فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

بررسی میزان اثربخشی سامانه اتوبوس‌های سریع السیر (BRT) بر میزان انتشار آلاینده‌ها هوا با روش Tier2

(مطالعه موردی خط چهار BRT تهران–بزرگراه چمران)

مسعود جعفری کنگ[۱]، حمیدرضا پرتوی‌فر[۲]، احسان ایازی[۳]، مسعود خدادادی‌فرد[۴]

۱- کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران

۴- کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

امروزه آلودگی هوا در جهان به معضل بزرگی تبدیل شده که بر جنبه‌های گوناگون زندگی ساکنین شهرها تأثیرات منفی داشته و اهمیت رفع این معضل بر کسی پوشیده نیست. آلودگی هوا به عنوان یکی از مهمترین معضلات جوامع بشری که اثرات سوء آن بر انسان و موجودات زنده دیگر بسیار است، یکی از منابع آلودگی هوا حمل‌ونقل شهری است. برخی از پروژه‌های حمل‌ونقلی مانند توسعه و ساخت بزرگراه‌ها یا تعریض معابر باعث تشویق شهروندان به استفاده از خودروهای شخصی و در نهایت سبب افزایش میزان انتشار آلاینده‌ها درکلان‌شهرها می‌گردد. در این تحقیق جهت تأثیرگذاری سیاست‌های سیستم حمل‌ونقل عمومی، خط ۴ سیستم حمل‌ونقل انبوه‌بر تهران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است تا نتایج حاصله بصورت مدلی قابل ارزیابی باشد. سطح استاندارد خودروهای عبوری براساس یورو ۲ در محاسبات اعمال شده و براساس فاکتورهای روش Tier۲ آلودگی ناشی از سوخت خودرویی، خروجی‌هایی به‌گرم آلودگی درمسافت طی‌شده با احتساب استاندارد خودرویی داده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که قبل از احداث اتوبوس‌های تندرو انتشار آلاینده‌ها نسبت به استانداردهای اروپا در وضعیت بحرانی قرار داشته ولی پس از ایجاد خط ۴ اکثر استانداردها در حد قابل قبولی اعمال شده است.

واژگان کلیدی: آلاینده‌های هوا، حمل‌ونقل پایدار، سامانه اتوبوس تندرو،

۱– مقدمه

امروزه آلودگی هوا در جهان به معضل بزرگی تبدیل شده که بر جنبه‌های گوناگون زندگی ساکنین شهرها تأثیرات منفی فراوانی داشته و اهمیت رفع این معضل بر کسی پوشیده نیست. یکی از آثار استفاده از وسایل نقلیه موتوری، انتشار آلاینده‌ها در اثر مصرف سوخت است. گازهای آلاینده و گلخانه‌ای اثرات مخربی بر محیط زیست به جای می‌گذارند. نکته قابل توجه این است که بخش حمل‌ونقل بیشترین سهم را در تولید و انتشار این آلاینده‌ها دارد، به نحوی که ۹۲ درصد از ۸۵، NOx درصد از ۹۹، SO_2 درصد از CO و ۹۳ درصد CO_2 منتشر شده مربوط به بخش حمل‌ونقل است[۱]. هزینه اجتماعی، هزینه‌ای است که اثرات تخریب‌کننده یا سوء یک آلاینده بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان را برآورد می‌کند. متأسفانه این هزینه در اغلب مواقع در قیمت تمام شده یک پروژه حمل‌ونقلی در نظر گرفته نمی‌شود. در تعریف دیگر به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید، هزینه تخریب یا هزینه‌های اجتماعی گفته می‌شود. برای محاسبه هزینه‌های تخریب، نیاز به کمی کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثرپذیر (انسانی و طبیعی) است.

توجه به معضل آلودگی هوا در شهر تهران و تلاش در جهت کاهش آن بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی منابع آلودگی هوا به دو دسته اصلی منابع متحرک شامل انواع خودروها و منابع ثابت شامل نیروگاه‌ها، صنایع، منابع تجاری و خانگی تقسیم‌بندی می‌شوند[۲]. حدود ۸۸ درصد از آلودگی هوای تهران مربوط به منابع متحرک و تردد وسایل نقلیه در شهر است که اتوبوس‌های شهری بخش عمده‌ای از این منابع متحرک می‌باشند[۳]. لذا برآورد میزان انتشار آلاینده‌های حاصل از فعالیت اتوبوس‌ها در شهر تهران با در نظرگرفتن مسیر حرکت آنها، بسیار حائز اهمیت است که هدف اصلی این مطالعه می‌باشد.

