Experimental study of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene (BTEX) concentrations in the air pollution of Tehran, Iran.

Faezeh Borhani
* MS.C. Department of Civil Engineering-Environmental Engineering (Air Pollution), Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. (Corresponding Author): fborhani78@ut.ac.ir

Mohsen Mirmohammadi
Assistant Professor, Department of Environmental Engineering- Air Pollution, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Alireza Aslemand
Research Assistant, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran.

Received: 20 May 2017
Accepted: 29 June 2017

ABSTRACT

Back ground: Urbanization and development has always been led to air pollution. Volatile organic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) are known as one of the most important groups of air pollutants. The present study aims to measureand investigate the outdoor concentrations of BTEX in Tehran, Iran.

Methods and Materials: The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)'s methods were applied to measure the concentrations of BTEX in winter and spring of 2015 at 46 stations as well as in July 2003 at 19 stations. Sample preparation and extraction were accomplished by CS_2 solvent. Sample and data analysis were performed by Gas Chromathography (GC) and SPSS-16 software respectively.

Results: In 2003, The BTEX pollutants were more observed in the eastern, central and southern zones of Tehran, respectively. The average concentrations of BTEX were 238, 130, 69 and 118 ppb, respectively. The benzene to toluene (B/T) ratios were between 0.8 to 3.2, which indicated the poor quality of gasoline. In 2015, the BTEX concentrations in District 19 (south of Tehran) were higher than eastern and central regions, which located in traffic zones with extensive development in public transportations.

Conclusion: Improvement of gasoline quality, renewal of private cars and development of subway and public transportation till 2015 can be considered as the most important factors in decreasingBTEX concentrations to allowable amounts. During this year, thehe average concentrations of BTEX were 5.3 ppb, 9.2 ppb, 1.5 ppb and 2.6 ppb, respectively. The B/T ratio was fluctuated between 0.39 to 0.76, which depicted the remarkable role of vehicle traffic in BTEX pollution.

Document Type: Research article
Keywords: Tehran air pollution; BTEX; Ambient measurement

▶ **Citation:** Borhani F, Mirmohammadi M, Aslemand A. Experimental study of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) concentrations in the air pollution of Tehran, Iran. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2017;3 (2) : 105-115.

مطالعه تجربی غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) در آلودگی هوای تهران

پزش فائزه برهانی
* کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران_مهندسی محیط زیست(آلودگی هوا)، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول:
fborhani78@ut.ac.ir

محسن میرمحمدی
استادیار، گروه مهندسی محیط زیست_ آلودگی هوا، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

علیرضا اصلمند
دستیار پژوهشی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: توسعه شهرنشینی همواره با آلودگی هوا همراه بوده است. از جمله این آلاینده‌ها، ترکیبات آلی فرار شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) می‌باشند. مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت این ترکیبات در فضای باز شهر تهران انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه برای اندازه‌گیری غلظت BTEX در ۴۶ ایستگاه در زمستان و بهار سال ۱۳۹۴ و همچنین ۱۹ ایستگاه در خرداد ماه سال ۱۳۸۲ از قوانین مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) استفاده شد. آماده‌سازی نمونه و استخراج آلاینده‌ها به وسیله حلال دی سولفید کربن انجام شد. تجزیه نمونه‌ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری ۱۶، SPSS انجام گرفت.

یافته‌ها: در سال ۱۳۸۲، آلودگی‌های ناشی از BTEX مشاهده شده در مناطق شرق، مرکز و جنوب شهر تهران بیشتر و متوسط غلظت این ترکیبات ۲۳۸، ۱۳۰، ۱۱۸ و ppb ۶۹ بود. نسبت بنزن به تولوئن ۰/۸تا ۳/۲ بود که نشان دهنده کیفیت پایین بنزین است. در سال ۱۳۹۴، غلظت BTEX در منطقه ۱۹ (در جنوب شهر تهران) بالاتر از مناطق شرقی و مرکزی که در مناطق ترافیک با توسعه گسترده در حمل و نقل عمومی واقع شده‌اند، بود.

