

بررسی انتشار و پراکندگی آلاینده PM_{2.5} منتشره از اتوبوس های BRT شهر تبریز

لیلا خازینی^{۱*}، مینا جمشیدی کلجاهی^۲، خشایار قیامی گیاشی^۲ و خسرو اشرفی^۳

^۱ استادیار دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز

^۲ کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

(دریافت: ۹۷/۷/۲۶، پذیرش: ۹۸/۴/۱، نشر آنلاین: ۹۸/۴/۲۳)

چکیده

آلودگی هوا و اثرات نامطلوب آن بر روی بهداشت، اقتصاد و مسائل اجتماعی جوامع به حدی است که بسیاری از کشورهای جهان آن را در رأس برنامه های توسعه اقتصادی و اجتماعی خود قرار داده اند. ریزگردها، PM_{2.5}، از مهم ترین آلاینده های تولیدی از خودروها هستند که اثرات قابل توجهی بر سلامت افراد و محیط زیست دارند. اتوبوس های گازوئیلی شهری منبع اصلی انتشار این آلاینده می باشند. غلظت آلاینده PM_{2.5} در شهر تبریز در سال ۱۳۹۴، $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ گزارش شده است که میزان استاندارد آن $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در سطح جهان است. مدل سازی یک روش مؤثر و کم هزینه در تعیین میزان انتشار حاصل از خودروها و تدوین سیاست ها و روش های کاهش و کنترل این انتشارات است. در این مقاله از مدل IVE به منظور تعیین میزان آلاینده های PM_{2.5} منتشره از اتوبوس های BRT شهر تبریز، در فاصله ۴ کیلومتری چهارراه شریعتی تا فلکه دانشگاه به عنوان مطالعه موردی و از مدل AERMOD به منظور تعیین سهم این ناوگان در میزان غلظت آلاینده PM_{2.5} اندازه گیری شده در ۳ ایستگاه پایش کیفیت هوا استفاده شد. انتشارات PM_{2.5} در ساعات ۸-۹ و ۱۶-۱۳ بالاترین میزان را داشته و بیش از دو سوم انتشارات روزانه، مربوط به اتوبوس های تک کابین می باشد. سهم تردد اتوبوس های BRT بر غلظت PM_{2.5} در ایستگاه آبرسان حدود ۶۰٪ می باشد که در مورد ایستگاه های باغشمال و راسته کوچه (دورتر از دو ایستگاه دیگر) به ترتیب ۵۰٪ و ۵٪ است.

کلیدواژه ها: آلودگی هوا، ریزگرد، PM_{2.5}، اتوبوس BRT، مدل انتشار IVE، مدل پراکندگی AERMOD.

۱- مقدمه

که لزوم توجه به مسائل شهری و به ویژه مسائل زیست محیطی در این مناطق را بیش از پیش نمایان می سازد (United Nations, ۲۰۱۴).

بنا بر گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سالانه در سراسر جهان حدود هفت میلیون نفر جان خود را در اثر بیماری های منتسب به آلودگی هوا از دست می دهند که بیشتر این مرگ و میرها در کشورهای در حال توسعه اتفاق می افتد (WHO, ۲۰۱۴). همچنین بر طبق گزارش سازمان حفاظت محیط زیست ایران، آلودگی هوا سالانه جان ۲۹۰۰ تا ۴۰۰۰ نفر را در تهران می گیرد که رقم قابل توجهی، ۷ تا ۱۰ درصد کل مرگ و میرهای این شهر، را تشکیل می دهد. ارتباط بین آلودگی هوا و بیماری های مرتبط با آن بسیار پیچیده است. در بسیاری از شهرهای بزرگ کشور از جمله تهران، کرج، اصفهان، مشهد، تبریز، اراک، اهواز و شیراز غلظت برخی از

آلودگی هوا و اثرات نامطلوب آن بر روی بهداشت، اقتصاد و مسائل اجتماعی جوامع به حدی است که بسیاری از کشورهای جهان آن را در رأس برنامه های توسعه اقتصادی و اجتماعی خود قرار داده اند و در سراسر جهان به صورت یک مسئله مهم و اساسی که سلامت و رفاه بشر را تهدید می کند، مورد توجه قرار گرفته است. از این رو تلاش ها بر آن است که اقدامات مؤثر و سازنده ای برای جلوگیری از آلودگی هوا در مقیاس ملی، منطقه ای و جهانی صورت گیرد. افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، آلودگی هوای شهری را به یکی از مسائل مهم زیست محیطی در ایران و جهان تبدیل کرده است. بر اساس گزارش سال ۲۰۱۴ سازمان ملل متحد ۵۴٪ از جمعیت جهان در شهرها زندگی می کنند که در حال حاضر این میزان برای کشور ایران ۷۰٪ است

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۳۹۲۴۱۹

Holgate, ۲۰۰۲؛ Kloog و همکاران، ۲۰۱۲؛ Martinelli و همکاران، ۲۰۱۳؛ Brook و همکاران، ۲۰۱۰؛ Pope III و همکاران، ۲۰۰۹).

خودروها منبع مهمی برای انتشار ریزگردها مخصوصاً ذرات ریز (با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرون) هستند که میزان انتشار آن‌ها به نوع و طراحی، عمر و شرایط عملکردی و نگهداری موتور خودرو بستگی دارد (Adachi و Tainosho, ۲۰۰۴). ترکیب انتشارات حاصل از خودروهای بنزینی و گازوئیلی متفاوت بوده و خودروهای گازوئیلی نسبت به خودروهای بنزینی ذرات ریز و بسیار ریز بیشتری (با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۰/۱ میکرون) منتشر می‌کنند (Rose و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ در محیط تونل انجام شد، ضرایب انتشار خودروهای گازوئیلی را چهار برابر خودروهای بنزینی برآورد کردند (Chen و همکاران، ۲۰۱۳). ذراتی که از اگزوز خودروهای گازوئیلی منتشر می‌شوند شامل مواد کربنی جامد و خاکستر با ترکیبات گوگردی (به علت گوگرد موجود در سوخت)، فلزی (به علت حضور مواد افزودنی در سوخت و روغن کاری موتور) و مواد آلی جذب شده هستند (Kittelson, ۱۹۹۸). با توجه به این که خودروهای گازوئیلی از عوامل مهم انتشار آلایند PM_{2.5} هستند، دستیابی به مقادیر انتشار این آلایند از ناوگان خودروهای گازوئیلی و تعیین سهم آن‌ها در آلودگی هوای شهرها، جهت بررسی و ارائه راه کارهای عملی برای کاهش مشکلات آلودگی هوا ضروری است.

شناخت مسائلی از قبیل آلودگی هوای شهری که همراه با سامانه‌های بسیار پیچیده هواشناسی تغییر کرده و دستخوش تغییرات شیمیایی و فیزیکی می‌شوند، با تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و تجربی ممکن نبوده و نیاز به روش‌های مدل‌سازی به جهت پیش‌بینی میزان غلظت و توزیع آلاینده‌ها با هدف کنترل آلودگی را به اثبات می‌رساند. ورودی‌هایی از قبیل داده‌های هواشناسی و اطلاعات منابع انتشار مانند نرخ انتشار برای مدل‌سازی نحوه پراکندگی و تعیین غلظت آلاینده‌های منتشره در اتمسفر ضروری هستند (De Visscher, ۲۰۱۳). مدیران کیفیت هوا با کمک این مدل‌ها می‌توانند اثرات یک منبع انتشار را تعیین کرده و نیز برای پیش‌بینی اثرات منابع جدید از آن‌ها استفاده کنند (Bhola و همکاران، ۲۰۱۰). مدل‌سازی در مطالعات آلودگی هوای شهری برای پیش‌بینی میزان انتشار توزیع غلظت آلاینده‌ها از منابع متحرک در دو مرحله صورت می‌گیرد. اول، استفاده از یک مدل انتشار برای پیش‌بینی میزان انتشار از وسایل نقلیه و دوم، استفاده از نتایج حاصل از مدل انتشار در یک مدل پراکندگی به منظور پیش‌بینی غلظت و بررسی نحوه پراکندگی آلاینده‌ها.

