکل ۱۰ روشن میسازد، جریان ناپایدار یا توقف–حرکت باعث افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود و با حضور کامیون‌ها در شبکه ترافیکی، میزان انتشار آلاینده‌های ، و PM افزایش می‌یابد. در این مقاله تأثیرات حضور وسایل نقلیه سنگین برمیزان مصرف سوخت و پارامترهای ترافیکی از جمله زمان سفر، طول کل سفرهای صورت گرفته در شبکه و پویایی جریان ترافیک نیز مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج کلی شبیه‌سازی این مدل با



شکل ۸. مقایسه میانگین سرعت جریان ترافیک در شبکه‌های مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین



شکل ۹. مقایسه زمان تأخیر در شبکه‌های مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین

جزئیات بیشتر در جدول ۲ ارایه شده است.

۴. بحث

در این مطالعه پس از جمع آوری داده‌های مورد نیاز شبیه‌سازی، شبکه ترافیکی مورد مطالعه توسط نرم افزار Aimsun شبیه‌سازی و اطلاعات مربوطه وارد نرم افزار شد.

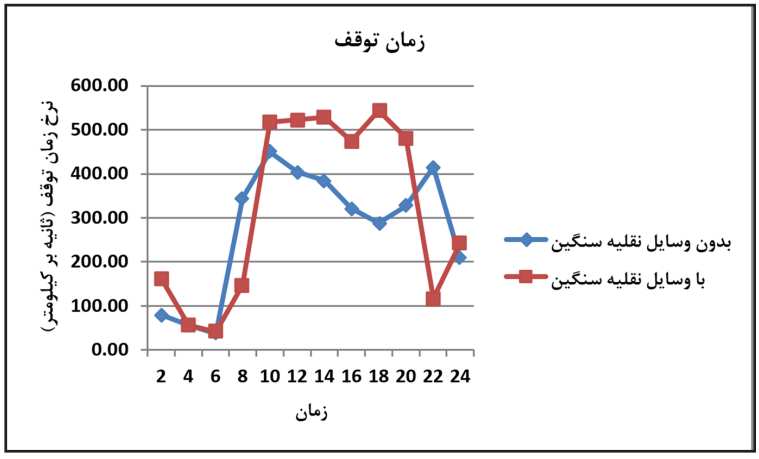
سپس به منظور بررسی تأثیر وسایل نقلیه سنگین بر کیفیت جریان ترافیک و میزان انتشار آلاینده‌ها، شبکه ترافیکی مورد مطالعه یک بار با حضور وسایل نقلیه سنگین و بار دیگر بدون حضور وسایل نقلیه سنگین، شبیه‌سازی شد. یافته‌های این مقاله به طور خلاصه عبارتند از :

* حضور وسایل نقلیه سنگین در سطح شبکه باعث ناپایداری حرکت شده و جریان ترافیک را متراکم‌تر می‌کند و باعث کاهش ۲۳٪ از میانگین سرعت جریان ترافیک می شود.

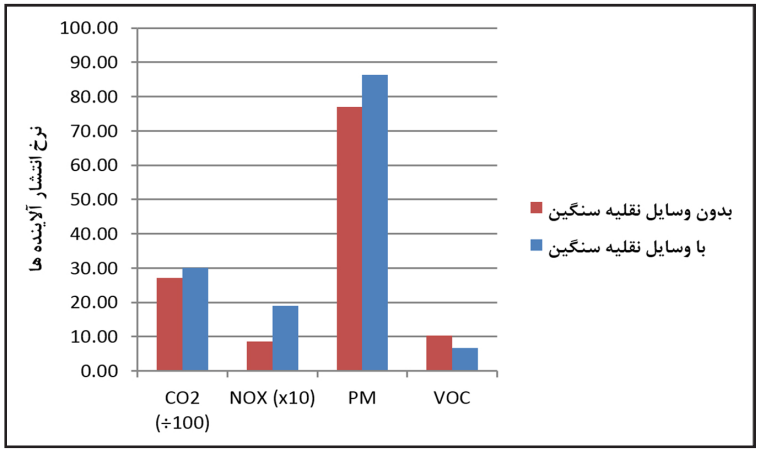
با حضور وسایل نقلیه سنگین در شبکه و ناهمگون ساختن ناوگان ترافیکی نرخ انتشار آلاینده‌های گوناگون در شبکه نیز افزایش می‌یابد.

همچنین زمان سفر و زمان تأخیر در شبکه به ترتیب ۲۱٪ و ۲۹٪ افزایش می‌یابد که به طور کلی بیانگر کاهش کیفیت جریان ترافیک شبکه درون‌شهری است.