۲- مرور مطالعات قبلی

مدل‌های گوناگونی در مطالعات متنوع، به منظور برآورد انتشار آلاینده‌های مختلف در انواع وسایل نقلیه ارائه شده است. با بررسی ۳۹ مدل که در آمریکا و اروپا تولید شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند این نتیجه حاصل شد که می‌توان تمامی مدل‌های برآورد انتشار را به دو دسته تقسیم نمود[۴]. دسته اول مدل‌هایی هستند که به منظور برآورد انتشار آلاینده‌ها از سرعت متوسط وسایل نقلیه به عنوان داده ورودی استفاده می‌کنند و در مقابل دسته دوم مدل‌هایی هستند که برای تطابق هر چه بیشتر با واقعیت از سیکل‌های رانندگی به عنوان داده ورودی استفاده می‌کنند. شایان ذکر است سیکل‌های رانندگی به عنوان تابعی از رفتار رانندگی و شرایط ترافیکی مطرح هستند. مدل «کاپرت[1]۲» و مدل «آلمان-سوئیس[2]» از مدل‌های مطرح اروپایی هستند که در دسته اول قرار می‌گیرند. مدل کاپرت۲ برای سطوح مختلفی از دقت طراحی شده و به فراخور اطلاعات موجود و دقت مورد نیاز می‌توان از آن استفاده نمود، اما به طور کلی از این مدل عمدتاً در حالت‌های کلی و در سطح ملی استفاده می‌شود [۵] و[۶] . مدل آلمان-سوئیس که ماحصل ۵ سال همکاری دو تیم آلمانی و سوئیسی است در دو سطح کلان نگر و جزء نگر قابل استفاده بوده و می‌تواند لیستی از آلاینده‌های جهانی و محلی منتشر شده از وسایل نقلیه را در هر دو سطح ارائه دهد[۷].

شیپر و همکاران به بررسی شرایط فنی خودروهای دیزلی و گازوئیلی در اتحادیه اروپا پرداختند. آنها اشاره کردند که با تغییر سیستم خودروهای جدید از گازوئیلی به دیزلی، در ۸ کشور عضو اتحادیه اروپا رفته رفته از میزان انتشار CO_2 کاسته شده است[۸]. چن و نیلور به بررسی نقش حمل و نقل در میزان انتشار آلاینده‌ها در آمریکا پرداختند. آنها ذکر کردند که حدود ۲۸ درصد از آلودگی هوا در این کشور در اثر حمل و نقل می‌باشد. همچنین به بررسی نقش کاربری زمین و توسعه زیرساختهای حمل و نقلی در تقاضای سفر و در نهایت در میزان انتشار آلاینده‌ها پرداختند[۹].

در مطالعه دیگری به اثر سیاستهای کاهش تراکم در بزرگراهها به عنوان یک راهکار کاهش آلاینده‌ها پرداخته شده است. در این تحقیق به اثرات سرعت جریان ترافیکی، ظرفیت بزرگراهها، تقاضای سفر و راهکارهای افزایش کارایی بزرگراه در میزان انتشار آلاینده‌ها اشاره شده است.[۱۰]

۳- خط ۴ سامانه اتوبوس‌های تندرو تهران

شهر تهران به دلیل داشتن جمعیت بالا (حدود ۸/۵ میلیون نفر) و در پی آن افزایش روز افزون سفرهای شهری، با مشکلات ترافیکی زیادی دست و پنجه نرم می‌کند[۱۱]. گزیده آمار و اطلاعات حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که بیشترین سهم در جابه‌جایی سفرهای روزانه این شهر مربوط به خودروهای شخصی و سایر می‌باشد (۴۳/۹ درصد). در این بین اتوبوس و مینی‌بوس با ۲۰ درصد، پس از تاکسی و ون در رتبه سوم قرار دارند[۱۲]. احداث خطوط BRT در کلان شهرها، با اختصاص دادن یک مسیر کاملا مجزا (محصور) ضمن افزایش سرعت این سیستم، می‌تواند حجم بالایی از مسافران را در مدت زمان کوتاه‌تری جابه‌جا کند. فاز اول خط ۴ سامانه اتوبوس‌های تندرو در ۱۶مرداد ۱۳۸۹ از پایانه افشار تا میدان جمهوری اسلامی به طول ۱۳/۷ کیلومتر با تعداد ۱۱ ایستگاه در دو جهت افتتاح گردید. مسافر جابه‌جا شده در این خط در سال ۱۳۸۹ برابر ۹۸ هزار نفر در روز اعلام شده است[۱۳]. همچنین در مهرماه ۱۳۹۰، فاز دوم این خط از میدان جمهوری اسلامی تا ترمینال جنوب به طول ۹۰۷۰متر و با تعداد ۹ ایستگاه افتتاح گردید[۱۴].

خشایی‌پور و همکارانش (۱۳۹۰) در بررسی خط چهار BRT شهر تهران نشان دادند که با احداث این خط در کریدور پایانه جنوب-پایانه افشار، میزان مسافر جابه‌جا شده ۳۱ درصد افزایش یافته و زمان سفر اتوبوس‌ها نسبت به قبل، ۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین طبق تحقیقات ایشان در این مسیر، میزان مصرف سوخت ۲/۳۴ درصد کاهش یافته است که مهمترین اثر

1 COPERT II
2 German-Swiss

جدول ۱ : خلاصه آمار و اطلاعات خط ۴ **BRT**

پارامتر	میزان و مقدار	واحد
طول خط	۱۳/۷۵	کیلومتر
طول خط جدا شده با نرده	۸/۵	کیلومتر
طول خط جدا نشده	۵/۲۵	کیلومتر
متوسط سرعت	۲۰/۱	کیلومتر بر ساعت
تعداد ایستگاه	۱۶	تعداد
تعداد اتوبوس	۶۰	تعداد
تعداد مسافر جابه‌جا شده در روز	۹۸۰۰۰	نفر- سفر
تعداد مسافر جابه‌جا شده در سال	۳۵۷۷۰۰۰۰	نفر- سفر

