

## Evaluating the effects of BRT system on traffic and air pollution by using IVE model and EMME/2 (Case Study: Line 10 Azad University Return to Azadi Square)

### Khosro Ashrafi

\*Associate Professor, school of Environment, college of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding Author: khashrafi@ut.ac.ir)

### Seid Mehdi Fatehi

M.Sc, Air Pollution, school of Environment, college of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

### Mohammad pooteh Rigi

M.Sc, Dpartment of Environmental Planning, school of Environment, college of engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 2018/10/03

Accepted: 2018/11/11  
JREH-1810-1242(R2)

### ABSTRACT

**Background and Aim:** In recent years, the use of Bus Rapid Transit in Tehran has been taken into consideration and largely follows the satisfaction of the citizens of Tehran. Bus Rapid Transit (BRT) system reduce transport costs, increase speed and, ultimately, the comfort of the public. Therefore, in this research, the impact of the performance of BRT system is discussed.

**Materials and Methods:** In order to achieve this goal, first, the traffic volume of vehicles in two scenarios by existence and nonexistence of BRT were obtained by the model; Eventually, after calculating the driving pattern by measuring in the field, estimating the fuel quality and calculating the type of fleet of the path, the amount of emissions of pollutants produced by each vehicle were obtained based on the model International Vehicle Emissions (IVE); and Eventually, the pollutants emissions from moving sources were compared in these two scenarios to achieve the effectiveness of the using BRT system.

**Results:** According to the results obtained from the route, the existence of BRT reduced carbon monoxide by 134.92 kg, volatile organic compounds by 5.13 kg, benzene by 0.48 kg, carbon dioxide by 4631.97 kg, nitric oxide by 0.37 kg and methane emissions by 6.86 kilograms. But it increased particles of less than 10 microns by 0.48 kg, nitrogen oxide by 0.8 kg and sulfur oxide emissions by 0.97 kg.

**Conclusion:** According to the obtained results, the driving pattern and the traffic volume are two important variables in the IVE. The emissions of carbon monoxide and contaminants of volatile organic compounds are released majority from light cars. At the end, the presence of BRT leads to a significant reduction in carbon dioxide emissions, which is the main source of greenhouse gas emissions.

**Document Type:** Research article

**Keywords:** IVE Software, Driving Pattern, Fleet File, BRT

► **Citation:** Ashrafi KH, Fatehi S M, pooteh Rigi M. Evaluating the effects of BRT system on traffic and air pollution by using IVE model and EMME/2 (Case Study: Line 10 Azad University Return to Azadi Square). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2018;4 (3) : 165-184.

## بررسی اثرات گسترش اتوبوس‌های تندرو شهری بر ترافیک و آلودگی هوا با استفاده از مدل EMME/2 و IVE (مطالعه موردی: خط شماره ۱۰ مسیر برگشت دانشگاه آزاد به سمت میدان آزادی)

### چکیده

**زمینه و هدف:** در سال‌های اخیر استفاده از سامانه اتوبوس‌های تندرو حمل و نقل شهری در شهر تهران مورد توجه بوده است و تا حد زیادی رضایت شهروندان تهرانی را در پی داشته است. سیستم اتوبوس‌های تندرو حمل و نقل شهری موجب کاهش هزینه حمل و نقل، سرعت بالاتر و در نهایت راحتی مردم می‌گردد. بنابراین در این پژوهش به تاثیر عملکرد سیستم اتوبوس تندرو شهری می‌پردازیم.

**مواد و روش‌ها:** جهت رسیدن به این هدف، ابتدا حجم ترافیک وسایل نقلیه در دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس‌های تندرو شهری توسط مدل به‌دست آمد و در ادامه پس از محاسبه الگوی رانندگی با اندازه‌گیری میدانی، بررسی کیفیت سوخت و محاسبه نوع ناوگان عبوری مسیر مورد نظر، میزان انتشار آلاینده‌های تولیدی هر یک از وسایل نقلیه با استفاده از مدل IVE به‌دست آمد و در نهایت میزان انتشار آلودگی ناشی از منابع متحرک در این دو سناریو مقایسه شد تا میزان اثربخشی استفاده از سیستم اتوبوس‌های تندرو به‌دست آید.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج در مقایسه دو سناریوی وجود BRT برای آلاینده مونوکسیدکربن موجب کاهش ۹۲/۹۲ کیلوگرم ۱۳۴ در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده بود. همچنین آلاینده ترکیبات آلی فرار ۵/۱۳ کیلوگرم کاهش یافته بود. اکسیدهای نیتروژن ۰/۸ کیلوگرم و اکسیدهای گوگرد ۰/۹۷ کیلوگرم افزایش داشت. همچنین مقادیر آلاینده ذرات معلق ۰/۴۸ کیلوگرم و نیز مقادیر بنزن ۰/۴۸ کیلوگرم کاهش یافته بود. وجود BRT برای مقایسه دو سناریو گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن موجب کاهش ۴۳۶۱/۱۹۷ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده بود. همچنین تأثیر بکارگیری BRT موجب کاهش ۰/۳۷ کیلوگرم اکسید نیتروس و ۶/۸۶ کیلوگرم متان در طول این مدت شده بود.

**نتیجه‌گیری:** الگوی رانندگی و حجم تردد، دو متغیر مهم در IVE هستند. آلاینده مونواکسیدکربن و آلاینده ترکیبات آلی فرار بیشتر از ناوگان سواری منتشر می‌شود. در انتها وجود BRT موجب کاهش شدید دی‌اکسیدکربن شده که آلاینده اصلی گاز گلخانه‌ای به شمار می‌آید.

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**کلید واژه‌ها:** اتوبوس‌های تندرو شهری، الگوی رانندگی، فلیت فایل، نرم‌افزار IVE

دکتر خسرو اشرفی

\* دانشیار، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول: khashrafi@ut.ac.ir

سید مهدی فاتحی

کارشناس ارشد آلودگی هوا، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

محمد پوته ریگی

کارشناس ارشد گروه برنامه‌ریزی مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

◀ **استناد:** اشرفی خ، فاتحی س م، پوته ریگی. بررسی اثرات گسترش اتوبوس‌های تندرو شهری بر ترافیک و آلودگی هوا با استفاده از مدل EMME/2 و IVE (مطالعه موردی: خط شماره ۱۰ مسیر برگشت دانشگاه آزاد به سمت میدان آزادی). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۷؛ ۴(۳): ۱۶۵-۱۸۴.

## مقدمه

مسئله آلودگی هوا در سالیان اخیر به معضلی پیچیده در بسیاری از کلان‌شهرها تبدیل شده است (۱). وضعیت نامطلوب آلودگی هوا در بسیاری از کلان‌شهرها مستقیماً با عملکرد سیستم حمل‌ونقل و ترافیک در آن‌ها مرتبط بوده و در کلان‌شهرهایی مانند تهران به علت عدم گسترش سیستم حمل‌ونقل عمومی انبوه، موجب استفاده بی‌رویه از وسایل نقلیه موتوری توسط شهروندان و انتشار مقادیر زیادی از انواع آلاینده‌های زیست‌محیطی در سطح شهر شده است، به همین دلیل در نزدیکی خیابان‌های بزرگ و پرتردد در کلان‌شهر تهران، نگرانی‌هایی در ارتباط با اثرات سوء آلاینده‌های هوای خروجی از آگزوز وسایل نقلیه بر سلامت ساکنین این مکان‌ها ایجاد شده است (۲). بر اساس مطالعات انجام شده، بیشترین غلظت آلاینده‌های ترافیکی در محدوده ۱۵۰ متری خیابان‌های اصلی شهرها و بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها مشاهده می‌شود؛ به‌خصوص اگر موقعیت مورد بررسی در جهت وزش باد نسبت به جاده قرار گرفته باشد (۳).

امروزه به‌دنبال افزایش سفرها با خودروهای شخصی، افزایش آلودگی زیست‌محیطی و صوتی، شلوغی بیش از حد خیابان‌ها و ترافیک شدید وسایل نقلیه، افزایش گازهای گلخانه‌ای به سبب استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و به خطر افتادن منابع، فضاها و مناظر طبیعی، نگرانی‌های فزاینده‌ای در بین مدیران مسئول در مسائل شهری ایجاد کرده است، از این رو متخصصان عرصه شهری را وادار نمود تا ایده و الگوی توسعه حمل‌ونقل محور را به منظور کاهش و مبارزه با مشکلات به‌وجود آمده مطرح نمایند. در واقع این متخصصان به دنبال کاهش استفاده از خودروی شخصی، تشویق پیاده‌روی، احیاء مراکز شهری در الگویی فشرده و با کاربری مختلط بوده‌اند (۴).

در سال‌های اخیر، استفاده از سامانه اتوبوس‌های تندرو حمل‌ونقل شهری (BRT)<sup>۱</sup> در شهر تهران مورد توجه بوده است و تا حد زیادی رضایت شهروندان تهرانی را در پی داشته است.

سیستم اتوبوس‌های تندرو حمل‌ونقل شهری، موجب کاهش هزینه حمل‌ونقل، سرعت بالاتر و در نهایت راحتی مردم می‌گردد. گسترش چنین سامانه‌هایی مستلزم شناخت دقیق از اثربخشی آن‌ها در کاهش بار ترافیکی و آلودگی هواست. بر این اساس، اهمیت این مسأله در چندین بخش قابل بحث است. این مباحث رضایت شهروندان، کاهش آلودگی هوا و نهایتاً پویایی اقتصاد در حمل‌ونقل شهری را شامل می‌شود (۵).