آلاینده‌های هوا از استانداردهای ملی به مراتب بیشتر است و برآورد می‌شود که با احتساب پدیده ریزگردها، جمعیتی بالغ بر ۳۵ میلیون نفر، یعنی حدود نیمی از جمعیت کل کشور در معرض درجاتی از آلودگی هوا قرار داشته باشند (انجمن ارزیابی محیط‌زیست ایران و اخبار خودرو، ۱۳۹۲). این مشکل نه تنها سلامت مردم را به مخاطره می‌اندازد، بلکه هزینه‌های سرباری را نیز در حوزه سلامت بر مردم تحمیل می‌کند. عوامل زیادی در آلودگی هوای شهرهای بزرگ نقش دارند که مطالعات اخیر اهمیت آلودگی هوای ناشی از ترافیک خودروها را در مقایسه با عوامل دیگر، هم در کشورهای توسعه‌یافته و هم در کشورهای در حال توسعه، ثابت کرده است.

براساس مطالعات سهم‌بندی انجام گرفته در شهر تبریز ۷۲/۳٪ از آلودگی هوا در این شهر به علت منابع متحرک می‌باشد (فاتحی‌فر و کاه‌فروشان، ۱۳۹۲). در چند سال اخیر، میزان ریزگردها و آلاینده‌های گازی در اغلب روزهای سال در شهر تبریز افزایش یافته است. سازمان محیط زیست آذربایجان شرقی میانگین غلظت PM_{2.5} هوای شهر تبریز در سال ۱۳۹۴ را برابر با ۱۸ µg/m³ گزارش کرده است. این در حالی است که غلظت استاندارد سالانه برای این آلایند ۱۲ µg/m³ است.

شهر تبریز به عنوان مرکز استان آذربایجان شرقی در حال حاضر یکی از مراکز صنعتی ایران و قطب صنعتی و تجاری منطقه شمال غرب محسوب می‌گردد و مراکز صنعتی مهمی نظیر نیروگاه حرارتی، مجتمع پتروشیمی، پالایشگاه، ماشین-سازی، تراکتورسازی و ... را در خود جای داده است و یکی از پرجمعیت‌ترین و آلوده‌ترین شهرهای ایران به‌شمار می‌رود. شهر تبریز با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا، از طرف شمال با کوه‌های عون‌ابن‌علی، از طرف جنوب با رشته‌کوه‌های سهند و از شرق با کوه‌های ساری‌داغ و بیلاکوه محصور شده و از غرب به دشت تبریز (محل استقرار کمربند صنایع) منتهی می‌شود که شرایط جغرافیای خاص آن، وضعیت آلودگی هوا در این شهر را تشدید می‌کند.

تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها و نحوه پراکندگی آن‌ها و میزان اثرگذاری آن بر محیط اطراف اولین قدم برای مدیریت و حل مشکلات پیشرو در زمینه آلودگی هوا است. آلاینده‌های حاصل از خودروها را می‌توان در دو گروه آلاینده‌های گازی و ریزگردها تقسیم‌بندی کرد. ریزگردها بسیار خطرناک‌تر از آلاینده‌های گازی مانند CO، NOx، SOx و VOCs بوده و اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان‌ها در پی دارند. اگرچه میزان انتشار این ریزگردها کمتر از سایر آلاینده‌ها است ولی اثرات مخرب آن بر روی محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها بسیار بیشتر بوده و موجب تشدید بیماری‌های تنفسی و قلبی و عروقی و کاهش عمر و امید به زندگی در افراد می‌شود (Brunekreef و

گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که خودروهای سنگین (کامیون‌ها و اتوبوس‌ها) مسئول اصلی انتشار آلاینده‌های NO_x و PM در این شهر هستند (Wang و همکاران، ۲۰۰۸).

در سال ۲۰۱۳، Shrestha و همکاران برای ارزیابی تأثیر ناوگان حمل‌ونقل عمومی شامل اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها، ون‌ها و نیز موتورسیکلت‌ها بر کیفیت هوای شهر کاتماندو، از مدل IVE استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهند که اتوبوس‌ها عامل انتشار ۹۳٪ از ریزگردها و ۹۱٪ از NO_x هستند و در صورت ارتقاء ناوگان حمل‌ونقل عمومی به استاندارد یورو ۳ میزان انتشار آلاینده‌ها حدود ۴۴٪ کاهش می‌یابد (Shrestha و همکاران، ۲۰۱۳).

در سال ۲۰۱۴، Mishra و Goyal از مدل IVE برای محاسبه ضرایب انتشار دینامیکی آلاینده‌های رایج مانند CO ، NO_x و PM در طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۲ در شهر دهلی‌نو استفاده کردند. بر اساس این مطالعه مسئول انتشار ۴۳٪ از ذرات معلق در شهر دهلی‌نو خودروهای گازوئیلی بودند (Mishra و Goyal، ۲۰۱۴).

مدل IVE به منظور بررسی تأثیر ارتفاع بر مقدار انتشار پیش ماده‌های تشکیل‌دهنده ازن سطحی از خودروهای سبک بنزینی در سه شهر دهلی‌نو، دهرادون و موسوری در کشور هند در سال ۲۰۱۱ (Nagpure و همکاران، ۲۰۱۱)، ارزیابی تأثیر موتورسیکلت‌ها بر آلودگی هوای شهر هانوی در سال ۲۰۰۸ (Oanh و همکاران، ۲۰۱۲)، بررسی میزان انتشار وسایل نقلیه سبک شامل تاکسی، ون، خودروهای شخصی و موتورسیکلت‌ها برای شهر اسلام‌آباد- پاکستان در سال ۲۰۱۴ (Hussain Shah و Zeeshan، ۲۰۱۶) و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ترکیب ناوگان در شهر مورمانسک- روسیه از روش پیشنهادی این مدل (Kholod و همکاران، ۲۰۱۶) استفاده شد. مدل IVE همچنین برای یک قطعه بزرگ‌راهی در شهر تهران در سال ۱۳۹۱ (عنایتی‌آهنگر و همکاران، ۱۳۹۱)، جاده ترانزیتی امام رضا (ع) در محدوده شهرستان پاکدشت در سال ۱۳۹۲ (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۲) و خیابان فرهنگ، شهرسازی در سال ۱۳۹۴ (شفابخش و همکاران، ۱۳۹۴) در کشور ایران مورد استفاده قرار گرفت.

مدل‌های پراکندگی از روابط ریاضی برای بررسی فرآیندهای جوی که باعث پراکندگی آلاینده‌ها می‌شوند، بهره برده و از داده‌های میزان انتشار و متغیرهای هواشناسی به این منظور استفاده می‌کنند. مدل‌های پراکندگی را برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در محل گیرنده‌های انتخابی مورد استفاده قرار می‌دهند. در بین انواع مدل‌های پراکندگی، مدل گاوسی و نرم‌افزارهایی که بر اساس روابط مربوط به این مدل توسعه داده شده‌اند، کاربرد عمده دارند و از این جمله می‌توان به نرم‌افزارهای

میزان انتشار و نوع آلاینده‌های حاصل از خودروها در بسیاری از کشورها به خصوص در کشورهای در حال توسعه به خوبی شناخته شده نبوده و اغلب این کشورها توانایی ارزیابی انتشارات حاصل از خودروها در شرایط کنونی و در آینده را ندارند. این مشکلات سیاست‌گذاران را در طراحی استراتژی‌های کنترلی و کاهش مؤثر محدود می‌کند. دقیق‌ترین روش برای تعیین میزان انتشار آلاینده‌های حاصل از خودروها اندازه‌گیری مستقیم آن‌ها سه روش عمده آزمون شاسی دینامومتر، سیستم اندازه‌گیری انتشار قابل حمل (PEMS)^۱ و سنجش از راه دور است. از آنجایی که تعیین میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم و همچنین تعیین ارتباط آن‌ها با عوامل ترافیکی بسیار پرهزینه، وقت‌گیر و مشکل است، مدل‌های نرم‌افزاری متنوعی برای تخمین میزان انتشار حاصل از حمل‌ونقل در طول چند دهه‌ی اخیر رواج یافته است که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به مدل‌های انتشار MOBILE^۲، COPERT^۳، MOVE^۴ و IVE^۵ اشاره کرد (عنایتی‌آهنگر و همکاران، ۱۳۹۱). مدل IVE یک مدل انتشار با انعطاف‌پذیری بالا برای کشورهای در حال توسعه است که توسط تلاش گروهی از مرکز تحقیقات و فناوری‌های محیط‌زیست کالج مهندسی دانشگاه کالیفرنیا (CE-CERT) و مرکز تحقیقات سیستم پایدار بین‌الملل (ISSRC) طراحی شده است و قابلیت بالایی برای بازتاب ترکیب ناوگان و شرایط رانندگی موجود یک منطقه خاص دارد. مدل IVE قابلیت پیش‌بینی آلاینده‌های محلی، گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های سمی از منابع متحرک را دارد (ISSRC، ۲۰۰۸). اطلاعات مربوط به توزیع ناوگان بر اساس نوع و سن وسیله نقلیه، استانداردهای انتشار و کیلومتر پیموده شده، در میزان دقت و صحت محاسبات انتشار آلاینده‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. این رویکرد مستلزم اطلاعات به‌روز، دقیق و فرضیات منطقی برای مسافت پیموده شده است (Kholod و همکاران، ۲۰۱۶).