جدول ۲ : فاکتور انتشار آلاینده‌ها بر اساس نوع وسیله نقلیه

نوع وسیله	CO (g/km)	CH_4 (g/km)	NOx (g/km)	N_2O (g/km)	CO_2 lube (g/km)	PM (g/km)	$*CO_2$ (g/km)	$*SO_2$ (g/km)
سواری	۲/۱۸	۰/۳۴۹	۰/۲۴۳	۰/۰۱۲	۰/۵۳	۰/۰۰۲	۲۲۲/۶	۰/۰۲
اتوبوس	۲/۴۴	۰/۴۶۳	۱۰/۷	۰/۰۱۲	۱/۴۶	۰/۲۲	۹۲۶/۳	۰/۱۸

کاهش مصرف سوخت، کاهش در حجم آلاینده‌های موجود در هوا می‌باشد[۱۱].خلاصه ویژگی‌ها و پارامترهای عملکردی خط چهار سامانه BRT در جدول زیرگردآوری شده است. (جدول ۱)

۴- مدل‌سازی

در این قسمت برای محاسبه میزان آلاینده‌های منتشر شده، از روش تیر[1]۲ که جز مدل‌های دسته اول می‌باشد، استفاده شده است. در این روش برای گروه‌های مختلف وسیله نقلیه و براساس استاندارد آلایندگی اروپا[2]، میزان گازهای منتشر شده از جداول مربوطه استخراج می‌شود. استاندارد آلایندگی اروپا، میزان بیشینه‌ی مجاز برای انتشار گازهای آلاینده هر خودرو را، تعریف می‌کند. این استاندارد، انتشار اکسیدهای نیتروژن (NOx)، هیدروکربن‌ها (THC)، هیدروکربن‌های بدون متان (NMHC)، کربن دی‌اکسید (CO_2)، کربن مونوکسید (CO) و ذرات معلق (PM) را در بردارد. برای گونه‌های مختلف خودرو استانداردهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شود[۱۵]. تا قبل از سال ۱۳۹۱ خودروهای تولید شده در ایران، مطابق استاندارد یورو۲ می‌باشند[۱۶].

در روش تیر۲، هزینه نهایی آلودگی هوا از رابطه زیر بدست می‌آید (رابطه۱): [۱۵]

$$E_{ij} = \Sigma_k \left(\langle M_{jk} \rangle \times EF_{ijk} \right) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه:

E_{ij} : حجم آلاینده i منتشر شده از وسیله نقلیه j

M_{jk} : خودرو-کیلومتر طی شده در سال توسط دسته k از وسیله نقلیه j

EF_{ijk} : فاکتور انتشار یک دسته خاص(k) از آلاینده i برای وسیله نقلیه j

فاکتور انتشار(EF)، در مرجع [۱۵] بصورت جدول ارائه شده است. در این جداول بر اساس نوع وسیله نقلیه و استاندار

1 Tier 2
2 European emission standards (Euro)

آلایندگی اروپا، مقادیر انتشار هر یک از گازها را بر حسب گرم بر کیلومتر، ارائه شده‌است. این مقادیر بر اساس استاندارد خودروهای ایران (یورو۲) از جدول‌های مربوطه استخراج شده‌اند. نوع وسیله نقلیه و فاکتور انتشار هر آلاینده در جدول نشان داده شده است. در مرجع [۱۵] برای محاسبه مقادیر SO_2 و CO_2 متساعد شده از روش تیر ۱ استفاده شده است. این اعداد نیز برای خودروی سواری و اتوبوس محاسبه شده و در جدول ارائه شده‌اند.

* این مقادیر با استفاده از روش تیر ۱ محاسبه شده‌اند.

۵- برآورد میزان آلاینده‌ها

با توجه به احجام تردد وسایل نقلیه سال ۱۳۸۹ محدوده سامانه تندرو خط ۴، پس از اجرای سیستم خط ۴، نفر- سفر اتوبوس عادی به صورت کامل به اتوبوس‌های تندرو منتقل شده و بقیه از تاکسی و سواری شخصی به مد BRT منتقل شده‌اند. با این فرض که این تعداد به نسبت سهم هر یک از مدهای تاکسی و سواری از حجم مسافر جابه‌جا شده در سال، به سیستم جدید یعنی خط ۴ BRT، جذب شده‌اند.

همان‌طور که گفته شد شاخص‌ها برای اوج صبح محاسبه شده‌اند. بر اساس تعداد مسافر جابه‌جا شده در روز توسط خط ۴ BRT معادل ۹۸۰۰۰ نفر- سفر می‌باشد[۱۳]. برای اوج صبح این مقدار معادل ۹۸۰۰ نفر-سفر (ده درصد) در دو جهت در نظر گرفته شده است. برای تحقق این حجم فرض شده است که در اوج صبح، هر سه دقیقه یک دستگاه اتوبوس اعزام می‌شود. با در نظر گرفتن ۳۶۵ روز سال حجم مسافر جابه‌جا شده اوج صبح و کیلومتر طی شده در خط ۴ BRT به صورت زیر محاسبه می‌شود.