شهر تهران دارای ۱۰ خط BRT است که هر کدام، مناطق مختلف تهران را به هم وصل می‌کنند، از جمله این خطوط پایانه آزادی به سمت چهارراه تهران پارس، پایانه آزادی به سمت پایانه خاوران، میدان راه‌آهن به سمت میدان تجریش و غیره است (۶). برای محاسبه میزان تأثیر سیستم اتوبوس‌های تندرو بر روی آلودگی هوا، روش‌های متعددی وجود دارد. دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری انتشار آلاینده‌های تولیدی از وسایل حمل‌ونقل، اندازه‌گیری مستقیم آن‌ها می‌باشد. این کار به سه روش عمده تست شاسی دینامومتر، استفاده از تجهیزات قابل حمل و سنجش از راه دور انجام می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری مستقیم معمولاً پرهزینه می‌باشند. همچنین اندازه‌گیری از تمام عوامل مؤثر بر انتشار و انتشار آلاینده‌ها از تمام منابع ناممکن است. بنابراین بسیاری از موارد به جای اندازه‌گیری مستقیم، میزان انتشار را تخمین می‌زنند. تخمین ضریب انتشار می‌تواند بر اساس میزان مصرف سوخت، نوع موتور و عوامل پیچیده‌تر و متنوع‌تری تعیین شود. پس از تعیین ضرایب انتشار، مقدار آن را در تعداد خودرو و یا مسافت (زمان) سفر هر خودرو ضرب کرده و میزان انتشار، نهایی می‌گردد (۷). نرم‌افزارهای متداولی برای تخمین انتشار آلاینده‌ها استفاده شده است که برخی از آن‌ها شامل: (IVE)<sup>۲</sup>، (COPERT)<sup>۳</sup>، (MOBILE)<sup>۴</sup> و (MOVES)<sup>۵</sup> می‌باشند (۸).

2. International Vehicle Emission

3. Computer Program to calcute Emissions from Road Transport

4. Mobile Source Emission Factor

5. Motor Vehicle Emission Simulator

1. Bus Rapid Transit

آن، این مدل‌های محاسباتی متفاوت هستند. برخی مانند دود SMOKE، قابلیت پردازش انتشار انواع منابع را دارند. البته خود SMOKE برای منابع متحرک از MOVES استفاده می‌کند و برخی دیگر مانند IVE و MOVES، تنها قابلیت پردازش یک نوع منبع خاص را دارند (۱۱، ۱۲).

در پایان‌نامه بختیاری با عنوان تخمین میزان انتشار منابع عمده آلاینده و تأثیر آن‌ها در آلودگی هوای شهرستان پاکدشت در بخشی از آن آلاینده‌های جاده ترانزیتی امام رضا (ع) با مدل شبیه‌ساز IVE با بکارگیری توزیع نوع فناوری خودروها، ضرایب مربوط به رفتار رانندگی، نوع سردشدگی موتور، توزیع تنش موتور و یک سری از عوامل هواشناسی و کیفیت سوخت که قابلیت پیش‌بینی آلاینده‌های هوای محلی، گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های سمی از منابع متحرک را داراست، انجام شد (۹). همچنین در مطالعه Sabermanesh تحت عنوان «تأثیر توسعه حمل‌ونقل محور بر کاهش آلودگی هوا بر روی اتوبوس‌های سریع‌السیر تهران»، پس از بررسی مبانی و رویکردهای توسعه حمل‌ونقل محور و تأثیر آن بر سفرهای درون‌شهری، با مدل EMME/2 و ضرایب انتشار، آلاینده‌های تولیدی و وسایل نقلیه و حجم جابجایی مسافر، سرانه آلاینده تولیدی وسایل نقلیه در دو سناریو قبل و بعد از اجرای سیستم‌های اتوبوس‌های تندرو تحلیل شد (۵). در پژوهش ماجدی و اشرفی با عنوان بررسی انتشار آلاینده‌های هوا (CO، NO<sub>2</sub>، SO<sub>2</sub>، PM<sub>10</sub>) در پایانه مسافری بیهقی در شهر تهران که با جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به خودروها، تردد و زمان حضور در پایانه از طریق مدل IVE و همچنین تخمین غلظت آن آلاینده‌ها با مدل‌سازی از طریق ایرمد انجام شد، ارزیابی خطر استنشاق در پایانه مسافری بیهقی از روش RAIS صورت گرفت (۱۳).

در پروژه شرکت کنترل کیفیت هوا<sup>۵</sup> که به بررسی محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه در شهر تهران پرداخت، ضرایب انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل انتشاری

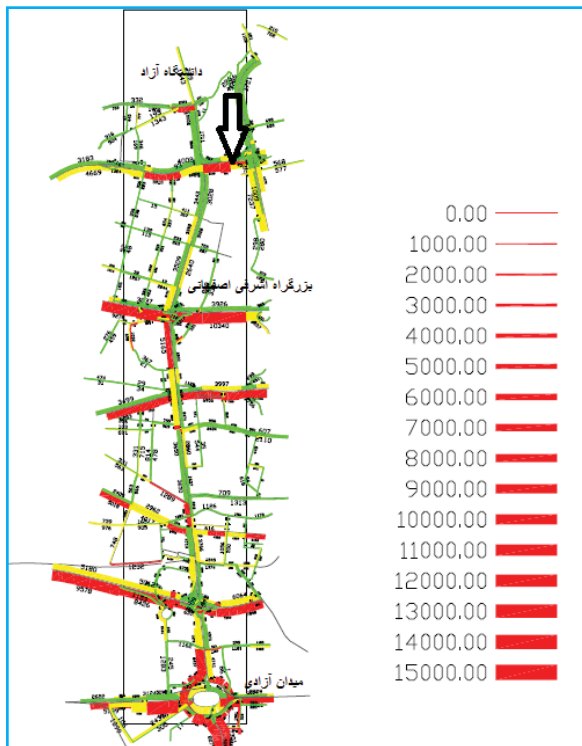
در این تحقیق سعی شده است مسیر برگشت خط شماره ۱۰ که دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات را به میدان آزادی متصل می‌نماید، از نظر ترافیک و آلودگی هوا مورد بررسی قرار گیرد، لذا جهت رسیدن به این هدف، ابتدا حجم ترافیک وسایل نقلیه در دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس‌های تندرو شهری توسط مدل استراتژیک حمل و نقل عمومی متشکل از ترکیب چندین برنامه کامپیوتری تحلیلی (EMME/2)<sup>۱</sup> به دست آمد و در ادامه میزان انتشار آلاینده‌های تولیدی هر یک از وسایل نقلیه با استفاده از مدل IVE به دست آمد و در نهایت میزان انتشار آلودگی ناشی از منابع متحرک در این دو سناریو مقایسه شد تا میزان اثربخشی استفاده از سیستم اتوبوس‌های تندرو به دست آید.

برای تعیین نرخ انتشار آلاینده‌های منابع متحرک، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا دستگاه‌های اندازه‌گیری (PEMS)<sup>۲</sup> را مورد استفاده قرار داده است. دستگاه‌های اندازه‌گیری PEMS با قابلیت اندازه‌گیری غلظت آلاینده CO، NO<sub>x</sub>، HC، ذرات معلق، مواد سمی و گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از اگزوز خودروها طراحی شده‌اند. سامانه مکان‌یابی جهانی (GPS)<sup>۳</sup> مورد استفاده در دستگاه، مکان و سرعت خودرو را در تمامی مراحل اندازه‌گیری تعیین می‌نماید. این دستگاه‌های اندازه‌گیری، مجهز به سیستم (ODB)<sup>۴</sup> بوده که امکان دسترسی به اطلاعات کارکردی موتور در حین اندازه‌گیری انتشار را میسر می‌کند؛ بدین صورت مدل کردن داده‌های اندازه‌گیری با عوامل مربوط به خودرو، بسیار مناسب‌تر صورت خواهد پذیرفت. برای تعیین مقدار کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌بایستی از روی نرخ انتشار منابع آلاینده، کیفیت هوای محیط تخمین زده شود که این کار مدل‌سازی پخش و پراکنش آلودگی هوا نامیده می‌شود (۱۰).

مدل‌های محاسباتی بسیاری در زمینه تخمین انتشار منابع، در دنیا توسعه داده شده‌اند. با توجه به نوع منبع و چگونگی عملکرد

1. The strategic public transport model consists of a combination of several analytical computer programs
2. Portable Emissions Measurement System
3. Global Positioning System
4. On- Board Diagnostic System

برگشت دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات به میدان آزادی را متصل می‌نماید. خط ۱۰ یکی از خطوط سامانه اتوبوسرانی است که شمال غرب تهران را به غرب متصل می‌کند. این خط از میدان آزادی در غرب تهران آغاز شده و با عبور از دو بزرگراه محوری محمد علی جناح و شهید اشرفی اصفهانی از میدان دوم صادقیه، پونک و چهاردیواری در آخر به دانشگاه واحد علوم و تحقیقات منتهی می‌شود. این سامانه دارای ۱۸ ایستگاه اتوبوس بوده و فاصله بین ایستگاه‌های خط BRT، ۶۸۵ متر است و ۱۰۰ دستگاه اتوبوس دو کابین در این خط فعالیت می‌کنند که سرفاصله زمانی حرکت ۲ متر در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

### روش کار

با توجه به اینکه ماهیت تحقیق حاضر از نوع کاربردی است، از روش‌های توصیفی-تحلیلی به صورت توأمان استفاده شد. مبانی نظری استفاده در این پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اینترنتی به دست آمد. همچنین در این پژوهش ابتدا با همکاری شرکت مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک، حجم تردد و سهم ناوگان

IVE به تفکیک دسته‌بندی‌های وسایل نقلیه به ازای سه نوع معبر مسکونی، شریانی و بزرگراهی و همچنین شیب‌های صفر و مثبت و منفی ۲ درصد محاسبه شد. نتایج این پروژه نشان داد که میزان آلودگی تولیدی منابع متحرک در حال تردد در تهران سالانه ۶۵۴ هزار تن است (۱۵).