نتیجه‌گیری: دلیل کاهش غلظت BTEX به مقدار مجاز آن، بهبود کیفیت بنزین، تجدید خودروهای شخصی و توسعه مترو و حمل و نقل عمومی تا سال ۱۳۹۴ در این مناطق می‌باشد. در این سال غلظت متوسط این ترکیبات به ترتیب ۵/۳، ۹/۲، ۱/۵ و ppb ۲/۶ و نسبت بنزن به تولوئن ۰/۳۹ تا ۰/۷۶ بود که این نوسان نقش قابل توجه تردد خودروها در آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX را نشان می‌دهد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
کلید واژه‌ها: آلودگی هوای تهران، اندازه‌گیری محیطی، BTEX

◀ **استناد:** برهانی ف، میرمحمدی م، اصلمند ع. مطالعه تجربی غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) در آلودگی هوای تهران. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۳۹۶؛۳ (۲): ۱۰۵-۱۱۵.

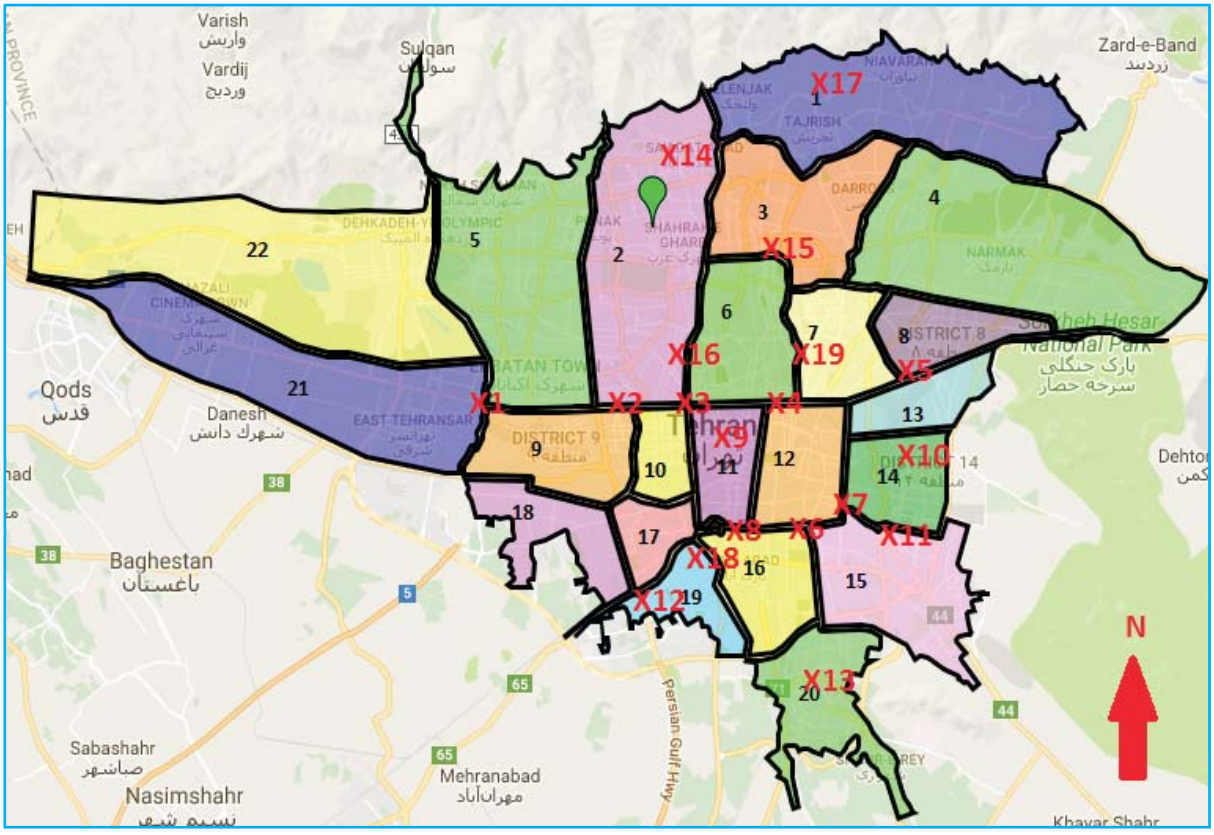
مقدمه

شهرنشینی و توسعه آن با آلودگی‌های زیست محیطی مانند آلودگی هوا در ارتباط است (۱). ترکیبات آلی فرار از آلاینده‌های بسیار مهم هوا می‌باشند. این گروه ترکیبات آلی از نظر اقتصادی اهمیت زیادی داشته و شامل چندین هزار ترکیب گوناگون است که بسیاری از آن‌ها به عنوان حلال استفاده می‌شوند. قرار گرفتن در معرض آلاینده‌هایی مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX)، علاوه بر این که اثرات بهداشتی بی‌پایانی از جمله مرگ‌و میر زودرس را به دنبال دارد (۲)، بر روی سیستم تنفسی و ریه انسان نیز تأثیر سوء دارد. از بین این ترکیبات، بنزن در دسته مواد سرطان‌زا قرار گرفته است. ترکیبات BTEX به عنوان ترکیبات آلی فرار غیر متانی (VOCs) طبقه‌بندی می‌شوند(۳). منابع انتشار ترکیبات آلی فرار شامل فرآیند احتراق، دود سیگار، تبخیر بنزین و تعدادی از فعالیت‌های صنعتی از قبیل فرآیندهای پتروشیمی، نگه‌داری و توزیع رنگ و حلال می‌باشد (۴). بنزن به عنوان یک هیدروکربن آروماتیکی با طول عمر نسبتاً طولانی، یک ترکیب سرطان‌زا و خطرناک‌ترین ترکیب در میان ترکیبات BTEX است (۵). زایلن‌ها ((m, p) - زایلن و o- زایلن)، عمده‌ترین عامل تشکیل ازن در میان ترکیبات BTEX می‌باشند (۶). نسبت بین (p، m) زایلن و اتیل بنزن، سطح واکنش فتوشیمیایی در جو را می‌تواند نشان دهد و سن واکنش توده هوا را تخمین بزند (۷، ۸). نسبت بنزن به تولوئن می‌تواند در شناخت منبع انتشار گازهای فرار مفید باشد. در نسبت (وزنی / وزنی) ۰/۵ در مناطق شهری، ترافیک ممکن است منبع اصلی انتشار گازهای فرار باشد(۹). تولوئن و بنزن به عنوان آلاینده‌های شاخص سهم ترافیک در انتشار گازهای فرار مطرح شده‌اند (۱۰). Wang و همکاران (۲۰۱۲)، انتشار گازهای فرار در منطقه شهری پکن را در فاصله سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۰ بررسی کردند که در نسبت‌های بنزن به تولوئن در اطراف ۰/۴ تا ۱، ترافیک وسایل نقلیه، منبع اصلی انتشار گازهای فرار بود (۱۱). Halek و همکاران (۲۰۰۴)، سهم بنزین در آلودگی هوای تهران را مورد مطالعه قرار دادند، آنها گزارش کردند که غلظت BTEX در ایستگاه‌های گاز ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از مناطقی است که در فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری فاصله داشتند (۱۲). سهم آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX در کنار جاده و هوای شهر الجزایر مورد پژوهش قرار گرفت و غلظت این آلاینده‌ها در کنار جاده، دو تا سه برابر بیشتر از مناطق شهری بود. غلظت متوسط بنزن و تولوئن در کنار جاده به ترتیب برابر ۸/۴۵ ppb و ۱۰/۳۵ ppb بود (۱۳). در مطالعه Lan و همکار (۲۰۱۳)، غلظت ترکیبات BTEX در ۱۷ ایستگاه جاده‌ای در مناطق شهری ویتنام اندازه‌گیری شد. آن‌ها متوجه شدند که ترافیک به ویژه موتورسیکلت، حداکثر سهم را در انتشار آلاینده‌های BTEX دارد. غلظت روزانه بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، (p،m) -زایلن و o-زایلن به ترتیب برابر ۱۷/۵۳، ۳۲/۱۱، ۴/۸۷، ۱۴/۷۴ و ۵/۳ ppb گزارش شد (۱۴). جهت کنترل آلاینده‌های هوا، از جمله ترکیبات BTEX از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در دره پو، ایتالیا مطالعاتی انجام گرفت. نسبت بنزن به تولوئن (B /T) به عنوان یک شاخص تحلیلی ترافیک وسیله نقلیه که از ۰/۲۸ در سال ۲۰۰۰ به ۰/۵ در ۲۰۱۲ خواهد رسید، معرفی گردید (۱۵). در مطالعه Esmaelnejad و همکاران (۲۰۱۵) با نمونه‌گیری ترکیبات BTEX در شعاع ۲۵۰ متری ایستگاه‌های گاز و در موقعیت‌های هوای سرد و گرم در مناطق نزدیک ایستگاه‌های گاز، به این نتیجه رسیدند که بنزن بیشترین مقدار آلایندگی را دارد و ترکیبات دیگر نزدیک به حد استاندارد می‌باشند (۱۶). بنابراین با در نظر گرفتن اهمیت موضوع آلودگی هوای شهر تهران و با توجه به اهمیت بررسی غلظت ترکیبات آلی فرار موجود در اتمسفر از نظر سلامتی و محیط زیست و عدم وجود مطالعات کافی در این زمینه در هوای شهر تهران، مطالعه حاضر با هدف نمونه‌برداری آنالیز میزان غلظت ترکیبات BTEX در سه منطقه شهرداری تهران انجام شد. نمونه‌گیری در زمستان و بهار سال ۱۳۹۴ انجام گرفت و سپس نتایج آن با غلظت BTEX، که در ماه اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۸۲ در چند ایستگاه اندازه‌گیری شده بود، مقایسه شدند و تغییرات انتشار BTEX و سهم آن‌ها در آلودگی هوای شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت.