=مسافر جابه‌جا شده در اوج صبح توسط خط ۴ BRT در سال ۱۳۸۹

(رابطه ۲)نفر-سفر $= ۹۸۰۰ \times ۳۶۵ = ۳۵۷۷۰۰۰ =$

=کیلومتر پیموده شده در اوج صبح توسط خط ۴ BRT در سال ۱۳۸۹

(رابطه ۳) وسیله-کیلومتر $= ۲ \times \left(\frac{۶۰}{۳}\right) \times ۱۳.۷۵ \times ۳۶۵ = ۲۰۰۷۵۰ =$

سهم اتوبوس در سال ۱۳۸۹ از مسافر جابه‌جا شده برابر ۲۲ درصد است[۱۳]. همان‌طور که گفته شد، بر اساس اطلاعات سهم حمل‌ونقل همگانی پس از احداث این خط BRT ۳۰ درصد افزایش پیدا کرده است[۱۳]. بنابراین سهم این خط از مسافر جابه‌جا شده برابر ۲۸،۶ درصد (۲۸/۶=(۱۰۰/۳۰)×۲۲) خواهد بود. بر این اساس می‌توان ادعا کرد که حجم مسافر جابه‌جا شده در اوج صبح در سال ۱۳۸۹ توسط ۹ خط حذف شده (در صورت عدم اجرای خط ۴ اتوبوس‌های تندرو) برابر است با:

(رابطه ۴)نفر-سفر $= 2503900 = 3577000 \times \frac{0.22}{۰.۲۸۶}$

مسافر جابه‌جا شده در اوج صبح توسط اتوبوس در سال ۱۳۸۹ (در صورت عدم اجرای BRT)

سهم مسافر جابه‌جا شده توسط وسیله نقلیه شخصی در شهر تهران برای سال ۱۳۸۹ برابر ۳۹ درصد بوده‌است، که این مقدار برای تاکسی معادل ۲۲ درصد است[۱۳]. بنابراین نفر-سفر انتقال یافته از سواری شخصی و تاکسی به خط ۴ اتوبوس‌های تندرو به صورت زیر محاسبه می‌شود:

= نفر-سفر منتقل شده از سواری و تاکسی

(رابطه ۵)نفر- سفر $= ۱۰۷۳۱۰۰ - ۲۵۰۳۹۰۰ = ۳۵۷۷۰۰۰ =$

= نفر-سفر منتقل شده از سواری

(رابطه ۶)نفر- سفر $= ۶۸۶۰۸۰ = \frac{۳۹}{(۳۹+۲۲)} \times ۱۰۷۳۱۰۰ =$

=نفر-سفر منتقل شده از تاکسی

(رابطه ۷)نفر- سفر $= ۳۸۷۰۲۰ = \frac{۲۲}{(۳۹+۲۲)} \times ۱۰۷۳۱۰۰ =$

در نهایت شاخص نفر- سفر ارائه شده است. (جدول ۲)

جدول ۲: شاخص نفر- سفر در اوج صبح

مد	نفر-سفر
سواری شخصی و وانت	۶۸۶۰۸۰
تاکسی	۳۸۷۰۲۰
اتوبوس واحد	۲۵۰۳۹۰۰
BRT	۳۵۷۷۰۰۰

برای محاسبه نفر -کیلومتر، شاخص نفر- سفر در متوسط طول سفر ضرب شده است. متوسط طول سفر با اتوبوس در سال ۱۳۸۹ در شهر تهران برابر ۴/۱ کیلومتر است[۱۳]. در نتیجه نفر-کیلومتر طی‌شده در BRT و اتوبوس عادی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

= نفر-کیلومتر طی شده در BRT

(رابطه ۸) نفر-کیلومتر $= ۱۴۶۶۵۷۰۰ = ۳۵۷۷۰۰۰ \times ۴.۱ =$

= نفر-کیلومتر منتقل شده از اتوبوس عادی

(رابطه۹)نفر-کیلومتر ۱۰۲۶۵۹۹۰ = ۴.۱ × ۲۵۰۳۹۰۰ =

بنابراین نفر–کیلومتر منتقل شده از تاکسی و سواری برابر با ۴۳۹۹۷۱۰ (تفاضل نفر-کیلومتر BRT و اتوبوس عادی)، که این مقدار مشابه شاخص نفر- سفر به نسبت سهم هر یک تقسیم شده‌است.

=نفر-کیلومتر منتقل شده از سواری

(رابطه ۱۰) نفر-کیلومتر ۲۸۱۲۹۲۹ = $\frac{۳۹}{(۳۹+۲۲)}$ × ۴۳۹۹۷۱۰ =

=نفر-کیلومتر منتقل شده از تاکسی

(رابطه ۱۱) نفر-کیلومتر ۱۵۸۶۷۸۱ = $\frac{۲۲}{(۳۹+۲۲)}$ × ۴۳۹۹۷۱۰ =

برای محاسبه وسیله-کیلومتر طی شده سایر مدها، با داشتن نفر-کیلومتر هر مد وسیله-کیلومتر را از تقسیم نفر-کیلومتر بر ضریب سرنشین، بدست آورد. جدول ۳ ضریب سرنشین تهران را نشان می‌دهد.