هزن طی مطالعه‌ای به بررسی تأثیر اتوبوس‌های تندرو ددر مرکز شهر و مقایسه با خطوط ریلی در شهر لس آنجلس پرداخت. شهر لس آنجلس از لحاظ وسعت، دومین شهر در ایالات متحده آمریکا است که جمعیت مناطق شهری در حدود ۱۵ میلیون نفر است. جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر در منطقه مرکزی تجاری شهر لس آنجلس به وسعت ۵ کیلومتر مربع کار می‌کنند در نهایت با تحقیق و مطالعه به این نتیجه رسیدند که اتوبوس‌های تندرو نسبت به خطوط ریلی هزینه پایین‌تری دارند و برای استفاده در مراکز شهر به دلیل کمبود زمین و نصب ریل مناسب‌تر هستند (۸). در سال‌های اخیر یکی از بزرگ‌ترین اهداف برنامه‌ریزی و طراحی شهری، به ویژه در مراکز شهری، کاهش اتکای به خودرو به منظور پایداری و سرزندگی شهرها می‌باشد (۹). در حقیقت به نظر می‌رسد دوران برنامه‌ریزی و طراحی شهری صرفاً بر اساس تأمین دسترسی به خودرو به پایان آمده، لذا امروزه متخصصین ملی در ایجاد گزینه‌هایی برای کاهش نیاز به خودرو شخصی می‌باشند. لذا انجام این پروژه از لحاظ ارزیابی میزان اثربخشی سیستم اتوبوس‌های تندرو شهری که یکی از عوامل استفاده نکردن از خودروهای شخصی می‌باشد، در کاهش و مبارزه با آلودگی هوا و ترافیک ضروری است. در نتیجه مطالعه حاضر با هدف اصلی دستیابی به نرخ انتشار ناوگان حمل‌ونقل شهری بر اساس واحد جرم آلاینده بر پیمایش خودروها در دو سناریو قبل و بعد از اجرای سیستم اتوبوس‌های تندرو انجام شد تا میزان و نحوه اثرگذاری سیستم اتوبوس‌های تندرو بر آلودگی هوا و ترافیک مشخص شود.

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه واقع در تهران، خط شماره ۱۰ است که مسیر

**روش اول:** آمارگیری و برداشت اطلاعات و داده‌های مورد نظر ترافیکی به صورت مستقیم است. داده‌های حاصل از آمارگیری بر اساس شمارش تعداد انواع وسایل نقلیه عبوری و سرعت تردد آن‌ها از تمامی نقاط مختلف مسیر است که کاری بسیار سخت و گاهی همراه با خطا است.

**روش دوم:** شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهری در قالب یک پایگاه اطلاعاتی و پیش‌بینی حجم تردد و سرعت وسایل نقلیه در تمامی کمان‌های موجود در مسیر است. از این روش عمدتاً برای پیش‌بینی وضعیت ترافیک در معابر کلان‌شهرها استفاده می‌کنند.

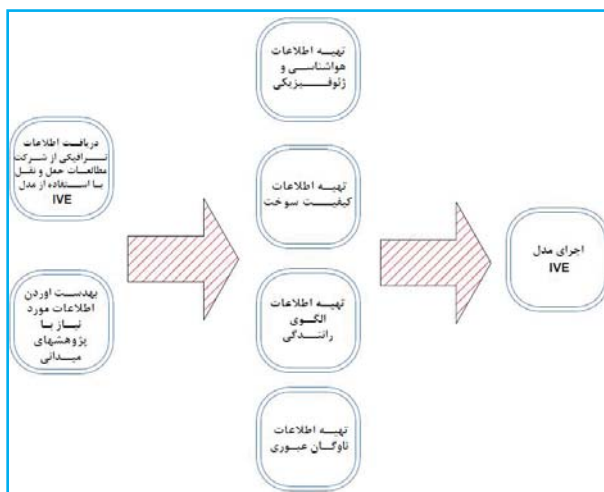
در این تحقیق از اطلاعات حاصل از مدل شبیه‌سازی شده حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران (روش دوم) به عنوان ورودی مدل‌های تعیین میزان انتشار آلاینده‌ها از سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهر استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک به عنوان ورودی مدل‌های پیش‌بینی مصرف سوخت و تولید آلاینده‌ها از سیستم حمل‌ونقل و ترافیک به کار گرفته شد. این اطلاعات شامل داده‌های برآورد شده حجم تردد عبوری و سهم هر ناوگان در مسیر مورد نظر است.

از آنجایی که ایجاد سناریوهای مختلف و مقایسه تأثیرات آن‌ها در روند حمل‌ونقل شهر، همواره یکی از نیازهای برنامه‌ریزان شهری بوده است، ایجاد و تعمیم این مدل‌ها در محیطی انعطاف‌پذیر مورد توجه قرار گرفته است. نرم‌افزار EMME/2 در بسیاری از کشورهای جهان و در ایران نیز در چندین شهر مورد استفاده قرار گرفته است. در طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران در سال ۱۳۷۳ مورد بهره‌برداری قرار گرفته، ماکروهای تکمیلی بسیاری نیز تاکنون برای آن‌ها تهیه شده است. از این رو از شروع مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران در سال ۱۳۸۳ تاکنون با توجه به وجود بسیاری از ماکروها و اطلاعات اولیه مورد نیاز، همچنان نرم‌افزار EMME/2 مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶).

#### مدل IVE

مدل بین‌المللی انتشار خودروها، برنامه رایانه‌ای تحت زبان جاوا

عبوری در مسیر مورد نظر به دست آمد. سپس یک سری مطالعات میدانی صورت گرفت و داده‌های مورد نیاز برای نرم‌افزار IVE جمع‌آوری گردید. در نهایت مدل برای دو سناریو (سناریو اول: ناوگان عبوری همراه با اتوبوس‌های تندرو شهری و سناریو دوم: ناوگان عبوری بدون اتوبوس‌های تندرو شهری) اجرا شد.



شکل ۲. فلوچارت روش انجام پروژه

#### مدل EMME/2

روش انجام تحقیق بر اساس سیستم شبیه‌سازی حمل‌ونقل ترافیک شهر تهران در مقیاس کلان و درک تأثیر راهکارهای مورد نظر در تغییر میزان نشر انواع آلاینده‌ها در کلان‌شهر تهران است. همان‌طور که گفته شد، سیستم حمل‌ونقل و ترافیک به عنوان منبع اصلی تولید و نشر آلاینده‌ها در کلان‌شهر تهران شناخته شده و مدیریت آن در جهت کاهش نشر آلاینده‌ها، یکی از اهداف اصلی مسئولان در این زمینه است. تعیین میزان نشر انواع آلاینده‌ها از سیستم حمل‌ونقل ترافیک شهرها، مستلزم در اختیار داشتن اطلاعات کافی از سیستم حمل‌ونقل و ترافیک در آن‌ها است. این اطلاعات مشتمل بر داده‌های حجم تردد عبوری، سرعت متوسط انواع وسایل نقلیه در مسیر مورد نظر و همچنین متغیرهای محیط زیستی و وضعیت هندسی مسیر است.

اطلاعات حجم تردد و سرعت انواع وسایل نقلیه در مسیر

مورد نظر به دو صورت قابل حصول است:

دو نوع نرخ انتشار وجود دارد:

(۱) زمانی که خودرو در حال حرکت است.

(۲) زمانی که خودرو خاموش است و آن را روشن می‌کنیم.

که در این مطالعه صورت گرفته فرض بر این است که میزان انتشار حالت دوم صفر است یا در واقع خودرویی در کنار بزرگراه خاموش نیست که بخواهیم آن را روشن کنیم یا تعداد آن در حد ناچیز است.

برای محاسبه میزان انتشار آلاینده زمانی که وسایل نقلیه در حال حرکت هستند از معادله (۲-۳) استفاده می‌شود.

(۲)

$$Q_{\text{running}} = \sum t \{f(t) * \sum d(Q(t) * \bar{U} \text{FTP} * f(dt) * K(dt))\} / \bar{U} C$$

که در آن:

- $Q_{\text{running}}$  نرخ انتشار در حال حرکت
- $dt(f)$  درصد زمان سپری شده در هر شرایط VSP
- $\bar{U} \text{FTP}$  سرعت متوسط چرخه رانندگی EPA
- $t(Q)$  نرخ انتشار پایه که در معادله (۳-۱) محاسبه شد.
- $\bar{U} C$  میانگین سرعت چرخه موجود

همان‌گونه که گفته شد، این محاسبات در درون مدل انجام می‌شود و نیازی به محاسبه دستی نیست (۱۷).

#### آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل

داده‌های مورد نیاز برای نرم‌افزار IVE می‌بایست به صورت دستی در نرم‌افزار وارد شود و نیازی به ساخت فایل Excel نیست. نرم‌افزار IVE نیازمند جمع‌آوری اطلاعاتی شامل هواشناسی و ژئوفیزیکی، الگوی رانندگی، کیفیت سوخت و نوع ناوگان عبوری در مسیر مورد نظر است.

در این مطالعه برای به‌دست آوردن اطلاعات ناوگان عبوری با دوربین فیلم‌برداری در ساعاتی که مورد نظر بود، فیلم‌برداری شد و اطلاعات مورد نظر به‌دست آمد. همچنین اطلاعات مربوط به تکنولوژی ناوگان از طریق اداره تعویض پلاک به‌دست آمد که برای تقسیم‌بندی سیستم‌های سوخت‌رسانی و سال ساخت انواع ناوگان مورد استفاده قرار گرفت (۱۷).

است. هدف اصلی این نرم‌افزار، ارائه مدلی مناسب برای تخمین مقادیر انتشار آلاینده‌ها، متناسب با وضعیت کشورهای در حال توسعه است. مدل IVE دارای دو بخش است: اولین بخش متدولوژی است که برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به وسایل نقلیه برای کمک به توسعه برآورد دقیق‌تر انتشار وسایل نقلیه درون‌جاده در یک منطقه شهری مشخص طراحی شده است و شامل مجموعه داده ترافیکی، برآورد ضریب انتشار و مدل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های سمی و معیار است که در ۵۲ شهر در سراسر جهان اجرا شده است. مدل IVE روشی است که جمع‌آوری داده و محاسبه سیاهه انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های سمی و معیار از وسایل نقلیه در هر سطح جغرافیایی را میسر می‌سازد. بخش دوم مدل‌سازی است. این مدل شامل مشخصات فنی وسایل نقلیه ایالات متحده و اروپا است. مدل IVE نسخه بین‌المللی MOVES در نظر گرفته شده است و شامل تمام ویژگی‌های ضروری MOVES است و به کاربر آزادی عمل کالیبره کردن ضرایب انتشار در شرایط محلی را می‌دهد (۱۷).