روش کار

۲-۱ . منطقه مورد مطالعه

تهران، بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران با جمعیت ۸/۵ میلیون نفر و مساحت ۶۳۶ کیلومتر مربع است. بیست و پنجمین شهر پرجمعیت و بیست و هفتمین شهر بزرگ جهان به‌شمار می‌آید (شکل ۱) (۱۷). این شهرستان بر روی مختصات جغرافیایی سی و پنج درجه و چهل و یک دقیقه و چهل و شش ثانیه شمالی و پنجاه و یک درجه و بیست و پنج دقیقه و بیست و سه ثانیه شرقی واقع شده است. این شهرستان به کوه‌های البرز (با ارتفاع حدود ۱۹۸۰ متر از سطح دریا) و کویر مرکزی (با ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) محدود شده است. میانگین میزان بارش سالانه ۲۲۰ mL، دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۴۳ و ۱۵- °C و متوسط رطوبت نسبی ۴۰ درصد دارد. جهت باد غالب شهر تهران در جهت غرب است (۱۸). این شهرستان به ۲۲ منطقه شهرداری تقسیم شده است. منطقه ۶، ۲۱/۴۹ km^2 و ۳/۵ درصد از مساحت شهر تهران را پوشش می‌دهد و جمعیت بیش از ۲۵۰ هزار نفر (۳ درصد از جمعیت این شهرستان) در این منطقه زندگی می‌کنند.



شکل ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شهر تهران در سال ۱۳۸۲

منطقه ۶ به دلیل مرکز شهر بودن با حمل و نقل متراکم مواجه است. برای مدیریت و فروکش کردن بار ترافیکی در این منطقه، حدود یک سوم از منطقه در اجرای طرح ممنوعیت ترافیک (زوج و فرد کردن از روی شماره پلاک وسیله نقلیه) قرار دارد (۱۹). منطقه ۱۳ و ۱۹ به ترتیب دارای مساحت ۱۲/۸۳ و ۲۰/۸۴ km^2 و جمعیت ۲۷۶ و ۲۴۵ هزار نفر هستند. کاربرد زمین‌های منطقه ۱۳ نظامی و مسکونی و در منطقه ۱۹، زمین‌ها دارای کاربری‌های مسکونی، کشاورزی، صنعتی و نظامی هستند. منطقه ۶ و یک پنجم از منطقه ۱۳ در منطقه اجرای طرح زوج و فرد وسیله نقلیه قرار دارند که وسایل نقلیه مجاز به ورود به

منطقه بر اساس شماره ثبت خودرو تردد می‌کنند (۱۹). تهران از مشکلات جدی در کیفیت هوا رنج می‌برد. تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از تردد خودرو، سهم قابل توجهی در آلودگی هوای شهر تهران دارد (۲۰). در اوایل سال ۲۰۰۰، بیش از ۲ میلیون وسیله نقلیه، از جمله ۴۰۰۰۰۰ موتورسیکلت در تهران با به طور میانگین ۲۰ سال طول عمر داشتند (۲۱).