در سال ۲۰۰۷، Guo و همکارانش در شهر هانگژو- چین اقدام به مقایسه نتایج حاصل از IVE با مقادیر سنجش از راه دور نمودند. مقایسه نتایج دو روش نشان از مطابقت مناسب برای آلاینده‌های هیدروکربنی، دست پایین گرفته شدن آلاینده CO و دست بالا گرفته شدن آلاینده‌های NO_x داشت (Guo و همکاران، ۲۰۰۷).

در سال ۲۰۰۸ مدل IVE برای تخمین سیاهه انتشار در شهر شانگهای- چین توسط Wang و همکاران مورد استفاده قرار

1. Portable Emissions Measurement System
2. Computer Program to Calculate Emission from Road Transport
3. Motor Vehicle Emission Simulator
4. Motor Vehicle Emission Simulator
5. International Vehicle Emission

۲- روش تحقیق

در این بخش به شرح مدل انتشار IVE و مدل پراکندگی AERMOD و داده‌های ورودی و نحوه جمع‌آوری این ورودی‌ها پرداخته شده است.

۲-۱- مدل انتشار IVE

فرایند محاسبه میزان انتشار حاصل از خودروها در مدل IVE بر اساس نرخ انتشار پایه و مجموعه‌ای از ضرایب تصحیح مربوط به نوع ناوگان، چرخه رانندگی و پارامترهای محیطی و سوخت می‌باشد. این مدل به منظور محاسبه میزان انتشار به سه دسته اطلاعات نرخ انتشار پایه محلی، فعالیت خودروها و توزیع ناوگان نیاز دارد. حصول اطلاعات فوق با استفاده از داده‌های موجود و یا داده‌هایی که در کشورهای در حال توسعه به راحتی قابل جمع‌آوری هستند، میسر است (ISSRC, ۲۰۰۸).

اثرات مربوط به چرخه رانندگی در این مدل با استفاده از دو پارامتر قدرت ویژه موتور (VSP)^۷ و تنش موتور (ES)^۸ بیان می‌شود که این دو پارامتر با استفاده از تغییرات لحظه‌به‌لحظه ارتفاع، سرعت و شتاب با استفاده روابط (۱) تا (۴) محاسبه می‌شوند. هر لحظه در روند رانندگی را می‌توان به یکی از ۶۰ بین^۹ (که با ترکیب ۲۰ دسته VSP و سه دسته ES با بازه عددی متفاوت به دست آمده است) نسبت داد و کسری از رانندگی که در هر یک از بین‌ها سپری می‌شود، را محاسبه کرد.

$$VSP = v [1.1a + 9.81(\tan(\sin(\theta))) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad (1)$$

$$\text{Engine Stress} = \text{RPMIndex} + (0.08\text{ton/kW}) * \text{Preaverage Power} \quad (2)$$

$$\text{Preaverage Power} = \text{Average (VSP}_{t=-5\text{sec to } -25\text{ sec}}) \quad (3)$$

$$\text{RPMIndex} = v_t = 0 / \text{Speed Divider} \quad (4)$$

که در این روابط θ شیب جاده، v سرعت (m/s)، a شتاب (m/s²)، t زمان و SpeedDivider پارامتری است که برحسب مقادیر VSP و ES مقادیر مختلفی اختیار می‌کند.

اندازه‌گیری‌ها به مدت ۶ روز کاری از تاریخ‌های ۵ تا ۱۵ اسفند ماه سال ۱۳۹۵ و هر روز به مدت ۷ ساعت، به گونه‌ای که در روزهای ۹، ۱۱ و ۱۴ اسفند از ساعت ۶ تا ۱۳ و در روزهای ۵، ۱۰ و ۱۵ اسفند از ساعت ۱۳ تا ۲۰ انجام گرفتند. در این پژوهش، اندازه‌گیری تغییرات سرعت و ارتفاع در طول مسیر حرکت اتوبوس‌های BRT با استفاده از Data Logger GPS مدل

(مدل‌ها) CALINE3، CALINE4، BPL، CALPUFF، AERMOD و CAL3QHC/CAL3QHCR اشاره کرد.

در مطالعاتی که کارکرد مدل پراکندگی AERMOD را در مقایسه با مدل‌های دیگر مانند CALINE4 و CAL3QHC (Chen و همکاران، ۲۰۰۹)، مدل CULPUFF (Dresser و Huizer، ۲۰۱۱)، مدل AUSTRAL (Klemm و Langner، ۲۰۱۱) و مدل QUIT (Misra و همکاران، ۲۰۱۳) مورد بررسی قرار گرفت، دقت و تطابق بالای مقادیر غلظت پیش‌بینی شده آلاینده‌ها در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده برای این آلاینده‌ها به دست آمد. با این وجود، هر یک از این مدل‌ها بایستی با توجه به امکانات، شرایط و محدودیت‌های مدل انتخابی در موارد خاص به کار برده شوند.

در مطالعات دیگری که در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به ترتیب در دو بخش از شهر دالاس آمریکا (Zou و همکاران، ۲۰۱۰)، کانادا (Gibson و همکاران، ۲۰۱۳) و در ایالت اوهایو-آمریکا (Hadlocon و همکاران، ۲۰۱۵) با استفاده از مدل پراکندگی AERMOD انجام گرفت، دقت بالای این مدل در پیش‌بینی غلظت‌ها در بازه‌های زمانی طولانی‌تر سالانه، ماهانه و روزانه نسبت به بازه‌های زمانی کوتاه‌تر را نشان داده شد. از این رو این مدل عمدتاً در مطالعات اپیدمیولوژی^۶ کاربرد دارند.

Perugu و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده از ترکیب دو مدل انتشار MOVES و مدل پراکندگی AERMOD به پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های خروجی از خودروهای سنگین گازوئیلی در مناطق شهری پرداختند. هر دو مدل به عنوان مدل‌های مناسب که کم‌ترین اختلاف را با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند، جهت تخمین غلظت آلاینده‌ها معرفی شدند (Perugu و همکاران، ۲۰۱۶).

در این مطالعه خیابان امام‌خمینی شهر تبریز حفاصل چهارراه شریعتی تا فلکه دانشگاه به طول ۴ کیلومتر که یکی از خیابان‌های اصلی این شهر است، برای محاسبه میزان انتشار اتوبوس‌های BRT با استفاده از مدل انتشار IVE، انتخاب شد. قرار گرفتن سازمان‌های مختلف از جمله استانداری آذربایجان شرقی، شهرداری تبریز، بازار بزرگ تبریز، دانشگاه تبریز و مدارس متعدد در طول این مسیر از جمله دلایلی هستند که این مسیر را به پرتعدادترین مسیر حرکت اتوبوس‌های BRT در شهر تبریز تبدیل کرده است. این مسیر شامل ۱۰ ایستگاه از چهارراه شریعتی تا فلکه دانشگاه است. همچنین مدل پراکندگی AERMOD برای شبیه‌سازی نحوه پراکندگی آلاینده‌های منتشره از این ناوگان و تعیین سهم این ناوگان بر کیفیت هوای محیط مورد استفاده قرار گرفت.

7. Vehicle Specific Power

8. Engine Stress

9. Bin

۶. همه‌گیرشناسی

از دو پیش‌پردازنده داده‌های هواشناسی AERMET و پیش‌پردازنده عوارض زمینی AERMAP بهره می‌گیرد (USEPA، ۲۰۰۴). در نهایت با استفاده از فایل‌های تولیدی پیش‌پردازنده‌ها، نرم‌افزار AERMOD اجرا و پراکندگی غلظت $PM_{2.5}$ در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل اتوبوس‌های مسیر BRT با میزان انتشار مشخص آلاینده $PM_{2.5}$ به عنوان یک منبع خطی سطحی در نظر گرفته شد. واحد نرخ انتشار از منابع سطحی در این مدل گرم بر ثانیه در مترمربع است؛ یعنی در هر ثانیه از واحد سطح چه مقدار آلاینده وارد هوا می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روند رانندگی

نمودار حجم ترافیک روزانه برای ساعات مختلف یک روز کاری شهر تبریز حداثی چهارراه شریعتی تا فلکه دانشگاه برای هر دو مسیر رفت و برگشت در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پیک کاری اتوبوس‌های مسیر BRT در میانه روز، در بازه ساعتی ۱۴ تا ۱۶ و در ساعات ابتدایی روز در بازه ساعتی ۷ تا ۸ صبح است. همچنین، تردد اتوبوس‌های BRT در اوایل و اواخر روز در مقایسه با ساعات دیگر کم‌تر است.