#### پایه و اساس محاسبه میزان انتشار

فرآیند برآورد انتشار که در مدل IVE مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر اساس میزان انتشار پایه برای هر فناوری با توجه به ضرایب اصلاح انتشار که برای هر فناوری خودرو تعریف شده و میزان مسافرت با وسایل نقلیه با فناوری‌های متفاوت که منجر به دستیابی به مجموع میزان انتشار نهایی می‌شود، طراحی شده است. فرآیند کلی محاسبه‌ای که در درون مدل صورت می‌گیرد در معادله (۱) آمده است.

$$Q(t) = B(t) * K(1)(t) * K(2)(t) * \dots * K(x)(t) \quad (1)$$

که در آن:

- $Q(t)$  نرخ انتشار محاسبه شده در زمان مشخص
- $B(t)$  نرخ انتشار پایه در زمان مشخص
- $K(1)(t) * K(2)(t) * \dots * K(x)(t)$  ضرایب اصلاح، مانند نحوه رانندگی، دمای هوا، نوع سوخت و سایر موارد که در نرخ پایه ضرب می‌شود.

### اجرای مدل IVE

در انتها نرم‌افزار در دو سناریو اجرا شد. سناریوی اول شامل ناوگان عبوری با اتوبوس‌های تندرو شهری و سناریوی دوم شامل ناوگان عبوری بدون اتوبوس‌های تندرو شهری بود؛ بدین صورت که مسافران اتوبوس‌های تندرو شهری با توجه به سهم ناوگان عبوری بدون اتوبوس‌های تندرو در تاکسی و اتوبوس‌های معمولی تقسیم شدند.

روش مقایسه: قابل ذکر است از آنجا که مدل‌سازی تنها برای منابع متحرک انجام شده است، داده تجربی دقیقی برای مقایسه با آن وجود ندارد، زیرا تنها داده اندازه‌گیری شده در زمینه آلودگی هوا مربوط به داده‌های ایستگاه پایش کنترل کیفیت هوا بوده که غلظت آلاینده‌ها در محل ایستگاه‌ها را به صورت نقطه‌ای و ساعتی گزارش کرده است.

این داده مجموع انتشار نیست، بلکه غلظت در محیط است که این غلظت از انتشار ناشی می‌شود. ولی آلاینده‌ها پس از انتشار در محیط جابه‌جا شده و تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی جو قرار می‌گیرند و منجر به غلظت می‌شوند و برای مقایسه با داده انتشار منابع متحرک مناسب نخواهد بود. در این پژوهش سناریوی مدل IVE با سیکل استاندارد مکزیکوسیتی (MC) مبنا

قرار گرفت و مقادیر به‌دست آمده با آن مقایسه شد.

انتشار منابع متحرک در بسیاری از کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه، به صورت کامل درک نشده است و در حال حاضر توانایی برآورد دقیق انتشار در آنجا وجود ندارد (۱۸). در نتیجه، تصمیم‌های استراتژیک و مؤثر در کنترل انتشار را محدود کرده است.

### یافته‌ها

#### نتایج الگوی رانندگی

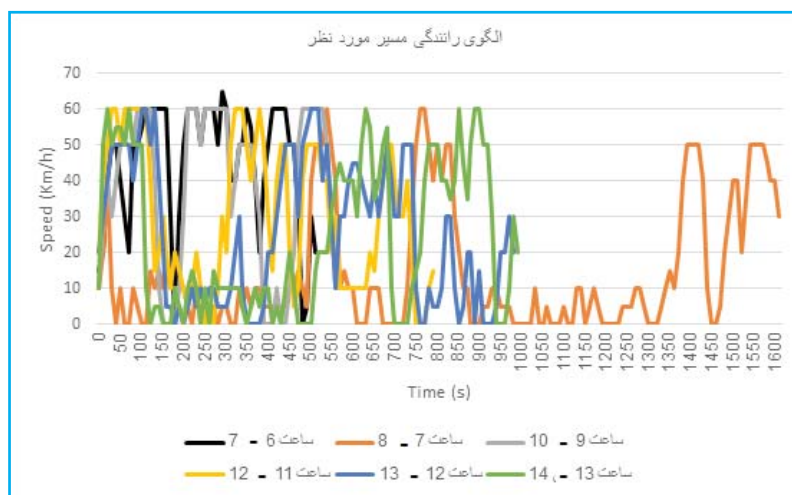
برای به‌دست آوردن الگوی رانندگی در ساعت‌های مورد نظر، در هر ساعت دو بار مسیر طی شده و سرعت ماشین هر ۱۰ ثانیه یک بار یادداشت شد تا الگوی رانندگی به‌دست آید و با استفاده از الگوی رانندگی، درصد Bin محاسبه شد.

#### مسیر برای کل ناوگان به غیر از اتوبوس‌های تندرو

نتایج حاصل از الگوهای رانندگی در نمودارهای ۳ و ۴ نشان داده شده و درصد Bin محاسبه شده در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

#### مسیر برای ناوگان اتوبوس‌های تندرو شهری

نتایج حاصل از الگوهای رانندگی در نمودارهای ۵ و ۶ نشان داده شده و درصد Bin محاسبه شده در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.



شکل ۳. الگوی رانندگی مسیر از ساعت ۶ تا ۱۴

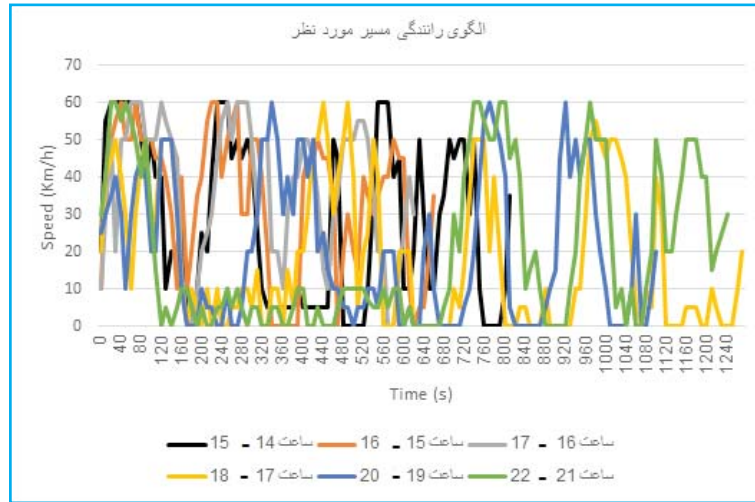


جدول ۲. درصد BIN مسیر از ساعت ۱۴ الی ۲۲

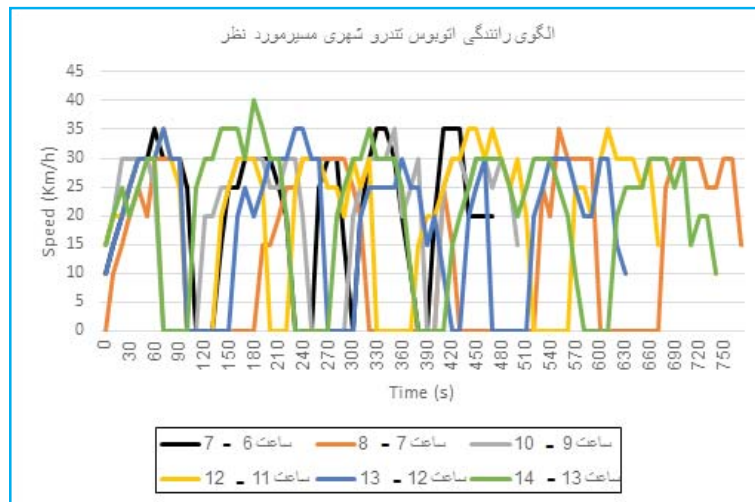
زمان	Bin	تعداد تکرار	درصد
ساعت ۱۴ الی ۱۵	۱۰	۶	۷/۵۹
	۱۱	۳۹	۴۹/۳۷
	۱۲	۲۳	۲۹/۱۱
	۱۳	۶	۷/۵۹
	۱۴	۱	۱/۲۷
	۱۵	۲	۲/۵۳
	۳۵	۱	۱/۲۷
	۳۷	۱	۱/۲۷
ساعت ۱۵ الی ۱۶	۱۰	۲	۳/۱۳
	۱۱	۲۷	۴۲/۱۹
	۱۲	۲۰	۳۱/۲۵
	۱۳	۱۰	۱۵/۶۳
	۱۴	۴	۶/۲۵
	۱۵	۱	۱/۵۶
ساعت ۱۶ الی ۱۷	۱۰	۴	۶/۶۷
	۱۱	۲۱	۳۵/۰۰
	۱۲	۲۱	۳۵/۰۰
	۱۳	۱۲	۲۰/۰۰
	۱۴	۱	۱/۶۷
	۱۵	۱	۱/۶۷
	۱۰	۵	۴/۰۰
ساعت ۱۷ الی ۱۸	۱۱	۷۵	۶۰/۰۰
	۱۲	۳۰	۲۴/۰۰
	۱۳	۱۰	۸/۰۰
	۱۴	۴	۳/۲۰
	۱۵	۱	۰/۸۰
	۱۰	۵	۴/۶۳
ساعت ۱۹ الی ۲۰	۱۱	۶۷	۶۲/۰۴
	۱۲	۲۲	۲۰/۳۷
	۱۳	۸	۷/۴۱
	۱۴	۴	۳/۷۰
	۱۵	۲	۱/۸۵
ساعت ۲۰ الی ۲۱	۱۰	۳	۲/۴۶
	۱۱	۸۵	۶۹/۶۷
	۱۲	۲۲	۱۸/۰۳
	۱۳	۱۱	۹/۰۲
	۱۴	۰	۰/۰۰
	۱۵	۱	۰/۸۲