* با حضور وسایل نقلیه سنگین در سطح شبکه، میزان انتشار آلاینده‌های ، و PM به ترتیب ۱۱، ۱۲۱ و ۱۲ درصد افزایش پیدا کرد.همچنین میزان مجموع مصرف سوخت در شبکه ٪۶



شکل ۱۰. مقایسه زمان توقف در شبکه‌های مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین



شکل ۱۱. مقایسه نرخ انتشار آلاینده‌ها در شبکه‌های مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین

جدول ۲. نتایج ۲۴ ساعت شبیه‌سازی شبکه مطالعاتی با و بدون حضور وسایل نقلیه سنگین

معیارهای سنجش نحوه عملکرد	بدون حضور وسایل نقلیه سنگین	با حضور وسایل نقلیه سنگین	درصد تغییرات
نرخ میزان تاخیر در شبکه (ثانیه بر کیلومتر)	۲۰۹/۸۵	۲۶۹/۹۹	۲۹
نرخ میزان توقف در شبکه (ثانیه بر کیلومتر)	۱۹۵/۵۹	۲۵۱/۴۸	۲۹
میانگین زمان سفر برای هر خودرو (ثانیه)	۳۹۴/۰۳	۴۷۵/۲۲	۲
زمان کل سفرها در شبکه (ساعت)	۳۰۷۸۱/۶۸	۳۱۲۹۲/۴۱	۲۱
طول کل سفرها در شبکه (کیلومتر)	۳۹۸۵۴۱/۹۵	۳۲۷۹۷۸/۹	-۱۸
میانگین سرعت در شبکه (کیلومتربرساعت)	۲۸/۸۸	۲۲/۳۲	-۲۳
مجموع مصرف سوخت در شبکه (لیتر)	۷۳۸۱۱/۱۵	۷۸۰۸۹/۸۳	۶
مجموع انتشار آلاینده HC (کیلوگرم)	۱۷۶۹۵/۸۴	۱۹۶۷۸/۲۷	۱۱
میانگین نرخ انتشار آلاینده CO2 (گرم بر کیلومتر)	۲۷۱۳/۲۱	۳۰۱۳/۲۱	۱۱
میانگین نرخ انتشار آلاینده NOX (گرم بر کیلومتر)	۰/۸۶	۱/۹۰	۱۲۱
میانگین نرخ انتشار آلاینده PM (گرم بر ثانیه)	۷۷/۰۲	۸۶/۳۴	۱۲
میانگین نرخ انتشار آلاینده VOC (گرم بر کیلومتر)	۱۰/۳	۶/۷۳	-۳۵

افزایش یافت.

۵. سپاسگزاری

از شرکت کنترل ترافیک شهرداری تهران به ویژه جناب آقای مهندس کمالیان، همچنین شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک که در جمع‌آوری اطلاعات این پژوهش همکاری صمیمانه‌ای داشتند و زحمات زیادی متقبل شدند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.

۶. پی‌نوشت‌ها

- Approach

- Detector

- www.ikco.com

- www.saipacorp.com

- Traffic State

- O/D Matrix

- Traffic Dynamic

۷. مراجع

– ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۸

-Ahn, K. and Rakha, H. (2009) “A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming”, Journal of Transportation Research Part D, No. 14, June, pp. 411-422.

-Ahn, K., Rakha, H., Trani, A. and Van Aerde, M., (2002) “Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels”, Journal of Transportation Engineering, No. 128, pp. 182–190.

-Atash, F. (2007) “The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran”, Journal of Cities, Vol. 24, No. 6, May, pp. 399–409.

-Barceló, J. “Dynamic network simulation with AIMSUN”, Journal of Dept.of Statistics and Operations Research, Universitat Politècnica de Catalunya Pau Gargallo 5, 08028 Barcelona, Spain.

-Ben-Akiva, M.E., Gao, S., Wei, Z. and Wen, Y. (2012) "A dynamic traffic assignment model for highly congested urban networks", Journal of Transportation Research Part C, No. 24, February, pp. 62–82.

-Berkowicz, R., Ketzel, M., Jensen, S. S., Hvidberg, M. and Raaschou-Nielsen, O. (2007) "Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations", Journal of Environmental Modelling & Software, No. 23,April, PP. 296-303.

- Berkowicz, R., Winther, M. and Ketzel, M. (2004) " Traffic pollution modeling and emission data", Journal of Environmental Modelling & Software, No. 21, June, PP. 454-460.

-Borgie, M., Garat, A., Cazier, F., Delbende, A., Allorge, D., Ledoux, F., Courcot, D. And Dagher, Z. (2014) "Traffic-related air pollution", A pilot exposure assessment in Beirut, Lebanon.