الگوی رانندگی و سرعت خودرو تأثیر زیادی بر میزان انتشار آلاینده‌ها از خودروها دارد. شکل (۲) سرعت متوسط تردد در مسیر BRT شهر تبریز در مقایسه با شهرهای آلمانی، بوگاتا، مکزیکو سیتی، سائوپالو و پونه در ساعات مختلف روز را نشان می‌دهد (ISSRC، ۲۰۰۸). با توجه به شکل (۲) بیشترین سرعت متوسط در شهر تبریز در ابتدای روز اتفاق می‌افتد. همچنین در ساعت ۷ صبح سرعت متوسط 20 km/h ثبت شد که این مقدار در ساعت ۸ صبح به 13 km/h می‌رسد. این مقدار در ساعت ۹ صبح مجدداً افزایش می‌یابد که بعد از آن روند نزولی سرعت تا حدود 12 km/h تا انتهای روز می‌رسد. شکل (۲) نشان می‌دهد که هرچند ترکیب ناوگان و الگوی رانندگی در شهرهای مختلف متفاوت است، اتوبوس‌های مسیر BRT شهر تبریز با مقدار km/h ۱۵، دارای سرعت میانگین پایین‌تری نسبت به سایر شهرها می‌باشند.

k-18 انجام شد. این اندازه‌گیری‌ها در بازه زمانی چند دقیقه‌ای در هر ساعت انجام شده و به کل ساعت تعمیم داده شدند.

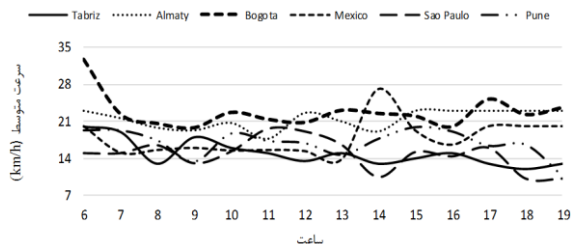
ترکیب و تعداد اتوبوس‌های BRT در این شهر از شرکت اتوبوس‌رانی کلان‌شهر تبریز استعلام شد. طبق این اطلاعات، ناوگان اتوبوس‌رانی این شهر شامل ۸۷۲ دستگاه اتوبوس است که از این تعداد ۷۳۹ دستگاه از سوخت گازوئیل استفاده می‌کنند که عمر متوسط آن‌ها ۶/۴ سال است. اتوبوس‌های دو کابین کینگ‌لانگ و اتوبوس‌های تک‌کابین شهاب، بنز و آکیا انواع اتوبوس‌های این شهر را تشکیل می‌دهند. تعداد ۹۳ اتوبوس در مسیر BRT در حال فعالیت هستند که تعیین سهم هر نوع اتوبوس در کل با استفاده از اطلاعات موجود ممکن است.

هر خودرو در مدل IVE به وسیله شاخص‌های تکنولوژی که ترکیبی از انواع حجم موتور، نوع سوخت، سیستم احتراق سوخت و سیستم کنترل انتشار تبخیری و اگزوزی هستند، تعیین می‌شوند. هر خودرو با شاخص تکنولوژی معین در این مدل در سه بازه کارکردی (کم‌تر از ۷۹ هزار کیلومتر، ۸۰-۱۶۱ هزار کیلومتر و بیشتر از ۱۶۱ هزار کیلومتر) جای می‌گیرد و به منظور تعیین شاخص تکنولوژی مناسب برای ناوگان اتوبوس این شهر تعیین رابطه بین سن خودرو و میزان کارکرد آن ضروری است که با پرسش از رانندگان ۷۶ اتوبوس (تعیین شده با استفاده از روش شارل کوکران و جدول مورگان) در مورد مدل خودرو و میزان کارکرد ثبت شده توسط کیلومترشمار خودروها، به دست آمد. حجم ترافیک ساعتی در این مسیر به تفکیک نوع خودرو به صورت دستی و توسط فرد شمرده و تعیین شد.

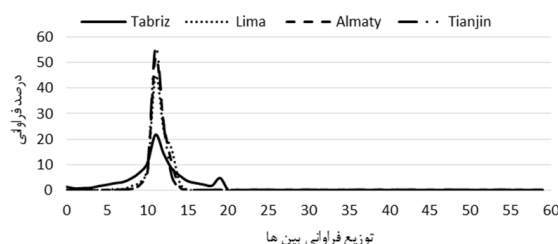
با توجه به فرهنگ رانندگی در کشور ایران و این که در توقف‌های طولانی موتور خودرو خاموش نمی‌شود و تعداد استارت‌ها کم است، از انتشارات مربوط به لحظه استارت در این مطالعه صرف‌نظر شد. کیفیت کلی سوخت گازوئیل مصرفی در شهر تبریز متوسط و مقدار گوگرد آن بیش از 500 ppm است (اطلاعات استعلامی از شرکت پالایش نفت تبریز) و دما و رطوبت نسبی متوسط در بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب 40°C و ۶۱٪ می‌باشد. شیب مسیر مورد مطالعه $1/25$ در نظر گرفته شده و از آنجایی که ضرایب انتشار پایه محلی برای این شهر وجود ندارد، از مقادیر پیش فرض IVE استفاده شد.

۲-۲- مدل پراکندگی AERMOD

مدل AERMOD یک مدل پراکندگی پایدار پلوم گاوسی است که توانایی بررسی نحوه‌ی پراکندگی آلاینده‌ها و تعیین غلظت آن‌ها در تمامی مناطق هموار و ناهموار و از انواع منابع انتشار در محدوده ۵۰ کیلومتری منابع را دارد (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۱). این مدل برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها



شکل ۲- مقایسه سرعت متوسط شهر تبریز با سایر شهرهای دنیا در ساعات مختلف روز



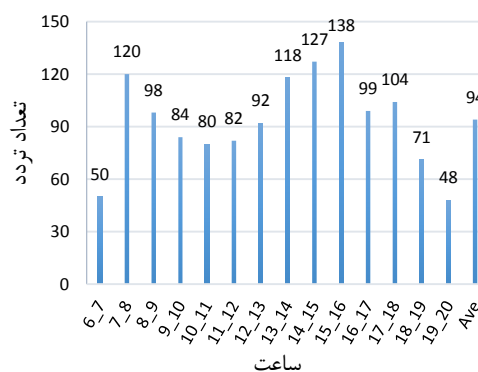
شکل ۳- مقایسه توزیع فراوانی بین‌های VSP/ES در شهر تبریز و شهرهای لیما، آلماتی و تیانجین

۳-۲- میزان انتشار آلاینده PM_{2.5}

با توجه به این‌که شیب مسیر BRT در مسیر رفت و برگشت متفاوت است، محاسبه میزان انتشار برای دو حالت با شیب ۱/۲۵ و ۱/۲۵- صورت گرفت و مقدار مسافت طی شده برای هر حالت برابر با نصف کل مسافت طی شده در نظر گرفته شد. از آنجایی‌که نوع و عمر اتوبوس از جمله عوامل تأثیرگذار در مقدار انتشار آلاینده‌ها است، میزان انتشار به تفکیک انواع اتوبوس دوکابین و تک‌کابین نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مقدار کل انتشار PM_{2.5} در ساعات مختلف روز با توجه به شیب مسیر و نوع اتوبوس بر حسب kg