جدول ۱. درصد BIN مسیر مورد نظر ساعت ۶ تا ۱۴

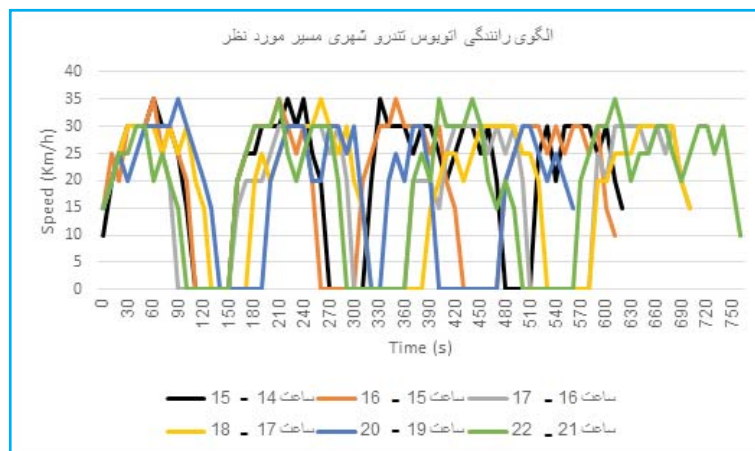
زمان	Bin	تعداد تکرار	درصد
ساعت ۶ الی ۷	۱۰	۴	۸/۰۰
	۱۱	۱۱	۲۲/۰۰
	۱۲	۱۹	۳۸/۰۰
	۱۳	۱۴	۲۸/۰۰
	۱۴	۱	۲/۰۰
	۱۵	۱	۲/۰۰
	۱۰	۱	۰/۶۳
	۱۱	۱۱۶	۷۲/۶۹
ساعت ۷ الی ۸	۱۲	۳۰	۱۸/۸۷
	۱۳	۱۰	۶/۲۹
	۱۴	۱	۰/۶۳
	۱۵	۱	۰/۶۳
	۱۰	۳	۵/۵۶
ساعت ۹ الی ۱۰	۱۱	۱۷	۳۱/۴۸
	۱۲	۲۵	۴۶/۳۰
	۱۵	۸	۱۴/۸۱
	۱۴	۰	۰/۰۰
	۱۵	۱	۱/۸۵
	۱۰	۳	۳/۹۰
ساعت ۱۱ الی ۱۲	۱۱	۳۵	۴۵/۴۵
	۱۲	۲۷	۳۵/۰۶
	۱۳	۹	۱۱/۶۹
	۱۴	۲	۲/۶۰
	۱۵	۱	۱/۳۰
	۱۰	۵	۵/۲۱
ساعت ۱۲ الی ۱۳	۱۱	۴۹	۵۱/۰۴
	۱۲	۲۹	۳۰/۲۱
	۱۳	۱۱	۱۱/۴۶
	۱۴	۲	۲/۰۸
	۱۰	۵	۱۵/۵
ساعت ۱۳ الی ۱۴	۱۱	۵۲	۵۳/۶۱
	۱۲	۲۸	۲۸/۸۷
	۱۳	۱۰	۱۰/۳۱
	۱۴	۱	۱/۰۳
	۱۵	۱	۱/۰۳



شکل ۴. الگوی رانندگی مسیر از ساعت ۱۴ تا ۲۲



شکل ۵. الگوی رانندگی اتوبوس تندرو شهری مسیر مورد نظر ساعت ۶ تا ۱۴



شکل ۶. الگوی رانندگی اتوبوس تندرو شهری مسیر مورد نظر ساعت ۱۴ تا ۲۲

جدول ۴. درصد BIN اتوبوس تندرو شهری از ساعت ۱۴ تا ۲۲

زمان	Bin	تعداد تکرار	درصد
ساعت ۱۴ الی ۱۵	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۱	۵۱/۶۷
	۱۲	۲۷	۴۵/۰۰
	۱۳	۲	۳/۳۳
ساعت ۱۵ الی ۱۶	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۰	۵۰/۸۵
	۱۲	۲۹	۴۹/۱۵
	۱۳	۰	۰/۰۰
ساعت ۱۶ الی ۱۷	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۹	۵۷/۳۵
	۱۲	۲۸	۴۱/۱۸
	۱۳	۱	۱/۴۷
ساعت ۱۷ الی ۱۸	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۷	۵۴/۴۱
	۱۲	۳۱	۴۵/۵۹
	۱۳	۰	۰/۰۰
ساعت ۱۹ الی ۲۰	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۱	۵۷/۴۱
	۱۲	۲۳	۴۲/۵۹
	۱۳	۰	۰/۰۰
ساعت ۲۱ الی ۲۲	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۴۲	۵۶/۷۶
	۱۲	۳۱	۴۱/۸۹
	۱۳	۱	۱/۳۵

جدول ۳. درصد BIN مسیر اتوبوس تندرو شهری ساعت ۶ تا ۱۴

زمان	Bin	تعداد تکرار	درصد
ساعت ۶ الی ۷	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۲۲	۴۸/۸۹
	۱۲	۲۱	۴۶/۶۷
	۱۳	۲	۴/۴۴
ساعت ۷ الی ۸	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۴۷	۶۲/۶۷
	۱۲	۲۴	۳۲/۰۰
	۱۳	۴	۵/۳۳
ساعت ۹ الی ۱۰	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۲۳	۴۷/۹۲
	۱۲	۲۴	۵۰/۰۰
	۱۳	۱	۲/۰۸
ساعت ۱۱ الی ۱۲	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۴	۵۲/۳۱
	۱۲	۲۹	۴۴/۶۲
	۱۳	۲	۳/۰۸
ساعت ۱۲ الی ۱۳	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۲	۵۲/۴۶
	۱۲	۲۹	۴۷/۵۴
	۱۳	۰	۰/۰۰
ساعت ۱۳ الی ۱۴	۱۰	۰	۰/۰۰
	۱۱	۳۶	۵۰/۰۰
	۱۲	۳۵	۴۸/۶۱
	۱۳	۱	۱/۳۹

### نتایج فیل ناوگان در تهران

و فیل ناوگان سواری، کامیون، اتوبوس و BRT به صورت جداگانه استخراج گردید و در جداول ۸-۵ ارائه شده است.

برای به دست آوردن فیل ناوگان، فایل‌های از اداره تعویض پلاک گرفته شد و تک تک مدل‌های ماشین مورد بررسی قرار گرفت

جدول ۵. نتایج فیل ناوگان سواری

درصد	سیستم	سوخت مصرفی	اندازه
۲/۱۰	Carburetor 3-way/EGR 79 K km	بنزین سوز	سبک
۲/۱۲	Carburetor 3-way/EGR 80-161 K km	بنزین سوز	سبک
۰/۵۴	Carburetor 3-way/EGR 80-161 K km	بنزین سوز	متوسط
۱/۳۶	Carburetor 3-way/EGR 80-161 K km	بنزین سوز	سنگین
۰/۳۲	Carburetor 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز	سبک
۱/۰۷	Carburetor 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز	متوسط
۱/۳۵	Carburetor 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز	سنگین
۰/۴۸	Single-Pt FI 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز	متوسط
۱۵/۴۸	Multi-Pt FI Euro IV 79 K km	بنزین سوز	متوسط
۵/۷۸	Multi-Pt FI Euro IV 80-161 K km	بنزین سوز	متوسط
۱/۴۸	Multi-Pt FI Euro IV 161 to up	بنزین سوز	متوسط
۲۴/۹۶	Multi-Pt FI 3-way/EGR 79 K km	بنزین سوز	متوسط
۱۵/۲۸	Multi-Pt FI 3-way/EGR 80-161 K km	بنزین سوز	متوسط
۱۰/۳۸	Multi-Pt FI 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز	متوسط
۶/۷۸	Multi-Pt FI 3-way/EGR 79 K km	گاز سوز	متوسط
۱/۲۳	Multi-Pt FI 3-way/EGR 79 K km	گاز سوز	سنگین
۵/۳۹	Multi-Pt FI 3-way/EGR 80-161 K km	گاز سوز	متوسط
۰/۴۰	Multi-Pt FI 3-way/EGR 80-161 K km	گاز سوز	سنگین
۳/۳۰	Multi-Pt FI 3-way/EGR 161 to up	گاز سوز	متوسط
۰/۱۸	Multi-Pt FI 3-way/EGR 161 to up	گاز سوز	سنگین

جدول ۸. نتایج فیل ناوگان اتوبوس

درصد	سیستم سوخت رسانی	سوخت مصرفی
۱/۰۴	Euro II 80-161 K km	دیزل
۲/۶۹	Euro II 161 to up	دیزل
۳۷/۵۴	Single-Pt FI 3-way/EGR 79 K km	بنزین سوز
۳۵/۹۶	Single-Pt FI 3way/EGR 80-161 K km	بنزین سوز
۲۲/۷۷	Single-Pt FI 3-way/EGR 161 to up	بنزین سوز

جدول ۶. نتایج فیل ناوگان BRT

درصد	سیستم سوخت رسانی	سوخت مصرفی
۶۵	Euro III 79 K km	دیزل
۲۳	Euro III 80-161 K km	دیزل
۱۲	Euro II 161 to up	دیزل