حدود ۶۰ درصد از وسایل نقلیه بیش از ۱۵ سال عمر داشتند، در حالی که عمر ۳۵ درصد از وسایل نقلیه کمتر از ۱۵ سال بود. عدم کارایی موتور از مشخصات آشکار وسایل نقلیه سالخورده بود که مقدار قابل توجهی از آلاینده‌ها را ساطع می‌کرد. در سال ۲۰۱۰ شهر تهران شامل بیش از ۳/۵ میلیون دستگاه خودروی بنزینی سبک و ۱۰۰ هزار خودروی دیزلی سنگین و ۱ میلیون موتورسیکلت بود. پراکندگی عمر این خودروها به این صورت بود که ۵۵ درصد از وسایل نقلیه در سن ۱ تا ۵ سال، ۳۰ درصد از وسایل نقلیه در سن ۶ تا ۱۰ سال و ۱۵ درصد از وسایل نقلیه قدیمی‌تر بالاتر از ۱۰ سال کارکرد داشتند (۲۲).

۲-۲. اندازه‌گیری میدانی

در اردیبهشت و خرداد ماه سال ۱۳۸۲، کیفیت هوا در ۱۹ ایستگاه همانند شکل ۱ اندازه‌گیری شد. متوسط درجه حرارت بین ۳۴-۲۱ °C و حداکثر سرعت باد ۴/۴ m/s بود. محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری هوا در مناطق مختلف شهرداری تهران

مناطق مختلف	ایستگاه‌های نمونه‌برداری هوا
منطقه ۱ (شمال تهران):	X۱۷ (میدان تجریش)
منطقه ۲ (شمال تهران):	X۱۴ (میدان کاج)، X۱۶ (پل نصر)
منطقه ۳ (شمال تهران):	X۱۵ (میدان ونک)
منطقه ۶ (مرکز تهران):	X۲ (انقلاب‌میدان)، X۳ (میدان فردوسی)، X۱۹ (خیابان شهید بهشتی)
منطقه ۷ (مرکز تهران):	X۴ (امام حسین میدان)
منطقه ۹ (غرب تهران):	X۱ (میدان آزادی)
منطقه ۱۲ (شرق تهران):	X۹ (خیابان ملت)
منطقه ۱۳ (شرق تهران):	X۵ (خیابان‌دماوند)، X۱۰ (خیابان پیروزی)
منطقه ۱۵ (تهران جنوب):	X۷ (خراسان)، X۱۱ (خاوران)
منطقه ۱۶ (تهران جنوب):	X۶ (شوش)، X۸ (راه آهن)
منطقه ۱۹ (تهران جنوب):	X۱۲ (نعمت آباد)، X۱۸ (الغدیر)
منطقه ۲۰ (تهران جنوب):	X۱۳ (شهر ری)

در بهمن و اسفند ماه سال ۱۳۹۴ و فروردین ماه ۱۳۹۵، بیش از ۳۶۰ نمونه از ۴۶ ایستگاه از مکان‌های مختلف مناطق ۶، ۱۳ و ۱۹ گرفته شده بود که متوسط درجه حرارت بین ۲۵ تا ۳۷ °C در فروردین ماه ۱۳۹۵ و نوسان بین ۶ تا ۱۶ °C در بهمن و اسفند سال ۱۳۹۴ بود. در اسفند و فروردین ماه، متوسط سرعت باد ۳/۶ و ۲/۷ m/s اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در حدود ۷ h و بین ساعت ۹:۰۰ صبح تا ۱۷:۰۰ عصر انجام شده بود.