ساعت	مقدار انتشار اتوبوس تک‌کابین (kg)		مقدار انتشار اتوبوس دوکابین (kg)		مجموع (kg)	
	شیب ۱/۲۵-	شیب ۱/۲۵	شیب ۱/۲۵-	شیب ۱/۲۵	شیب ۱/۲۵-	شیب ۱/۲۵
۶-۷	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۶۹	۰/۷۲
۷-۸	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۵۴	۰/۵۷	۱/۵۴	۱/۵۲
۸-۹	۱/۳۵	۱/۳۹	۰/۵۹	۰/۶	۱/۹۴	۱/۹۹
۹-۱۰	۰/۷	۰/۷۳	۰/۳۴	۰/۳۶	۱/۰۴	۱/۰۹
۱۰-۱۱	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۳۳	۰/۳۴	۱/۱۸	۱/۲۳
۱۱-۱۲	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۳۳	۰/۳۴	۱/۲۷	۱/۳۲
۱۲-۱۳	۱/۱۹	۱/۲۴	۰/۳۸	۰/۳۹	۱/۵۷	۱/۶۳
۱۳-۱۴	۱/۴۱	۱/۴۷	۰/۵۸	۰/۶	۱/۹۹	۲/۰۷
۱۴-۱۵	۱/۳۵	۱/۳۹	۰/۸۴	۰/۸۷	۲/۱۹	۲/۲۶
۱۵-۱۶	۱/۰۱	۱/۰۵	۰/۸۳	۰/۸۶	۱/۸۴	۱/۹۱
۱۶-۱۷	۰/۹۶	۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۱/۴۵	۱/۵۱
۱۷-۱۸	۱/۰۸	۱/۱۲	۰/۵۷	۰/۶	۱/۶۵	۱/۷۲
۱۸-۱۹	۰/۹	۰/۹۳	۰/۴۳	۰/۴۵	۱/۳۳	۱/۳۸
۱۹-۲۰	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۸۸	۰/۹۱
مجموع	۲۸/۱۱		۱۳/۶۲		۴۱/۷۳	

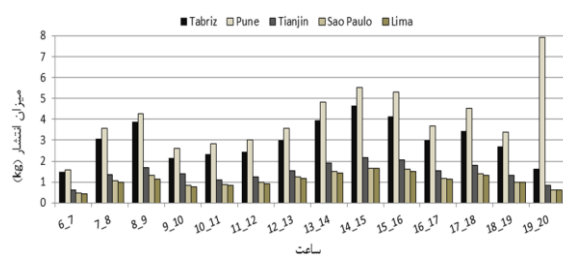


شکل ۱- نمودار حجم ترافیک روزانه

بررسی چرخه رانندگی با استفاده از توزیع بین‌های VSP/ES نشان می‌دهد که بیشترین شرایط رانندگی در محدوده تنش موتور کم رخ داده و بین‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ بالاترین فراوانی را دارند که بین ۱۱ نشان‌گر شرایط رانندگی با توقف بالا به علت ترافیک سنگین و وجود چراغ‌های راهنما و یا توقف در ایستگاه‌ها است. بین‌های ۱۰ و کمتر از آن نشان‌گر رانندگی نامنظم با شتاب‌گیری‌ها و کاهش‌های شتاب‌های ۱۲ و بالاتر مربوط به شرایط رانندگی با حالت منظم‌تر و یکنواخت‌تر است. شکل (۳) توزیع بین متوسط در شهر تبریز را در مقایسه با شهرهای لیما، آلماتی و تیانجین در طول روز را نشان می‌دهد. در شهر تبریز نیز مانند سایر شهرها بیشترین توزیع فراوانی در بین ۱۱ اتفاق می‌افتد ولی در مورد شهر تبریز بین ۱۱ درصد فراوانی کمتری دارد. با این حال بین‌های ۱۰ و پایین‌تر از آن فراوانی بیشتری نسبت به سایر شهرها دارد که از دلایل آن می‌توان به سرعت متوسط کم‌تر و کوتاهی مسیر مورد مطالعه اشاره کرد.

در فرودگاه بین‌المللی شهید مدنی تبریز مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به این گلباد، جهت باد غالب شهر تبریز ۳۶ درجه شمال شرقی است. با توجه به فراهم نبودن امکانات لازم جهت اندازه‌گیری غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در محدوده خیابان امام خمینی نتایج حاصل از نرم‌افزار AERMOD با استفاده از داده‌های سه ایستگاه پایش آلودگی هوای نزدیک این خیابان، ایستگاه‌های آبرسان، باغشمال و راسته‌کوچه، بررسی شد. از آنجایی که، در طول مسیر مورد مطالعه سه پایانه اتوبوس‌رانی قرار دارد و هر اتوبوس قبل از شروع به سرویس‌دهی حدود ۱۵ الی ۲۰ دقیقه به صورت درجا در این پایانه‌ها فعالیت می‌کند که این خود یکی از دلایل انتشار $PM_{2.5}$ در این محدوده است. به منظور بررسی اثرات انتشارات در جا اتوبوس‌ها و در دسترس نبودن اطلاعات کافی در این مورد، اثرات این انتشارات در سه حالت زیر بررسی شد.

در حالت اول، هیچ‌گونه انتشاری به فعالیت درجا اتوبوس‌ها اختصاص داده نشد و در حالت دوم و سوم به ترتیب ۵ و ۱۰ درصد از میزان انتشار کل به این فعالیت درجا اختصاص داده شد. نتایج روزانه حاصل از مدل پراکندگی AERMOD در هر یک از این حالت‌ها با داده‌های سه ایستگاه موردنظر (گزارش شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آذربایجان شرقی) در بازه زمانی اسفند ماه سال ۱۳۹۵ مقایسه شد. مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی غلظت $PM_{2.5}$ در محل سه ایستگاه و نتایج حاصل از مدل AERMOD در جدول (۲) گزارش شده است. مقایسه نتایج حاصل از AERMOD و داده‌های ثبت شده نشان داد که در ایستگاه آبرسان مقدار انتشار در مسیر BRT بیشترین تأثیر را بر غلظت $PM_{2.5}$ دارد. نتایج حالت اول نشان می‌دهد که سهم تردد اتوبوس‌ها در غلظت $PM_{2.5}$ در این ناحیه حدود ۶۰٪ است. در دو ایستگاه دیگر تأثیر اندک تردد در مسیر BRT بر غلظت $PM_{2.5}$ مشاهده می‌شود. به‌طوری که سهم تردد در غلظت این آلاینده در این دو ایستگاه به ترتیب حدود ۵۰٪ و ۰/۵٪ است.



شکل ۴- میزان انتشار $PM_{2.5}$ در شهر تبریز با شهرهای پونه، تیآنجین، ساؤپائولو و لیما

نتایج مربوط به میزان انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ به تفکیک نوع اتوبوس و شیب مورد بررسی در ساعات مختلف روز در جدول (۱) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ساعات ابتدایی و انتهایی روز کاری، کم‌ترین میزان انتشار رخ داده و در طول یک روز کاری چهار پیک انتشاری در بازه‌های زمانی ۸-۹، ۱۳-۱۴، ۱۵-۱۶ و ۱۵-۱۶ رخ می‌دهد که در حدود ۴۰٪ از کل انتشار روزانه را تشکیل می‌دهند. از جمله دلایل انتشار زیاد در این چهار بازه زمانی، افزایش تداخل مسیر BRT با مسیر عبوری خودروهای سواری سبک و افزایش تردد آن‌ها است که منجر به کاهش سرعت متوسط تردد اتوبوس‌های BRT می‌شود. این موضوع نشان‌گر وابستگی بالای میزان انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ به سرعت تردد و شرایط ترافیکی بوده و میزان کل انتشار این آلاینده در هر ساعت از روز با توجه به شرایط رانندگی، سرعت متوسط و پارامترهای محیطی تغییر می‌کند. میزان کل انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ حاصل از اتوبوس‌های BRT در مسیر موردنظر در حدود ۴۱/۷ کیلوگرم برای هر روز کاری بود که اتوبوس‌های تک-کابین با انتشار بیش از ۲۸ کیلوگرم در روز، در حدود ۷۰٪ از انتشار این آلاینده، را به خود اختصاص داده‌اند؛ و این موضوع با توجه به تعداد بالای این اتوبوس‌ها در این مسیر و نیز کیفیت پایین فرایند احتراق در موتور آن‌ها قابل قبول است. میزان انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ در حالت موتور گرم در شهر تبریز با شهرهای لیما- پرو، پونه- هند، ساؤپائولو- برزیل و تیآنجین- چین مقایسه شد که در آن‌ها از میزان انتشار در لحظه استارت صفر بوده و همچنین طول مسیر و میزان تردد نیز برابر در نظر گرفته شد. نتایج این مقایسه در شکل (۴) نشان داده شد. شکل (۴) نشان می‌دهد که میزان انتشار $PM_{2.5}$ در شهر تبریز در حالت شرایط برابر با سایر شهرها، فقط با شهر پونه- هند قابل مقایسه است اما با مقدار انتشار در سایر شهرها تفاوت زیادی وجود دارد. این در حالی است که در حدود ۹۰٪ اتوبوس‌ها در شهر پونه- هند بیش از ۱۶۱ هزار کیلومتر کارکرد داشته و استاندارد کنترل انتشاری پایین‌تر از Euro1 است. از دلایل قابل مقایسه بودن مقدار انتشار شهر تبریز پایین بودن سرعت متوسط تردد در این شهر نسبت به شهر پونه می‌باشد. این مقایسه میزان انتشار در شهر تبریز با دیگر شهرها نشان می‌دهد که پایین بودن سرعت متوسط تردد و شرایط غیریکنواخت رانندگی در مسیر BRT نسبت به کیفیت موتور اتوبوس‌ها، به مراتب تأثیر بیشتری بر میزان انتشار دارند.