جدول ۷. نتایج فیل ناوگان کامیون

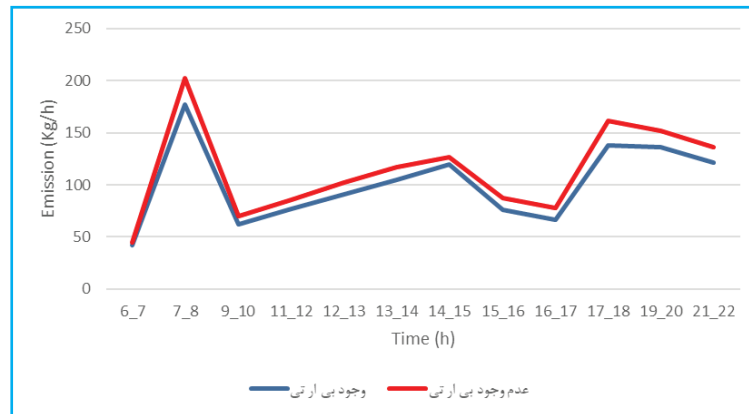
درصد	سیستم سوخت رسانی	سوخت مصرفی
۱۹/۰۰	Euro III 79 K km	دیزل
۳/۴۷	Euro III 80-161 K km	دیزل
۴/۲۴	Euro II 79 K km	دیزل
۱۷/۱۳	Euro II 80-161 K km	دیزل
۱۸/۲۵	Euro II 161 to up	دیزل
۳۷/۹۱	Euro IV 79 K km	دیزل

## نتایج انتشار آلاینده‌های معیار

## انتشار کربن مونوکسید

با استفاده از نتایج حاصل که از انتشار مونوکسید کربن در مسیر مورد نظر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری به دست آمد، نتایج مقایسه دو سناریو در نمودار ۷ نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات به دست آمده، بیشترین مقدار

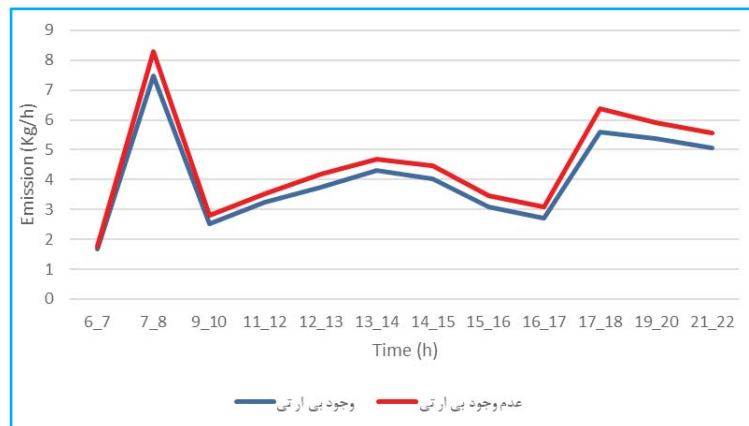
تولید آلاینده مونوکسیدکربن در مسیر مورد نظر در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۱۷۷/۵ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۲۰۲/۶۷ بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT به‌طور میانگین موجب کاهش ۳۹/۹ درصدی تولید مونوکسیدکربن شده بود (نمودار ۷).



شکل ۷. مقایسه میزان انتشار مونوکسیدکربن در دو سناریو

#### انتشار ترکیبات آلی فرار

نتایج حاصل از انتشار ترکیبات آلی فرار در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری اندازه‌گیری و در نمودار ۸ دو سناریو با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به نتایج، بیشترین مقدار تولید آلاینده ترکیبات آلی فرار در مسیر دانشگاه آزاد به سمت میدان آزادی در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۷/۴۶ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۸/۲۹ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش ۹/۴۱ درصدی تولید آلاینده شده بود. در نمودار ۸ مقادیر مربوط به این دو سناریو بیان و با یکدیگر مقایسه شده است.

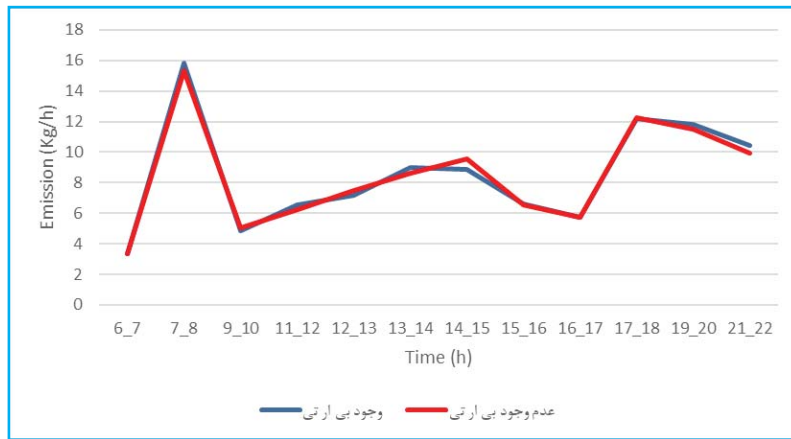


شکل ۸. مقایسه میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در دو سناریو

#### انتشار اکسید نیتروژن ( $\text{NO}_x$ )

با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده برای انتشار آلاینده اکسید نیتروژن در دو سناریوی مورد نظر، میزان انتشار این آلاینده در دو وضعیت وجود اتوبوس BRT و عدم وجود BRT در نمودار ۹ نشان داده شده است. با توجه به نمودار، بیشترین مقدار تولید

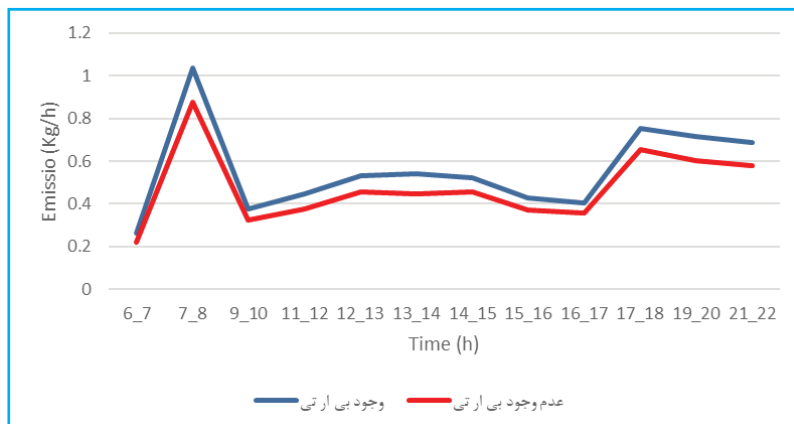
آلاینده اکسید نیتروژن در مسیر در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۱۵/۸ کیلوگرم بر ساعت برای سناریو اول و ۱۵/۳۲ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود و مقادیر تولید شده در دو سناریو به طور میانگین تقریباً با یکدیگر برابر بودند.



شکل ۹. مقایسه میزان انتشار اکسید نیتروژن در دو سناریو

#### انتشار اکسید گوگرد (SO<sub>x</sub>)

نتایج حاصل از انتشار اکسید گوگرد در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری بیان شده است و در نمودار ۱۰ دو سناریو با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به اطلاعات به دست آمده، بیشترین مقدار تولید آلاینده اکسید گوگرد در مسیر مورد نظر در ساعت

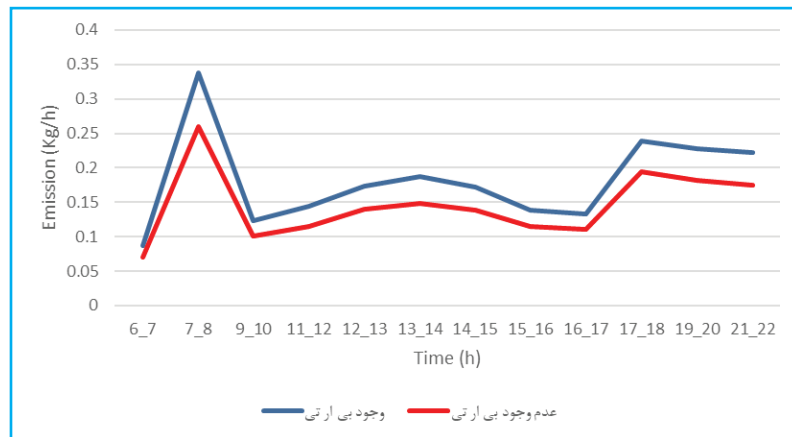


شکل ۱۰. مقایسه میزان انتشار اکسید گوگرد در دو سناریو

#### انتشار ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر

نتایج حاصل از اندازه‌گیری انتشار ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری در نمودار ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به مقایسه دو سناریو، بیشترین مقدار تولید آلاینده ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر در ساعت ۷ الی ۸

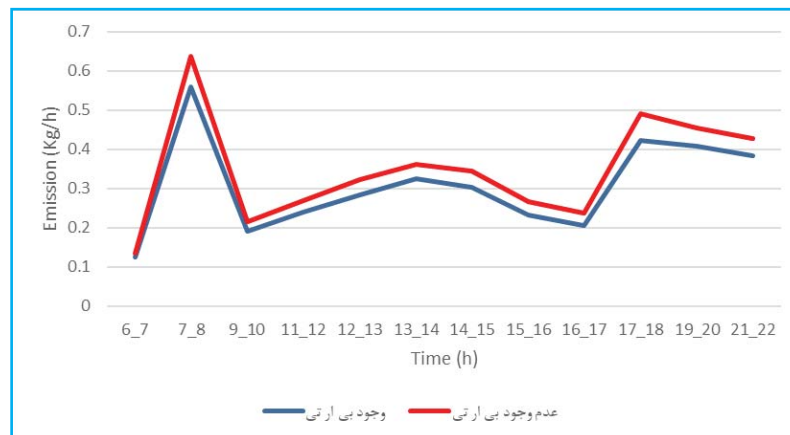
صبح به میزان ۰/۳۴ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۰/۲۶ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی اول نسبت به سناریوی دوم بالاتر بود و وجود BRT موجب افزایش ۱۹/۲۵ درصدی ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر شده بود.