در نتیجه وسیله-کیلومتر پیموده شده توسط هر مد در سال ۱۳۸۹ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

=وسیله-کیلومتر منتقل شده از سواری

(رابطه ۱۲) وسیله-کیلومتر ۲۰۰۹۲۳۵ = $\frac{۲۸۱۲۹۲۹}{۱.۴}$ =

=وسیله-کیلومتر منتقل شده از تاکسی

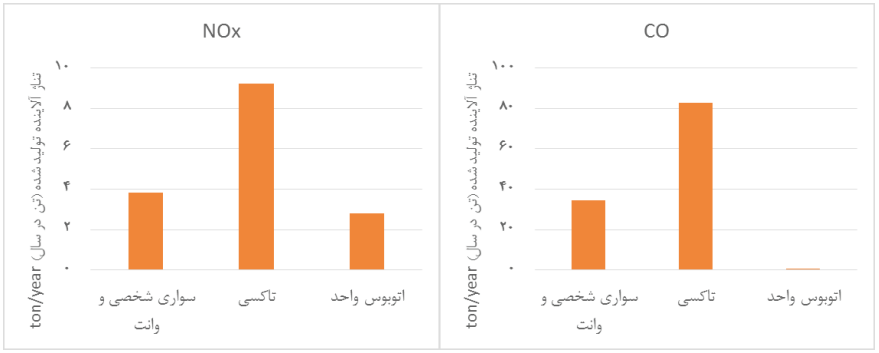
(رابطه ۱۳) وسیله-کیلومتر ۶۵۸۴۱۵ = $\frac{۱۵۸۶۷۸۱}{۲.۴۱}$ =

=وسیله-کیلومتر منتقل شده از اتوبوس عادی

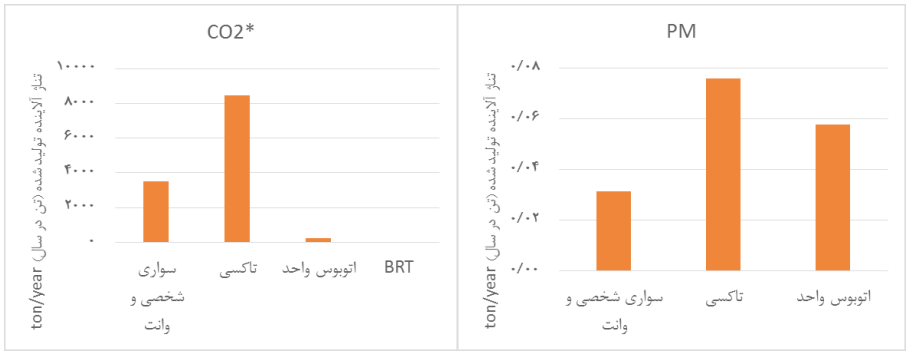
(رابطه ۱۴) وسیله-کیلومتر ۲۶۲۸۹۳ = $\frac{۱۰۲۶۵۹۹۰}{۳۹.۰۵}$ =

درنهایت خلاصه شاخص‌ها بصورت جدول ۵ نمایش داده شده‌است.

با توجه به ضرایب میزان تولید آلایندگی به تفکیک نوع آلاینده و وسیله (ارائه شده جدول) و همچنین برآوردهای میزان کیلومتر طی‌شده قبل از اجرای خطوط حمل‌ونقل تندرو (ارائه شده جدول ۵) می‌توان میزان کل تناژ آلاینده‌های تولیدی یک سال هر وسیله را محاسبه نمود. (جدول و شکل ۱)



الف) آلاینده CO – قبل اجرا BRT ب) آلاینده NOx – قبل اجرا BRT



ج) آلاینده PM – قبل اجرا BRT د) آلاینده CO_2 – قبل اجرا BRT

شکل ۱ : میزان آلاینده تولیدی در سال به تفکیک نوع آلاینده (قبل از احداث **BRT**)

جدول ۳ : متوسط سرنشین وسایل نقلیه در تهران در سال ۱۳۹۰[۱۷]

نوع وسیله	سواری شخصی و وانت	تاکسی	اتوبوس واحد
ضریب سرنشین	۱/۴	۲/۴۱	۳۹/۰۵

جدول ۴ : وسیله-کیلومتر طی شده در اوج صبح در سال ۱۳۸۹

مد	وسیله- کیلومتر
سواری شخصی و وانت	۲,۰۰۹,۲۳۵
تاکسی	۶۵۸,۴۱۵
اتوبوس واحد	۲۶۲,۸۹۳
BRT	۲۰۰,۷۵۰

جدول ۵ : برآورد شاخص‌های اوج صبح در سال ۱۳۸۹

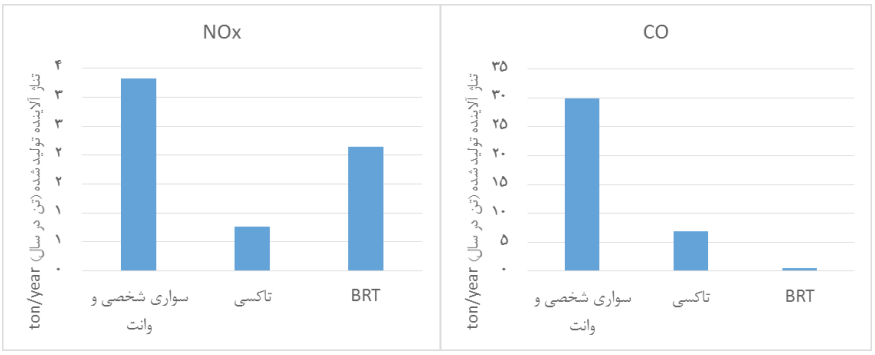
مد (خودرو-کیلومتر)	قبل از اجرای BRT	بعد از اجرای BRT
سواری شخصی و وانت	۱۵,۷۲۵,۸۰۹	۱,۳۷۱۶,۵۷۴
تاکسی	۳,۸۰۰,۰۰۶	۳,۱۴۱,۵۹۰
اتوبوس واحد	۲۶۲,۸۹۳	۰
BRT	۰	۲۰۰,۷۵۰