۳-۳- نتایج مدل پراکندگی AERMOD

برای بررسی وضعیت سرعت و جهت باد شهر تبریز، گلباد پنج ساله این شهر با استفاده از اطلاعات ایستگاه هواشناسی واقع

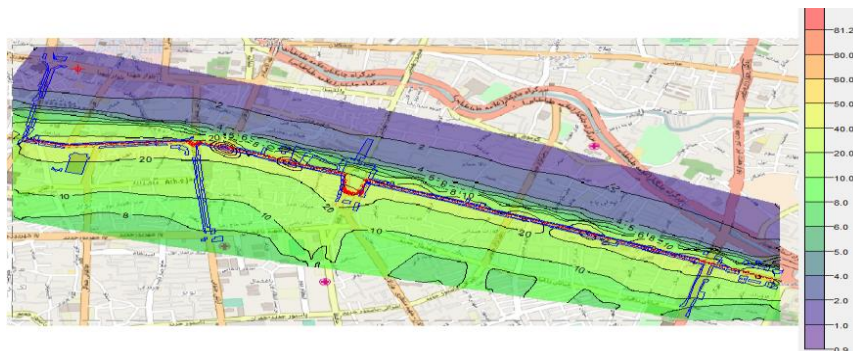
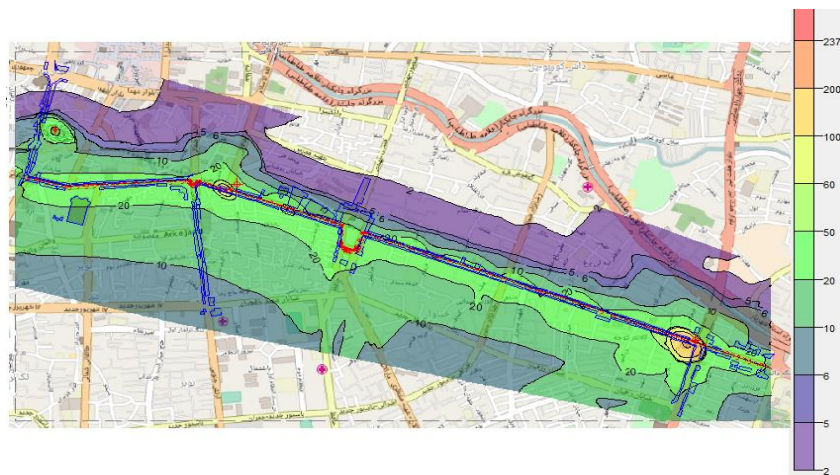
جدول ۲- داده‌های اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از مدل پراکندگی AERMOD در محل ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	میانگین غلظت ۲۴ ساعته ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	نتایج حالت اول ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	نتایج حالت دوم ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	نتایج حالت سوم ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ایستگاه آبرسان	۱۸/۲۸	۱۰/۹۵	۱۴/۹۳	۲۰/۸۶
ایستگاه باغشمال	۱۶/۹۲	۸/۳۵	۸/۹۲	۹/۱۳
ایستگاه راسته‌کوچه	۲۸/۴۳	۱/۳۴	۱/۸۲	۲/۱۳

آن‌ها می‌توان مشاهده کرد که در حالت اول که هیچ انتشاری به پایانه‌ها اختصاص داده نشد، تفاوت این داده‌ها بسیار بالاتر بوده و در حالت دوم این تفاوت مقداری کاهش یافته و در حالت سوم به کم‌ترین مقدار ممکن در بین سه حالت رسیده است. شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب پراکندگی آلاینده $\text{PM}_{2.5}$ در مسیر مورد مطالعه را برای حالت‌های اول، دوم و سوم را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها کاهش غلظت این آلاینده با دور شدن از منبع مشاهده می‌شود. با توجه به این که جهت باد غالب در شهر تبریز شمال شرقی است، نقاط جنوبی و جنوب‌غربی مسیر BRT در معرض آلودگی بیشتری قرار دارند.

به‌طوری‌که سهم تردد در غلظت این آلاینده در این دو ایستگاه به ترتیب حدود ۵۰٪ و ۰/۰۵٪ است. از جمله دلایل تأثیر کم مقدار انتشار در مسیر BRT بر دو ایستگاه باغشمال و راسته‌کوچه دوری این دو ایستگاه از مسیر BRT است. این موضوع نشان می‌دهد که در هر سه ایستگاه تأثیر عواملی چون فعالیت در جای اتوبوس‌ها، تردد وسایل نقلیه سبک، وجود مسیرهای دیگر جهت تردد اتوبوس‌ها و نیز انتشار غیر آگزوزی از دیگر دلایل انتشار $\text{PM}_{2.5}$ هستند.

پس از مقایسه غلظت آلاینده حاصل از این سه حالت در محل ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و داده‌های ثبت شده در

شکل ۵- توزیع غلظت $\text{PM}_{2.5}$ در منطقه مورد مطالعه (حالت ۱)شکل ۶- توزیع غلظت $\text{PM}_{2.5}$ در منطقه مورد مطالعه (حالت دوم)



شکل ۷- توزیع غلظت $PM_{2.5}$ در منطقه مورد مطالعه (حالت سوم)

۴- نتیجه گیری

از آن جایی که اتوبوس‌های گازوئیلی شهر تبریز منبع اصلی انتشارات آلاینده $PM_{2.5}$ هستند، در این مطالعه مدل انتشار IVE به منظور برآورد میزان انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ از اتوبوس‌های مسیر BRT، حدفاصل چهارراه شریعتی تا فلکه دانشگاه (به طول ۴ کیلومتر) به عنوان مطالعه موردی، مورد استفاده قرار گرفته و مدل پراکندگی AERMOD نیز به منظور بررسی نحوه پراکندگی این آلاینده در محیط اطراف و تعیین اثرات این منبع انتشار بر کیفیت هوای اطراف مورد استفاده قرار گرفت. این مسیر بنابر شرایط استقرار آن و نزدیکی با مناطق پرتردد و سازمان‌های مهم شهر تبریز یکی از مسیرهای پرتردد است.

نتایج مدل IVE نشان می‌دهند که میزان انتشار آلاینده $PM_{2.5}$ در ساعات مختلف روز و با توجه به میزان تردد و سرعت متوسط متفاوت است. در ساعات اولیه صبح، ساعت ۸، بیشترین میزان انتشار اتفاق می‌افتد؛ و در ساعات بعدی روز نیز بیشترین میزان انتشار در میانه روز، در بازه ۱۳ تا ۱۶ اتفاق می‌افتد. تغییرات ارتفاع (شیب) عامل دیگری است که بر میزان انتشار تأثیرگذار است؛ هرچند نسبت به عوامل دیگر تأثیر کم‌تری بر مقدار انتشار $PM_{2.5}$ را دارد. در میان اتوبوس‌های مسیر BRT شهر تبریز، اتوبوس‌های تک‌کابین مسئول انتشار حدود ۷۰٪ از میزان کل انتشار $PM_{2.5}$ در طول روز هستند. سرعت پایین تردد و بالا بودن سن ناوگان حمل‌ونقل در کنار مسائلی چون کیفیت نامناسب سوخت و مسیر ازجمله دلایل انتشار زیاد $PM_{2.5}$ در طول مسیر هستند.

نتایج پراکندگی حاصل از مدل AERMOD با داده‌های غلظت سه ایستگاه پایش آلودگی هوا مستقر در نزدیکی این مسیر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که علاوه بر تأثیر فعالیت اتوبوس‌ها در میزان انتشار، فعالیت در جای اتوبوس‌ها در پایانه‌های مستقر در روی این مسیر نیز بایستی بررسی شوند. این پایانه‌ها به عنوان منابع نقطه‌ای در نظر گرفته شده و به دلیل عدم اطلاعات کافی در مورد نحوه انتشار

اتوبوس‌ها در پایانه‌ها، این انتشارات با تخصیص ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ از انتشارات کل به این بخش از فعالیت خودروها در سه حالت مورد بررسی قرار گرفت. پس از مقایسه غلظت آلاینده حاصل از این سه حالت در محل ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و داده‌های ثبت شده در آن‌ها می‌توان مشاهده کرد که در حالت اول که هیچ انتشاری به پایانه‌ها اختصاص داده نشد، تفاوت این داده‌ها بسیار بالاتر بوده و در حالت دوم این تفاوت مقداری کاهش یافته و در حالت سوم به کم‌ترین مقدار ممکن در بین سه حالت رسیده است.