شکل ۱۱. مقایسه میزان انتشار ذرات کمتر از  $10 \mu$  در دو سناریو

### نتایج انتشار آلاینده خطرناک

انتشار بنزن: در نمودار ۱۲ نتایج به دست آمده انتشار بنزن در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری نشان داده شده است. با توجه به مقایسه، بیشترین مقدار تولید آلاینده بنزن در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان  $0.56$  کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و  $0.64$  کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش  $11/52$  درصدی آلاینده بنزن شده بود.

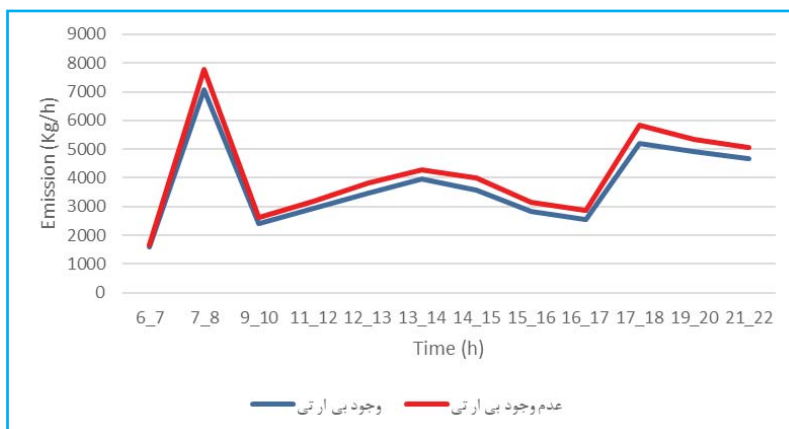


شکل ۱۲. مقایسه میزان انتشار بنزن در دو سناریو

### نتایج انتشار گازهای گلخانه‌ای

#### انتشار کربن دی‌اکسید

نتایج حاصل از انتشار دی‌اکسید کربن در مسیر مورد نظر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو در نمودار ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، بیشترین مقدار تولید کربن‌دی‌اکسید در مسیر مورد نظر در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان  $7071/59$  کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و  $7774/93$  کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش  $8/59$  درصدی آلاینده کربن‌دی‌اکسید شده بود.

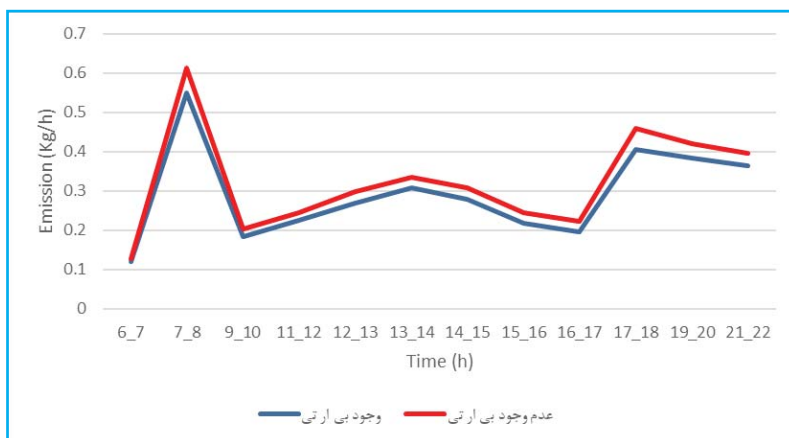


شکل ۱۳. مقایسه میزان انتشار کربن دی اکسید در دو سناریو

#### انتشار اکسید نیتروس

با استفاده از نتایج حاصل از اندازه‌گیری انتشار اکسید نیتروس در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری، مقایسه دو سناریو در نمودار ۱۴ نشان داده شده است. با توجه مقایسه مربوط به دو سناریو می‌توان نتیجه گرفت، بیشترین مقدار تولید آلاینده اکسید نیتروس در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۰/۵۵ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۰/۶۲ کیلوگرم برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش ۹/۲۴ درصدی آلاینده اکسید نیتروس شده بود (نمودار ۱۴).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری انتشار اکسید نیتروس در مسیر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری، مقایسه دو سناریو در نمودار ۱۴ نشان داده شده است. با توجه مقایسه مربوط به دو سناریو می‌توان نتیجه گرفت، بیشترین مقدار تولید آلاینده اکسید نیتروس در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۰/۵۵ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۰/۶۲ کیلوگرم برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش ۹/۲۴ درصدی آلاینده اکسید نیتروس شده بود (نمودار ۱۴).



شکل ۱۴. مقایسه میزان انتشار اکسید نیتروژن در دو سناریو

#### انتشار متان

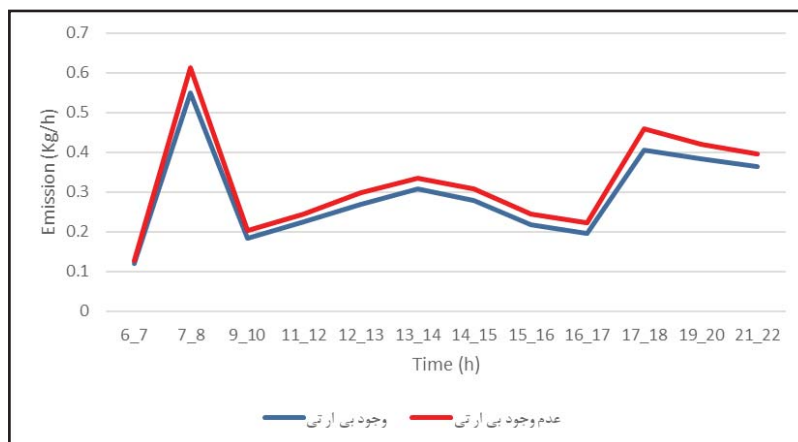
خلاصه نتایج حاصل از انتشار متان در مسیر مورد نظر برای دو سناریوی وجود و عدم وجود اتوبوس تندرو شهری در نمودار ۱۵ با همدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، بیشترین مقدار تولید متان در مسیر مورد نظر در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۷/۶۳ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۸/۷۶ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش ۱۱/۷ درصدی متان شده بود (نمودار ۱۵).

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، بیشترین مقدار تولید متان در مسیر مورد نظر در ساعت ۷ الی ۸ صبح به میزان ۷/۶۳ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی اول و ۸/۷۶ کیلوگرم بر ساعت برای سناریوی دوم بود. مقادیر تولید شده در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بالاتر بود و وجود BRT موجب کاهش ۱۱/۷ درصدی متان شده بود (نمودار ۱۵).

هم‌چنین در انتهای این بخش نتایج به دست آمده از دو سناریو برای آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای مورد نظر به صورت کلی ارائه می‌گردد.

هم‌چنین در انتهای این بخش نتایج به دست آمده از دو سناریو برای آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای مورد نظر به صورت کلی ارائه می‌گردد.





شکل ۱۵. مقایسه میزان انتشار متان در دو سناریو

جدول ۹. مقایسه نتایج دو سناریوی مسیر مورد نظر برای تمام آلاینده‌ها به‌طور خلاصه

آلاینده	مقدار انتشار در طول ۱۲ ساعت سناریو وجود BRT	مقدار انتشار در طول ۱۲ ساعت سناریو عدم وجود BRT	میزان کاهش (-) / میزان افزایش (+) بر حسب درصد
منواکسید کربن	۱۲۱۳/۰۲۹۲۳	۱۳۴۷/۹۵۶۳	-۱۰/۰۰
ترکیبات آلی فرار	۴۷/۱۶۴۳۰۲	۵۲/۲۹۷۹۶۲	-۹/۸۰
اکسید نیتروژن	۱۰۲/۳۶۴۵	۱۰۱/۵۶۰۷۳	۰/۸۰
اکسید گوگرد	۶/۶۹۶۱۰۴	۵/۷۲۲۷۴	۱۴/۵۰
ذرات کمتر از ۱۰ میکرون	۲/۱۸۴۴۰۹	۱/۷۴۸۴۲۲	۱۹/۹۰
بنزن	۳/۶۷۹۲۵۸	۴/۱۶۸۵۵	-۱۱/۷۰
دی‌اکسید کربن	۴۵۲۰۰/۱۱۵	۴۹۵۶۲/۰۹۳	-۸/۸۰
اکسید نیتروس	۳/۵۰۵۸۸۶	۳/۸۷۳۱۲۶	-۹/۵۰
متان	۵۰/۲۱۲۴۳۶	۵۷/۰۷۴۲۰۵	-۱۲/۰۰

### صحت‌سنجی

داده انتشار منابع متحرک مناسب نخواهد بود. در این پژوهش سناریوی مدل IVE با الگوی رانندگی استاندارد مکزیکوسیتی مبنا قرار گرفت و مقادیر به‌دست آمده با آن مقایسه شد. در بخش بعد به‌طور خلاصه تنها نتایج آلاینده منواکسید کربن برای مقایسه آورده شده است.

### صحت‌سنجی آلاینده منواکسید کربن

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه الگوی رانندگی شهری و مقایسه آن با دیگر الگوهای موجود در جهان، الگوی رانندگی مکزیکوسیتی شبیه به الگوی رانندگی ایران می‌باشد، بنابراین برای مقایسه داده‌های به‌دست آمده منواکسید کربن از الگوی

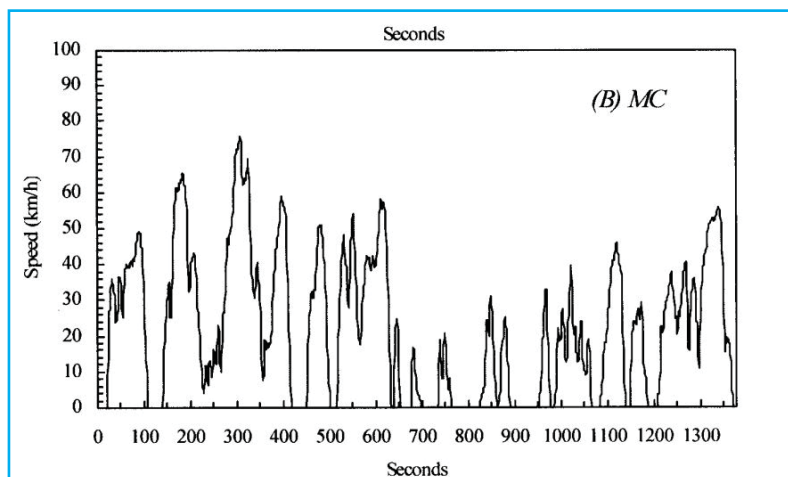
قابل ذکر است از آنجا که مدل‌سازی تنها برای منابع متحرک انجام شده است، داده تجربی دقیقی برای مقایسه و صحت‌سنجی با آن وجود نداشت، زیرا تنها داده اندازه‌گیری شده در زمینه آلودگی هوا مربوط به داده‌های ایستگاه پایش کنترل کیفیت هوا بوده که غلظت آلاینده‌ها در محل ایستگاه‌ها را به صورت نقطه‌ای و ساعتی گزارش کرده است.