-Boulter, P.G., Hickman, A.J., Latham, S., Layfield, R., Davies, P. and Whiteman, P. (2001) "The impacts of traffic calming measures on vehicle exhaust emissions", TRL report 482, Journal of Transport Research Laboratory, Crowthorne.

-Cai, H. and Xie, S. (2011) "Traffic-related air pollution modeling during the 2008 Beijing Olympic Games: The effects of an odd-even day traffic restriction scheme", Journal of Science of the Total Environment, No. 409,February, pp. 1935–1948.

-Chen, K. and Yu, L. (2007) "Microscopic traffic-emission simulation and case study for evaluation of traffic control strategies", Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Vol. 1, No. 7, pp. 93–100.

-Coelho, M.C., Farias, T.L. and Rouphail, N.M. (2005) "A methodology for modeling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals", Journal of Atmospheric Environment, No. 39, PP.2367–2376.

-Gokhale, S. (2011) "Traffic flow pattern and meteorology at two distinct urban junctions with impacts on air quality", Journal of Atmospheric Environment, No. 45,January, pp. 1830-1840.

-Hertel, O., Berkowicz, R., Vignati, E. and Palmgren, F. (1995) "Urban Air Pollution of Nitrogen Oxides From Traffic", To be presented at Trafikdage på AUC Aalborg, August.

-Int Panis, L., Broekx, S. and Ronghui, L. (2006) "Modeling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits", Journal of Science of the Total Environment, No. 371, pp. 270–285.

-IntPanis, L., Beckx, C., Broekx, S., DeVlieger, I., Schrooten, L., Degraeuwe, B. and Pelkmans, L. (2011) "PM, Nox and CO2 emission reductions from speed management policies in Europe", Journal of Transport Policy, No. 18, pp. 32–37.

-Jensen, S.S., Larson, T. and Deepti, K.C. (2009) "Modeling traffic air pollution in street canyons in New York City for intra-urban exposure assessment in the US Multi-Ethnic Study of atherosclerosis and air pollution", Journal of Atmospheric Environment, No. 43, June, pp. 4544–4556.

-Keller, S., Andreani-Aksoyoglu, S., Tinguely, M., Flemming, J., Heldstab, J. and Keller, M.(2008) "The

impact of reducing the maximum speed limit on motorways in Switzerland to 80 km/h on emissions and peak ozone", journal of Environmental Modeling & Software 2008 ,No. 23,August, pp. 322–332.

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

-Miao, Q., Bouchard, M., Chen, D., Burstyn, I., Spinelli, J.J. And Aronson, K.J. (2014) "Assessing traffic and polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in Montreal, Canada", Journal of Science of the Total Environment, No. 470-471, pp. 945-953.

-Morabia, A., Amstislavski, P.N. and Mirer, F.E. (2009) "Air Pollution and Activity During Transportation by Car, Subway, and Walking",Am J Prev Med, Journal of Preventive Medicine, No. 37, pp. 72–77.

-Mountain, L.J., Hirst, W.M. and Maher, M.J. (2005) "Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? The impact of speed management schemes on 30 mph roads", journal of Accident Analysis and Prevention 2005, No. 37, pp. 742–754.

-Park, K. and Kim, W. (2001) " A sistolic parallel simulation system for dynamic traffic assignment", Journal of Expert Systems with Applications, No. 21, July, PP. 217-227.

-Peeta, S. and Ziliaskopoulos, A.K. (2001) "Foundation of dynamic traffic assignment: the past, the present and the future", Journal of Networks and Spatial Economics, No. 1, July, PP. 233–265.

-Smit, R., Brown, A.L. and Chan, Y.C. (2008) "Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow?", journal of Environmental Modeling & Software 2008, No.23, pp. 1262–1270.

-Wang, T. and Xie. S. (2009) "Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period", Journal of Atmospheric Environment, No. 43, July, pp. 5682–5690.

-Wesseling, J.P., Hollander, J.C., Teeuwisse, S., Keuken, M.P., Gense, R., Van der Burgwal,E., Hermans,L., Voerman,J., Kummu,P.J. and Elshout, J.V. (2003) "Research on the effects of 80 km/h on air quality in Overschie near the A13 motorway (in Dutch)", TNO Report 2003-R0258. Utrecht, The Netherlands: TNO.

-Yingying, Z., Xumei,C., Xiao,Z., Guohua, S., Yanzhao, H. and Lei, Y. (2009) "Assessing Effect of Traffic Signal Control Strategies on Vehicle Emissions", Journal of transportation systems engineering and information technology, NO. 9, February, Issue 1.

-Zhang, X., Yu, L. and Song, G.H. (2006) "Analysis of emission characteristics at intersections based on PEMS", Journal of Safety and Environmental Engineering, Vol. 3, No. 13, PP. 50–54.