مقایسه نتایج حاصل از AERMOD و داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا نشان داد که سهم تردد در مسیر BRT بر غلظت $PM_{2.5}$ در ناحیه آبرسان حدود ۶۰٪ است. در دو ایستگاه باغشمال و راسته‌کوچه تأثیر اندک تردد در مسیر BRT بر غلظت این آلاینده مشاهده شد، به‌طوری‌که سهم تردد در غلظت $PM_{2.5}$ در این دو ایستگاه به ترتیب حدود ۵۰٪ و ۰/۰۵٪ است. از جمله دلایل تأثیر کم مقدار انتشار در مسیر BRT بر دو ایستگاه باغشمال و راسته‌کوچه، دوری این دو ایستگاه از مسیر BRT است. این موضوع نشان می‌دهد که در هر سه ایستگاه تأثیر عواملی چون فعالیت در جای اتوبوس‌ها، تردد وسایل نقلیه سبک، وجود مسیرهای دیگر جهت تردد اتوبوس‌ها و نیز انتشار غیر آگزوزی از دیگر دلایل انتشار $PM_{2.5}$ هستند.

۵- مراجع

اشرفی خ، شفیع‌پور م، سلیمیان م، مومنی مر، "تعیین میزان انتشار و مدل‌سازی نحوه پراکنش آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی از مخازن ذخیره‌ای واقع در منطقه عسلویه"، مجله محیط‌شناسی، ۱۳۹۱، ۳۸ (۳)، ۴۷-۶۰.

اشرفی خ، شفیع‌پور مطلق م، بختیاری‌ارگسی ی، "تخمین میزان انتشار آلاینده‌های جاده ترانزیتی امام رضا (ع) در محدوده شهرستان پاکدشت با مدل شبیه ساز IVE"، دومین همایش

- Dresser AL, Huizer RD, "CALPUFF and AERMOD model validation study in the near field: Martins Creek revisited", Journal of the Air and Waste Management Association, 2011, 61 (6), 647-659.
- Gibson MD, Kundu S, Satish M, "Dispersion model evaluation of PM_{2.5}, NO_x and SO₂ from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model", Atmospheric Pollution Research, 2013, 4 (2), 157-167.
- Guo H, Zhang QY, Shi Y, Wang DH, "Evaluation of the International Vehicle Emission (IVE) model with on-road remote sensing measurements", Journal of environmental sciences, 2007, 19 (7), 818-826.
- Hadlocon LS, Zhao LY, Bohrer G, Kenny W, Garrity SR, Wang J, Wyslouzil B, Upadhyay J, "Modeling of particulate matter dispersion from a poultry facility using AERMOD", Journal of the Air & Waste Management Association, 2015, 65 (2), 206-217.
- Hussain Shah I, Zeeshan M, "Estimation of light duty vehicle emissions in Islamabad and climate co-benefits of improved emission standards implementation", Atmospheric Environment, 2016, 127, 236-243.
- ISSRC, "IVE Model User Manual, Version 2.0", International Sustainable Systems Research Center, 2008.
- Kittelson DB, "Engines and nanoparticles: a review", Journal of Aerosol Science, 1998, 29 (5), 575-588.
- Kholod N, Evans M, Gusev E, Yu S, Malyshev V, Tretyakova S, Barinov A, "A methodology for calculating transport emissions in cities with limited traffic data: Case study of diesel particulates and black carbon emissions in Murmansk", Science of The Total Environment, 2016, 547, 305-313.
- Kloog I, Coull BA, Zanobetti A, Koutrakis P, Schwartz JD, "Acute and chronic effects of particles on hospital admissions in New-England", PloS one, 2012, 7 (4), e34664.
- Langner C, Klemm O, "A comparison of model performance between AERMOD and AUSTAL2000", Journal of the Air and Waste Management Association, 2011, 61 (6), 640-646.
- Martinelli N, Olivieri O, Girelli D, "Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review", European Journal of Internal Medicine, 2013, 24 (4), 295-302.
- Mishra D, Goyal P, "Estimation of vehicular emissions using dynamic emission factors: A case study of Delhi, India", Atmospheric Environment, 2014, 98, 1-7.
- Misra A, Roorda MJ, MacLean HL, "An integrated modelling approach to estimate urban traffic emissions", Atmospheric Environment, 2013, 73, 81-91.
- Nagpure A, Gurjar B, Kumar P, "Impact of altitude on emission rates of ozone precursors from gasoline-driven light-duty commercial vehicles", Atmospheric Environment, 2011, 45 (7), 1413-1417.
- United Nations, "World's population increasingly urban with more than half living in urban areas", United Nations, 2014.
- ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۲.
- اخبار خودرو، ۱۳۹۲.
- <http://www.donyayekhdro.com/news/25291>.
- انجمن ارزیابی محیط زیست ایران، ۱۳۹۲.
- <http://www.iraneia.ir/fa/NewsDetails.aspx?NewsId=141>.
- شفابخش غ، تقی‌زاده س ع، مهرابی س، "بررسی تأثیر حجم ترافیک و سرعت متوسط ناوگان در میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از حمل‌ونقل در خیابان‌های شهری - مطالعه موردی: خیابان فرهنگ‌سازی"، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل‌ونقل ترافیک، ۱۳۹۴.
- فاتحی‌فر ا، کاه‌فروشان د، "طرح تدوین فهرست منابع انتشار آلاینده‌های هوای شهر تبریز"، اداره کل حفاظت محیط‌زیست آذربایجان شرقی و دانشگاه صنعتی سهند - پژوهشکده مهندسی محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۳۹۲.
- عنایتی‌آهنگر ف، میرشی س، حامدی م، دهقانی س، "تخمین تأثیر بار ترافیکی بر انتشار آلودگی در یک قطعه بزرگراهی تهران"، اولین کنفرانس مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۱.
- نادری م، "فیلتر دوده دیزل: راهی مؤثر برای کاهش آلودگی موتورهای دیزلی و ذرات معلق"، گزارش تهیه شده در دفتر محیط زیست معاونت حمل و نقل و ترافیک و شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۳.
- Adachi K, Tainosho Y, "Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust", Environment International, 2004, 30 (8), 1009-1017.
- Bhola R, Gurjar LT, Chandra M, Ojha SP, "Air Pollution (Health and Environmental Impacts)", CRC Press, New York, US, 2010.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RF, Mittleman MA, "Particulate matter air pollution and cardiovascular diseases", Circulation, 2010, 121 (21), 2331-2378.
- Brunekreef B, Holgate ST, "Air pollution and health", The Lancet, 2002, 360 (9341), 1233-1242.
- Chen F, Hu W, Zhong Q, "Emissions of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Fu Gui-shan Tunnel of Nanjing, China", Atmospheric Research, 2013, 124, 53-60.
- Chen H, Bai S, Eisinger D, Niemeier D, Claggett M, "Predicting near-road PM_{2.5} concentrations: comparative assessment of CALINE4, CAL3QHC, and AERMOD", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009, 2123, 26-37.
- De Visscher A, "Air dispersion modeling: foundations and applications", John Wiley & Sons 2013.

- Oanh NTK, Thuy Phuong MT, Permadi DA, "Analysis of motorcycle fleet in Hanoi for estimation of air pollution emission and climate mitigation co-benefit of technology implementation", *Atmospheric Environment*, 2012, 59, 438-448.
- Perugu H, Wei H, Yao Z, "Integrated data-driven modeling to estimate PM_{2.5} pollution from heavy-duty truck transportation activity over metropolitan area", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016, 46, 114-127.
- Pope III CA, Ezzati M, Dockery DW, "Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States", *The New England Journal of Medicine*, 2009, 360, 376-386.
- Rose D, Wehner B, Ketzel M, Engler C, Voigtländer J, Tuch T, Wiedensohler A, "Atmospheric number size distributions of soot particles and estimation of emission factors", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, 6 (4), 1021-1031.
- Shrestha SR, Oanh NTK, Xu Q, Rupakheti M, Lawrence MG, "Analysis of the vehicle fleet in the Kathmandu Valley for estimation of environment and climate co-benefits of technology intrusions", *Atmospheric Environment*, 2013, 81, 579-590.
- USEPA, "User's Guide for The AMS/EPA Regulatory Model-AERMOD", Research Triangle Park, Ed., ed. North Carolina, 2004.
- Vojtisek-Lom M, Cobb J, "Vehicle mass emissions measurement using a portable 5-gas exhaust analyzer and engine computer data", *Proceedings: Emission Inventory, Planning for the Future*, 1997.
- Wang H, Chen C, Huang C, Fu L, "On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China", *Science of the Total Environment*, 2008, 398 (1), 60-67.
- WHO, "Burden of proof from ambient and household air pollution", 2014.
- Zou B, Zhan FB, Wilson JG, Zeng Y, "Performance of AERMOD at different time scales", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2010, 18 (5), 612-623.