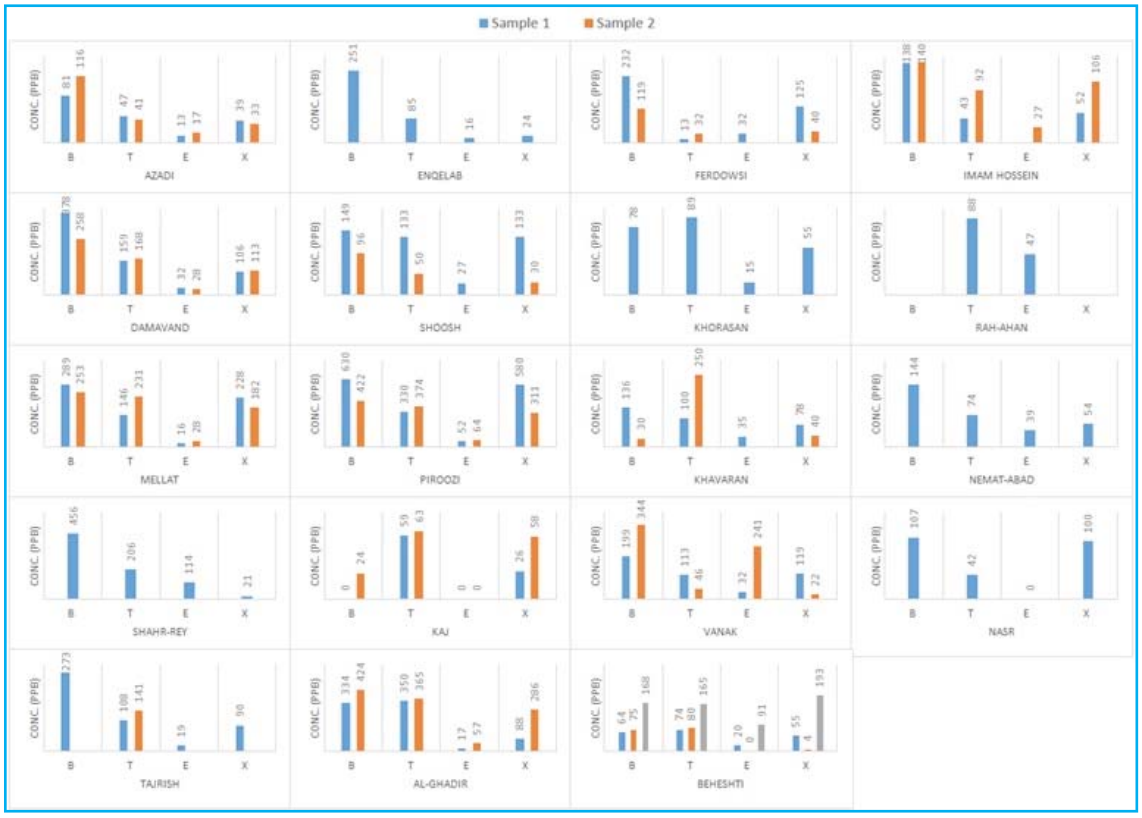
برای کنترل غلظت BTEX از قوانین مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) استفاده شد و نمونه‌برداری با استفاده از لوله جاذب کربن فعال (دو قسمتی ساخت شرکت SKC) صورت گرفت. از لوله‌های کربن که به صورت عمودی نصب شده بود، در جمع‌آوری نمونه هوا استفاده شد. لوله‌های مجموعه شامل mg ۱۵۰ زغال از چوب نارگیل بود که به دو قسمت ۱۰۰ و mg ۵۰ تقسیم شدند. این بخش‌ها از جنس پشم شیشه و فوم اورتان هستند که بخش بزرگ‌تر به جمع‌آوری گازهای فرار می‌پردازد و بخش کوچک‌تر را زمانی که بخش بزرگ‌تر نتواند به جمع‌آوری همه گازها بپردازد، به‌کار می‌گیرند. در مطالعه حاضر از پمپ نمونه هوا مدل EX ۴۴-۲۲۴ ساخت شرکت SKC، با دبی mL/min ۱۰۰ از طریق لوله‌های زغال چوب استفاده شد. پمپ‌های جریان با دبی mL/min ۲۷۰ کالیبره و افت فشار در سراسر لوله زغال چوب با استفاده از یک فشارسنج که بین پمپ‌ها و لوله زغال چوب قرار داشت، کنترل شدند. افت فشار مجاز ۲/۵ سانتی‌متر جیوه در یک جریان، با دبی L/min ۱ بود. درجه حرارت و فشار اتمسفر در طول نمونه‌برداری ثبت شد. برای اندازه‌گیری غلظت BTEX، زغال چوب در جداره یک شیشه کوچک مهر و موم شده، قرار داده شد و mL ۱ دی سولفید کربن (CS_2) به آن اضافه شد. نمونه التراسونیک به مدت ۳ تا min ۵ با این مخلوط بود. پس از آن، mL ۲ از نمونه به یک دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد.