جدول ۷ : میزان آلاینده‌های تولیدی (تن در سال) - قبل از اجرای **BRT**

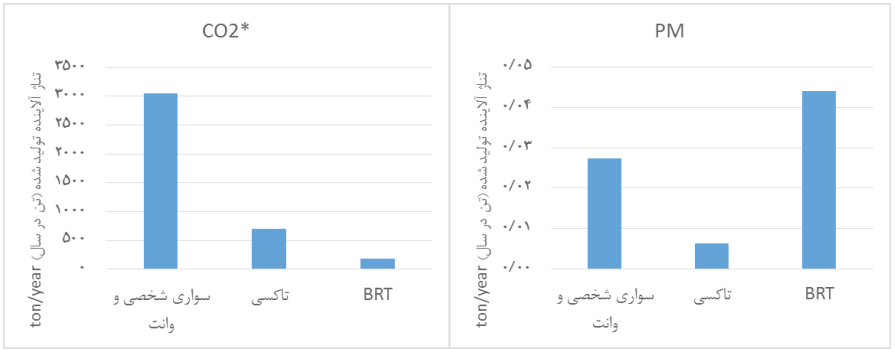
نوع وسیله	CO (g/km)	CH_4 (g/km)	NOx (g/km)	N_2O (g/km)	CO_2 lube (g/km)	PM (g/km)	CO_2 (g/km)	SO_2 (g/km)	مجموع
سواری شخصی و وانت	۳۴/۲۸	۵/۴۹	۳/۸۲	۰/۱۹	۸/۳۳	۰/۰۳	۳۵۰۰/۵۷	۰/۳۱	**۳۵۵۳/۰۳**
تاکسی	۸۲/۸۴	۱۳/۲۶	۹/۲۳	۰/۴۶	۲۰/۱۴	۰/۰۸	۸۴۵۸/۸۰	۰/۷۶	**۸۵۸۵/۵۷**
اتوبوس واحد	۰/۶۴	۰/۱۲	۲/۸۱	۰	۰/۳۸	۰/۰۶	۲۴۳/۵۲	۰/۰۵	**۲۴۷/۵۹**

جدول ۸ : میزان آلاینده‌های تولیدی (تن در سال) - بعد از اجرای **BRT**

نوع وسیله	CO (g/km)	CH_4 (g/km)	NOx (g/km)	N_2O (g/km)	CO_2 lube (g/km)	PM (g/km)	CO_2 (g/km)	SO_2 (g/km)	مجموع
سواری شخصی و وانت	۲۹/۹۰	۴/۷۹	۳/۳۳	۰/۱۶	۷/۲۷	۰/۰۳	۳۰۵۳/۳۱	۰/۲۷	**۳۰۹۹/۰۷**
تاکسی	۶/۸۵	۱/۱۰	۰/۷۶	۰/۰۴	۱/۶۷	۰/۰۱	۶۹۹/۳۲	۰/۰۶	**۷۰۹/۸۰**
BRT	۰/۴۹	۰/۰۹	۰/۱۵	۰	۰/۲۹	۰/۰۴	۱۸۵/۹۵	۰/۰۴	**۱۸۹/۰۶**

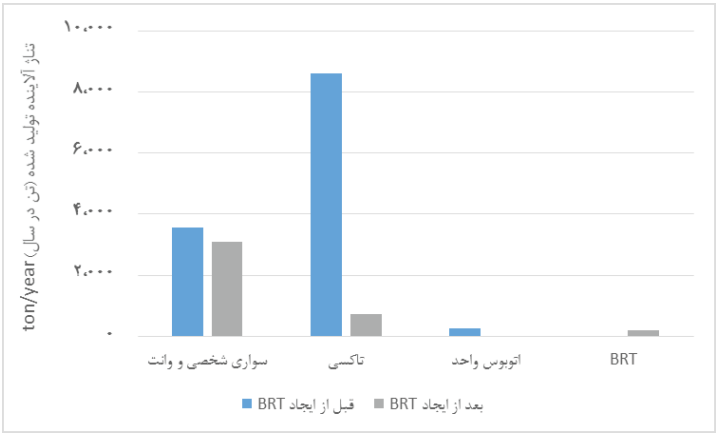


ه) آلاینده CO – بعد اجرا BRT و) آلاینده NOx – بعد اجرا BRT



ز) آلاینده PM – بعد اجرا BRT ح) آلاینده CO_2 – بعد اجرا BRT

شکل ۲ : میزان آلاینده تولیدی در سال به تفکیک نوع آلاینده (بعد از احداث **BRT**)



شکل ۳ : میزان آلاینده تولیدی در سال به تفکیک نوع آلاینده (قبل و بعد از احداث **BRT**)

جدول ۹ : میزان آلاینده‌های مهم تولیدی سال (قبل و بعد از احداث **BRT**)