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of Emission and Dispersion of PM_{2.5} Pollutant Emitted from BRT Buses in Tabriz City

Leila Khazini ^{a,*}, Mina Jamshidi Kalajahi ^a, Khashayar Qiami Giashi ^a, Khosro Ashrafi ^b

^a Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

^b Faculty of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, 141556619, Iran

Received: 19 October 2018; Accepted: 23 June 2019

Keywords:

Air pollution, Particulate matters, PM_{2.5}, BRT bus, IVE emission mode, AERMOD dispersion model.

1. Introduction

Air pollution and its adverse effects on the health, economic, and social issues of societies are so high that many countries in the world put it at the head of their economic and social development programs. Particulate matters, PM_{2.5}, which mostly are emitted from gas oil fueled buses in urban environments, is one of the most important pollutants, which has significant effects on the health of individuals and the environment. About 72% of air pollution in Tabriz is due to mobile sources (Kahforooshan and Fatehifar, 2013). PM_{2.5} concentration in Tabriz was 18 µg/m³ in 2015, while the standard concentration for this pollutant is 12 µg/m³. In this paper, the IVE emission model was used to determine the amount of PM_{2.5} pollutants emitted from BRT buses in Tabriz, 4 km distance from Shariati intersection to the university intersection as a case study and AERMOD dispersion model was used to determine the contribution of this fleet to the concentration of PM_{2.5} pollutant which is measured at three air quality monitoring stations.

2. Methodology

2.1. IVE emission model

IVE model as one of the most accurate and useful emission models has a high ability to spot any driving cycle and fleet distribution which are mostly available in developing countries. Input data about driving cycle, traffic volume, and bus technology properties were collected by the use of GPS system in buses, manually counting, and inquired data, respectively (ISSRC, 2008).

2.2. AERMOD dispersion model

AERMET and AERMAP preprocessors' outputs, which were defined by proper site specific data, were used as inputs to the AERMOD dispersion model. In this case study, PM_{2.5} emission from BRT buses is considered as a linear surface source (USEPA, 2004).

3. Results and discussion

3.1. IVE model's results

Two peaks of traffic volume of BRT buses were observed at 7-8 in the morning and 14 to 16 in the afternoon of a week-day. Traffic is lower in the early and late hours of the day. BRT buses in Tabriz experienced lower average speed (15 km/h) in comparison to Sao Paulo-Brazil, Bogota-Colombia, Mexico City-Mexico, Almaty-Kazakhstan, and Pune-India and in early morning hours experience maximum speed.

* Corresponding Author

E-mail addresses: khazini@tabrizu.ac.ir (Leila Khazini), m.jamshidi94@ms.tabrizu.ac.ir (Mina Jamshidi Kalajahi), khashayar_qiami@yahoo.com (Khashayar Qiami Giashi), khashrafi@ut.ac.ir (Khosro Ashrafi).

Due to the high number of intersections in BRT routes and stations, buses experience a more non-uniform driving cycle with instantaneous acceleration changes and lower average speeds.

Overall emission amount of $PM_{2.5}$ was 41.7 kg/day and single cabin buses, with 28 kg/day, are accounting for about 70% of that. The results show that BRT buses experience lower emission amount at early morning and late evening hours, commensurate with traffic volume, while four emission peaks have occurred in 8-9, 13-14, 14-15, and 15-16 hour intervals, which accounts to 40% of overall daily $PM_{2.5}$ emission.

3.2. AERMOD dispersion model's results

According to Tabriz's wind rose, the prevailing wind is 36 degrees north-eastern. Studies showed that, in addition to the effect of bus activity on the emission amount of pollutants, in site activities in terminals should also investigated. These terminals are considered as point sources and due to lack of sufficient information on emission amounts due to site activities, 0%, 5%, and 10% of overall emission (3 states) were allocated to these activities. Dispersion of $PM_{2.5}$ pollutant under three states was shown in Figure 1(a), (b), and (c) respectively and by receding from sources concentration decreases. Because the prevailing wind direction is northeastern, the southern and southwestern parts of the BRT route are more exposed to air pollution.

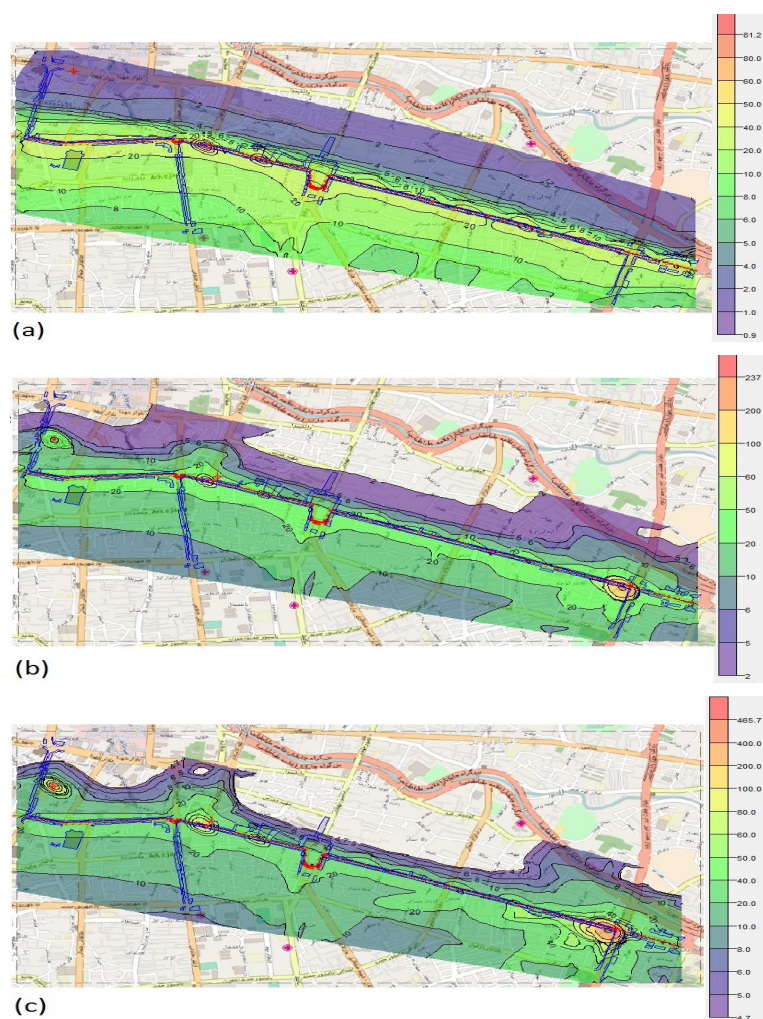


Fig. 1. Dispersion of $PM_{2.5}$ pollutant under states: a) 0% allocation of emission to terminals, b) 5% allocation of emission to terminals, c) 10% allocation of emission to terminals

4. Conclusions

IVE emission model and AERMOD dispersion model were used to study the emission amount of $PM_{2.5}$ pollutants from gas oil fueled BRT buses in Tabriz and determine dispersion and effect of this pollutant in the urban atmosphere. The $PM_{2.5}$ pollutants emission are experienced two emission peaks in 8-9 and 13-16 hour

intervals and more than two-third of daily emission is from single-cabin buses. The contribution of BRT buses to the concentration of $PM_{2.5}$ at the Abresan air quality monitoring station is about 60%, which is about 50% and 0.5% respectively in Baghshomal and Raste Kuche stations, latter is further than two others.

5. References

- ISSRC, "IVE Model User Manual, Version 2.0", International Sustainable Systems Research Center, 2008.
- Kahforooshan D, Fatehifar E, Tabriz Air Pollutants List, Sahand University of Technology, 2013.
- USEPA, "User's Guide for The AMS/EPA Regulatory Model-AERMOD", Research Triangle Park, Ed., ed. North Carolina, 2004.