برای اطمینان از صحت نمونه، به طور مشابه بخش‌های کوچک‌تر مورد عمل قرار گرفتند. ابتدا مقداری دی سولفید کربن به mg ۱۰۰ زغال چوب در یک شیشه اضافه شد، برای جذب کامل دی سولفید کربن به زغال چوب، شیشه کوچک مهر و موم شده به مدت یک شب نگهداری شد. یک لوله دیگر که دارای mg ۱۰۰ زغال چوب بود (با این تفاوت که دی سولفید کربن به آن اضافه نشده بود)، به طور مشابه مهر و موم و به مدت یک شب نگهداری شد. پس از آن، با محلول استاندارد مقایسه شدند (آماده‌سازی نمونه و استخراج آلاینده‌ها به وسیله حلال دی‌سولفید کربن انجام گرفت و تجزیه نمونه‌ها توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS ۱۶ انجام گردید. برای محلول استاندارد، مقادیر مختلف زغال به mL ۱ از CS_2 اضافه شد. راندمان دفع با مقایسه نمونه جذب در کروماتوگرام‌های گاز و نمونه‌های استاندارد، محاسبه شد: راندمان دفع= (منطقه نمونه‌برداری- سطح پوشش میانی خالی) / (سطح استاندارد)

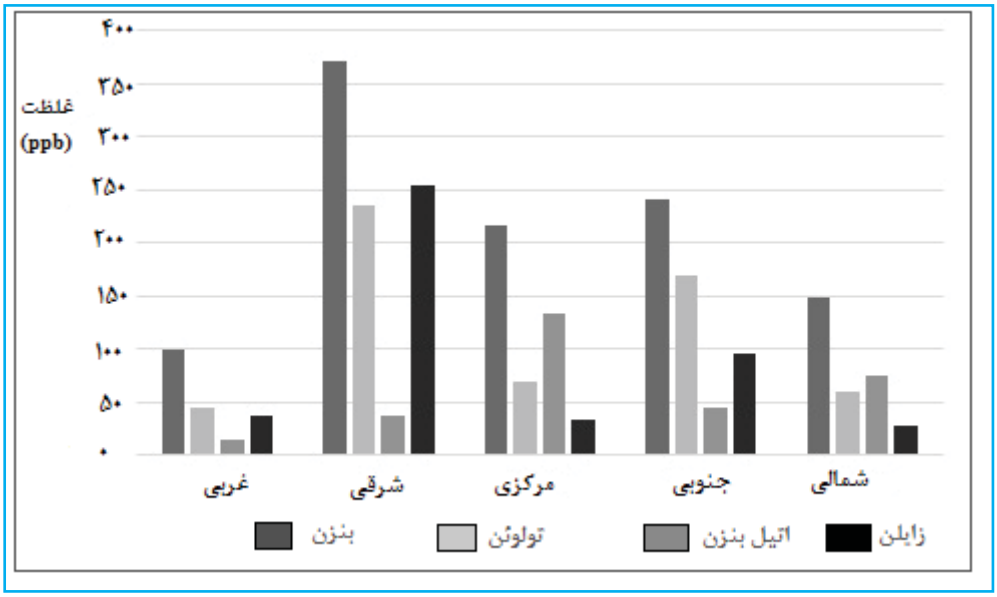
یافته‌ها

۳-۱. اندازه‌گیری میدانی غلظت BTEX در هوای شهر تهران (سال ۱۳۸۲)