این داده، مجموع انتشار نیست، بلکه غلظت در محیط است که این غلظت از انتشار ناشی می‌شود. ولی آلاینده‌ها پس از انتشار در محیط جابه‌جا شده و تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی جو قرار می‌گیرند و منجر به غلظت می‌شوند و برای مقایسه با

رانندگی مکزیکوسیتی که در شکل ۱۶ آمده است، استفاده شد. در با الگوی رانندگی مکزیکوسیتی و الگوی محلی محاسبه شده جدول ۱۰، درصد اختلاف از نتایج به دست آمده مونواکسیدکربن است (۲۲).

جدول ۱۰. صحت‌سنجی مسیر مورد نظر بر اساس الگوی رانندگی مکزیکوسیتی برای آلاینده مونواکسیدکربن سناریو وجود BRT

زمان اندازه گیری	میزان انتشار CO بر اساس الگوی مکزیکوسیتی	میزان انتشار CO بر اساس الگوی محلی	درصد تفاوت
۶ الی ۷	۴۰/۵۷۳۲۸	۴۲/۳۸۱۵	۴/۲۷
۷ الی ۸	۱۵۳/۳۶۵۴۷	۱۷۷/۵۰۳۱	۱۳/۶۰
۹ الی ۱۰	۵۷/۲۵۸۶۳	۶۲/۱۶۳۵	۷/۸۹
۱۱ الی ۱۲	۶۸/۴۵۳۶۲	۷۶/۹۱۸۶۱	۱۱/۰۱
۱۲ الی ۱۳	۷۷/۲۵۳۶۹	۹۱/۱۴۶۸۵	۱۵/۲۴
۱۳ الی ۱۴	۸۹/۳۲۵۸۵	۱۰۴/۴۹۹۴	۱۴/۵۲
۱۴ الی ۱۵	۱۰۵/۸۵۲۴۱	۱۱۹/۶۴۰۸	۱۲/۳۶
۱۵ الی ۱۶	۷۰/۵۴۶۸۲	۷۶/۰۲۳۰۴	۷/۲۰
۱۶ الی ۱۷	۶۱/۲۳۱۴۶	۶۶/۶۳۹۰۳	۸/۱۱
۱۷ الی ۱۸	۱۲۴/۹۸۷۵۶	۱۳۸/۲۹۳۷	۹/۶۲
۱۹ الی ۲۰	۱۲۸/۲۵۳۶۹	۱۳۵/۹۷۹	۵/۶۸
۲۱ الی ۲۲	۱۱۵/۴۲۵۶۹	۱۲۱/۸۴۰۷	۵/۲۷



شکل ۱۶. الگوی رانندگی مکزیکوسیتی

## بحث

با توجه به یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت وجود BRT در این مسیر موجب کاهش ۱۳/۲ کیلوگرم آلاینده مونواکسیدکربن در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. همچنین برای آلاینده ترکیبات آلی فرار در مقایسه دو سناریو، می‌توان نتیجه گرفت غلظت این آلاینده در این مسیر موجب کاهش ۵/۱۳ کیلوگرم در طول مدت مسیر شده است. مقادیر آلاینده اکسیدهای نیتروژن نشان داد که وجود اتوبوس‌های تندرو شهری در این مسیر موجب افزایش ۰/۸ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. در ادامه با

برتری هر کدام نسبت به یکدیگر مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

با مقایسه دو سناریو در ساعت‌های اندازه‌گیری توسط IVE و نتایج متفاوت استخراج شده، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی رانندگی و مسافت طی شده، دو متغیر بسیار مهم در IVE هستند. همچنین با توجه به مقایسه مسیر می‌توان فهمید که شیب جاده و ترافیک تأثیر زیادی در انتشار آلاینده‌ها دارد. آلاینده مونواکسیدکربن و ترکیبات آلی فرار بیشتر از ناوگان سواری منتشر می‌شود. همچنین استفاده از BRT میزان گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسیدکربن را به میزان ۴۳۶۱/۹۷ کیلوگرم در مدت اندازه‌گیری کاهش داده است.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و عدم داده سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش منتج از پایان‌نامه سید مهدی فاتحی در رشته آلودگی هوا گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران می‌باشد. بدین وسیله از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، اداره تعویض پلاک و همچنین از دیگر ارگان‌ها شهر تهران که با در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز، ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

استفاده از مقایسه مقادیر آلاینده اکسیدهای گوگرد یا ساکس در دو سناریو، وجود اتوبوس‌های تندرو شهری موجب افزایش ۰/۹۷ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. همچنین مقادیر آلاینده ذرات در دو سناریو مورد تحلیل قرار گرفت که نشان داد در این مسیر موجب افزایش ۰/۴۸ کیلوگرم در طول این مدت اندازه‌گیری شده است و نیز مقادیر آلاینده بنزن در دو سناریو مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده گردید که در مسیر مورد نظر، تأثیر اتوبوس‌های تندرو شهری موجب کاهش ۰/۴۸ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. مقادیر گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن در دو سناریو مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد وجود اتوبوس‌های تندرو شهری موجب کاهش ۴۳۶۱/۹۷ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. همچنین مقادیر گاز گلخانه‌ای اکسید نیتروس در دو سناریو نشان داد که وجود اتوبوس‌های تندرو شهری موجب کاهش ۰/۳۷ کیلوگرم در طول ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شده است. در انتها مقادیر گاز گلخانه‌ای متان در دو سناریو مورد مقایسه قرار گرفت که نشان داد در این مسیر تأثیرات بکارگیری اتوبوس‌های تندرو شهری موجب کاهش ۶/۸۶ کیلوگرم از این آلاینده در طول این مدت شده است. پیشنهاد می‌شود برای کارهای آتی، مسیری دیگری انتخاب شده که در آن مسیر از مترو به عنوان حمل‌ونقل عمومی استفاده گردد و مانند این پژوهش، مقادیر در چند سناریو مورد بررسی قرار گیرند تا اثر مترو بر کاهش آلودگی هوا ارزیابی شود. در نهایت با مقایسه چندوجهی بین اتوبوس تندرو شهری و مترو،

## References

1. Asgari M. Potential to reduce pollutant emissions from personal rides In big cities with cars with new technologies Master's (thesis). Iran. Faculty of Civil Engineering Sharif University; 2011. (Persian)
2. Ashrafi Kh., Shafipour M., Kamalan H. Estimating temporal and seasonal variation of ventilation coefficients, International Journal of Environmental Research, 2009.
3. Abdollahi S, Ashrafi Kh, ShafiPoor M. Comparison of mobile emission estimation models moves and ive To estimate the emission of pollutants in Tehran) Master's thesis(. Iran. Faculty of Environmental Tehran University; 2016. (Persian)
4. Air quality control company. Quality of Fuel and Diesel Distributed in Tehran Metropolis. 2011. (Persian)
5. Bakhtiari Y. Ashrafi Kh ShafiPoor M. Estimating the amount of emission of major sources and their impact In the pollution of the city of Pakdasht )Master's thesis(. Iran. Faculty of Environment Tehran University; 2013. (Persian)
6. Diaz L. Rodriguez R. Driving cycle for vehicle emissions estimation in the metropolitan area of Mexico City. Institute Mexican petroleum 2004; No: 152.
7. Dehghani M. Meteorological and Air Pollution. Tehran

- Medical University Publications and Health Services. 2005. (Persian)
8. Helen. Bus Rapid Transit and development :policies and practices that affect development around transit. 2009; Report NO :FTA-FL-26-7109. <http://www.imna.ir/news/257761>.
9. IVE-Model Users Manual Version 2.0; 2008. Available on line at: <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual.pdf>.
10. Karbasi A. Khashayi Morteza. The role of radar buses (BRT) Reducing social costs of air pollution and fuel consumption Sharif Civil Engineering 2011. (Persian)
11. Moshahi J. Traffic Engineering. University of Tehran. Publication Center; 2009. (Persian).12
12. Majeri M. Ashrafi Kh. Investigating the emission of pollutants at the Bayahi passenger terminal in Tehran). Master's thesis(. Iran. Faculty of Environment Tehran University; 2010. (Persian)
13. Rashidi Y. Razzaghan M. Impact of Run (BRT) on Air Pollution (Case study: line one). The 9th Iranian Conference on Transport and Traffic Engineering 2011. (Persian)
14. Shafieppour M. Air pollution engineering, Tehran City Publishing; 2008. (Persian)
15. Sabrmnsh H. Investigating the impact of transport-oriented development on reducing air pollution )Master's thesis(. Iran. Tarbiat Modarres University; 2012. (Persian)
16. Tehran Air Quality Control Company. Optimizing Inland Urban Fuel Consumption and Reducing Environmental Pollution. Tehran: Report of the first phase:(February 2008). (Persian)
17. Tehran Comprehensive Transportation and Traffic Studies. The final structure of Tehran's transport model in EMME /2 software. Comprehensive Comprehensive Studies. October (2011). (Persian)