نوع وسیله	CO(g/km)	NOx(g/km)	PM (g/km)	CO_2 (g/km)
قبل از سامانه خط ۴ BRT	۱۱۷/۷۶	۱۵/۸۷	۰/۱۷	۱۲۲۰۲/۸۸
پس از سامانه خط ۴ BRT	۳۷/۲۴	۶/۲۴	۰/۰۸	۳۹۳۸/۵۷
درصد تغییرات (میزان کاهش)	۶۸/۴	۶۰/۶	۵۲/۹	۶۷/۷

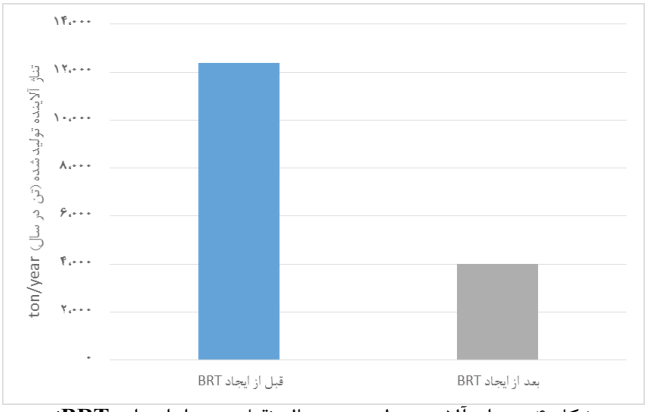
با توجه به ضرایب میزان تولید آلایندگی به تفکیک نوع آلاینده و وسیله(ارائه شده جدول) و همچنین برآوردهای میزان کیلومتر طی‌شده قبل از اجرای خطوط حمل‌ونقل تندرو (ارائه شده جدول ۵) می‌توان میزان کل تناژ آلاینده‌های تولیدی یک سال هر وسیله را محاسبه نمود. (جدول و شکل ۲)

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، نتایج برآوردهای میزان آلاینده تولیدی سالانه برای شرایط قبل و بعد از احداث سامانه حمل‌ونقل اتوبوسرانی تندرو در شکل ۳ آمده شده است. بر این اساس با توجه به عدم وجود BRT قبل از احداث سامانه اتوبوس‌های تندرو و همچنین حذف سیستم اتوبوسرانی در معابر مجاور خط ۴، مقایسه وسایل نقلیه شخصی و همچنین سیستم تاکسیرانی برای شرایط قبل و بعد سامانه اتوبوس‌های تندرو، نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر آلودگی تولیدشده سیستم تاکسیرانی است.

۶- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

بطورکل کنترل آلودگی هوای شهرها با در نظرگرفتن سامانه حمل و نقل درون شهری وابسته به کنترل ترافیک عبوری است. ناوگان حمل‌ونقل شهری به عنوان مهم‌ترین عامل انتشار مواد آلاینده هوا در شهرهای بزرگ شناخته می‌شود. خطوط ویژه اتوبوسرانی تندرو به عنوان بخشی از شاخصه‌های حمل‌ونقل پایدار، به منظور رفع مشکلات ترافیکی کلان‌شهر تهران، در شریان‌های اصلی پرتقاضا جابجایی ایجاد گردیده است. با توجه به حصول اوزان آلایندهای مضر در آلاینده‌های هوا با محاسبات روش تیر۲، به بررسی میزان تناژ آلاینده‌های پرداخته شد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، میزان تناژ آلاینده‌های CO، NOx و PM_{2}،CO تولیدی قبل و پس از احداث سیستم حمل‌ونقل تندرو انبوه‌بر، محاسبه شده است. مقایسه برآیند آلاینده‌های مختلف قبل و بعد از ایجاد سیستم حمل‌ونقل انبوه‌بر در شکل ۴ نشان داده شده است.

با توجه به جدول تفکیک بر اساس آلاینده مقایسه آلاینده‌های هوا قبل و بعد از راه‌اندازی خط چهار، تفاوتها از ۵۲/۹ تا ۶۸/۴ درصد را نشان می‌دهد. با راه‌اندازی سیستم حمل‌ونقل تندرو و بر اساس نتایج حاصله، برای آلاینده CO مقدار ۸۰/۵۲ تن کاهش، آلاینده NOx مقدار ۹/۶۳ تن کاهش، آلاینده PM ۰۹/۰ تن کاهش و CO_{2} مقدار ۸۲۶۴/۳۱ تن کاهش نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است تغییرات قبل و بعد برای خط چهار سامانه محاسبه شده است.



شکل ۴ : میزان آلاینده تولیدی در سال (قبل و بعد از احداث **BRT**)

بر اساس نتایج حاصله مشخص شدکه میزان نشر تمامی آلاینده‌ها در یک خط اتوبوس، وابستگی بالایی به سرعت اتوبوس و شرایط ترافیکی دارد. بر این اساس، بهره‌برداری از سیستم حمل‌ونقل تندرو یکی از ابزارهای سیاست‌گذاری جهت کاهش آلاینده‌های هوا و بهبود شاخص‌های سلامتی جامعه می‌باشد. از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی برای تغییر کریدورهای اتوبوس با آلودگی بالا به مسیرهای موازی و همچنین اولویت‌بندی خطوط اتوبوس برای نوسازی ناوگان استفاده نمود. همچنین با محاسبه میزان انتشار تمامی خطوط اتوبوس ، می‌توان از نتایج حاصل در تعیین خطوط بحرانی از دیدگاه هزینه‌های آلودگی را شناسایی کرد و سپس در جهت رفع مشکلات آنها گام برداشت.

پیشنهادات برای بهبود وضعیت کیفیت هوا و همچنین کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها ارائه می‌گردد:

- امکان‌سنجی استفاده از اتوبوس‌های تندرو برقی در ناوگان اتوبوسرانی سریع تهران
- کاهش تداخلات مسیر ویژه حمل‌ونقل همگانی و خطوط عبوری حاشیه در جهت کاهش طول سفر اتوبوس‌های تندرو
- استفاده از ناوگان مناسب متناسب با معیارها تولید آلایندگی در جهت کاهش مقادیر ضرایب انتشار
- کاهش تاخیرات وارده به وسایل انبوه‌بر تندرو با استفاده از استراتژی‌های اولویت‌دهی حمل‌ونقل همگانی در تقاطعات و گره‌های مسیر عبوری (به طور مشخص تقاطعات خیابان‌های آزادی، ولیعصر، تقاطع توحید و میدان جمهوری)
- نصب فیلتر ذرات دوده بر روی اتوبوس‌های سامانه تندرو
- ایجاد سیستم منظم تعویض کاتالیست سیستم‌های انبوه‌بر مسافر

۷- مراجع

۱- ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰. ۱۳۹۰: سازمان بهره وری انرژی ایران.

۲- خلاصه گزارش طرح جامع کاهش آلودگی هوای تهران. ۱۳۷۶.

۳- گزارش وضعیت آلودگی هوای پایتخت در آستانه فصل زمستان. ۱۳۸۵.

4- Bottom-up traffic Emission models, COST 319-Estimation of pollutant emissions from transport. 1995. ULB - Brussels.

5- S., E., et al., CORINAIR Working Group on Emissions Factors for Calculating 1985 Emissions from Road Traffic. 1993. p. p. 79.

6- B, G., V. Favrel, and W. Hecq, Overview and analysis of the links between “Models of Mobility” and “Models of Pollutant Emissions from Transport”. UniversitéLibre de Bruxelles

7- C., P. and A. M., Pollutant emissions estimation in road transport models. 2007.

8- Schipper, L., E. Hedges, and L. Mignon, Impact of New Passenger Vehicle Changes and the Shift to Diesel on European Union’s CO2 Emissions Intensity, in Transportation Research Board 90th Annual Meeting. 2011. p. 22p.

9- Chen, C.-H.P. and G.A. Naylor, Integration of travel demand, land use and emissions modeling for a transit corridor expansion project in Santa Clara, in Transportation Research Board 90th Annual Meeting. 2011. p. 24p.

10- Bigazzi, A.Y. and M. Figliozzi, Analysis of the Relative Efficiency of Freeway Congestion Mitigation as an Emission Reduction Strategy, in Transportation Research Board 90th Annual Meeting. 2011. p. 18p.

۱۱-مرتضی خشایی پور، مهری بهرامی، پیمان نوربخش, اثر سنجی اجرای خطوط BRT در معابر شهری؛ مطالعه موردی در شهر تهران, یازدهمین کنفرانس بین المللی ترافیک، تهران, (۱۳۹۰).

۱۲-گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران سال ۱۳۹۱, معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران, (۱۳۹۲).

۱۳-گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران سال ۱۳۸۹, معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران, (۱۳۹۰).

۱۴-بازنگری خطوط تغذیه کننده خط ۴ سامانه اتوبوسهای تندرو, معاونت برنامه ریزی و توسعه شهری، شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه, (۱۳۹۰).

۱۵-EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook; Passenger cars, light commercial trucks, and motor cycles. ۲۰۱۳: European Environment Agency.

۱۶-علی محمد شاعری، علیرضا رحمتی, قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست انسانی, سازمان حفاظت محیط زیست, (۱۳۹۱).

۱۷-گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران سال ۱۳۹۰. معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، تهران, ۱۳۹۱.

The Effects of Bus Rapid Transit Line on Air Pollutant Emissions
Case study of BRT Tehran, line4 (Chamran highway)

Masood Jafari Kang, Hamidreza Partovi far, Ehsan Ayazi, Masoud Khodadadi Fard

1- M.Sc, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- M.Sc Student, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract
Air pollution is among the most concerning challenges in metropolises. A significant part of this pollution is in regard to transportation. Some transportation projects, like highway construction or street widening projects would encourage the citizens to use their private cars instead of public transportation which will lead to more emissions of contaminants. In most cases, estimation of transportation projects by cost-benefit analyzing will lead to an underestimation of destroying effects. The transportation fleet is the major source of pollutants in cities. Bus Rapid Transit (BRT) lines which are considered as an index of sustainable transportation, has been built in Tehran metropolitan areas recently. In this study, the evaluation of transportation projects with respect to sustainable transportation criteria in urban areas has been taken into account and also environmental effects of transportation projects have been measured. This paper reviews Tehran BRT Line 4 in order to evaluate the effect of exclusive lane of BRT on Chamran highway's amount of air pollutants. For this purpose the amount of emitted pollutants in BRT line 4, are compared based on the traffic volume information. This modeling includes two scenarios: before and after the construction of BRT Lines. Comparison of modeling results would clarify the effect of BRT lines on reduction of the amount of air pollutants.

.

Keywords: sustainable transportation, Air Pollutant Emissions, BRT line, Corinair