شکل ۲ و ۳ غلظت ترکیبات BTEX در نقاط مختلف شهر تهران در سال ۱۳۸۲ را نشان می‌دهد. از مناطق غرب، مرکز و جنوب و شرق، قسمت‌های مرکزی و شرقی، آلوده‌ترین مناطق هستند. باد غالب شهر تهران در جهت غربی است. تراکم جمعیت و به تبع آن کسب و کار و ادارات و مراکز رسمی در مناطق غربی و شمال تهران کمتر متمرکز شده است. نسبت بین بنزن به تولوئن بین ۰/۸ تا ۳/۲ در نوسان است. در مناطق مرکزی، متوسط این نسبت ۳/۱۵۵ و در مناطق دیگر، متوسط نسبت بین بنزن و تولوئن ۲/۴۸ بود. در سال ۲۰۰۵ که ایستگاه‌های بنزین تهران مورد مطالعه قرار گرفت، نسبت بنزن به تولوئن تقریباً بین ۰/۵ تا ۲ متغیر بود و به غلظت نسبتاً بالایی از بنزن در بنزین در این ایستگاه‌ها اشاره شد (۲۳).



شکل ۲. میانگین غلظت ترکیبات BTEX در نقاط مختلف شهر تهران، ۱۳۸۲



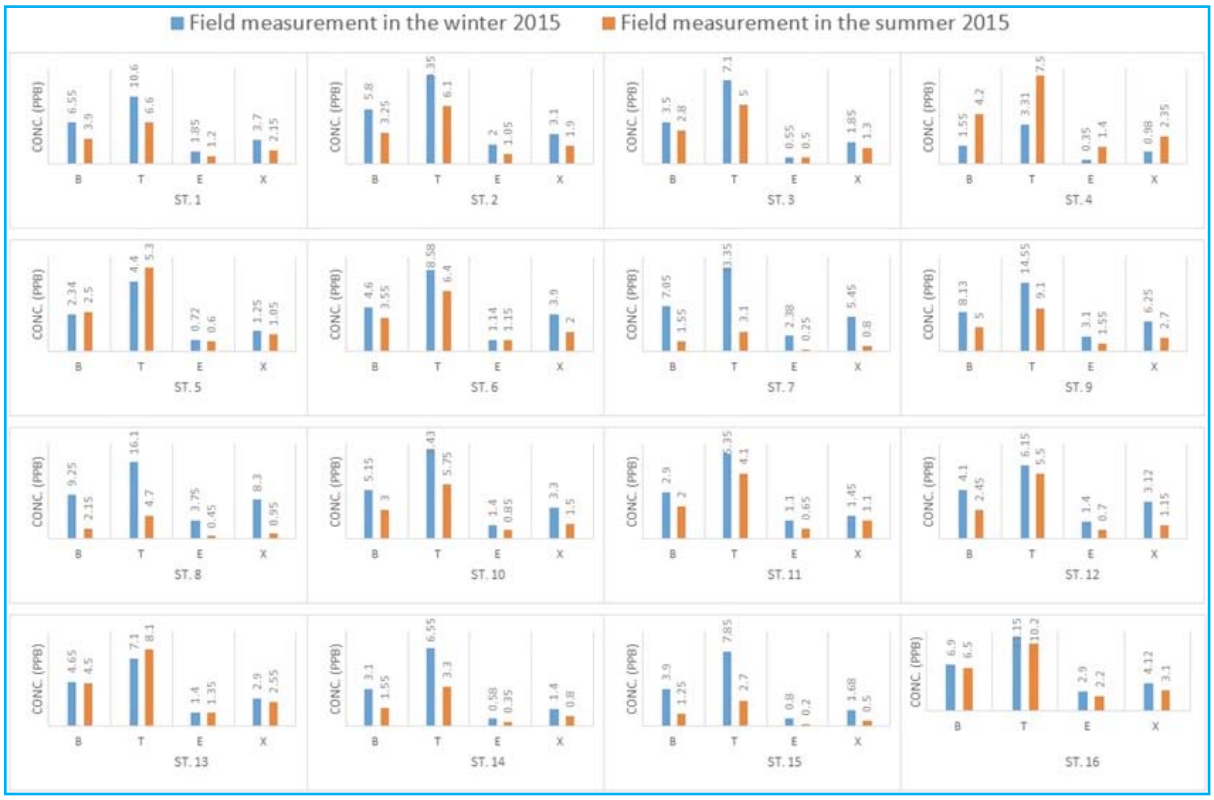
شکل۳. غلظت ترکیبات BTEX، در شهر تهران، ۱۳۸۲

۳-۲. اندازه‌گیری میدانی ترکیبات BTEX در هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۴

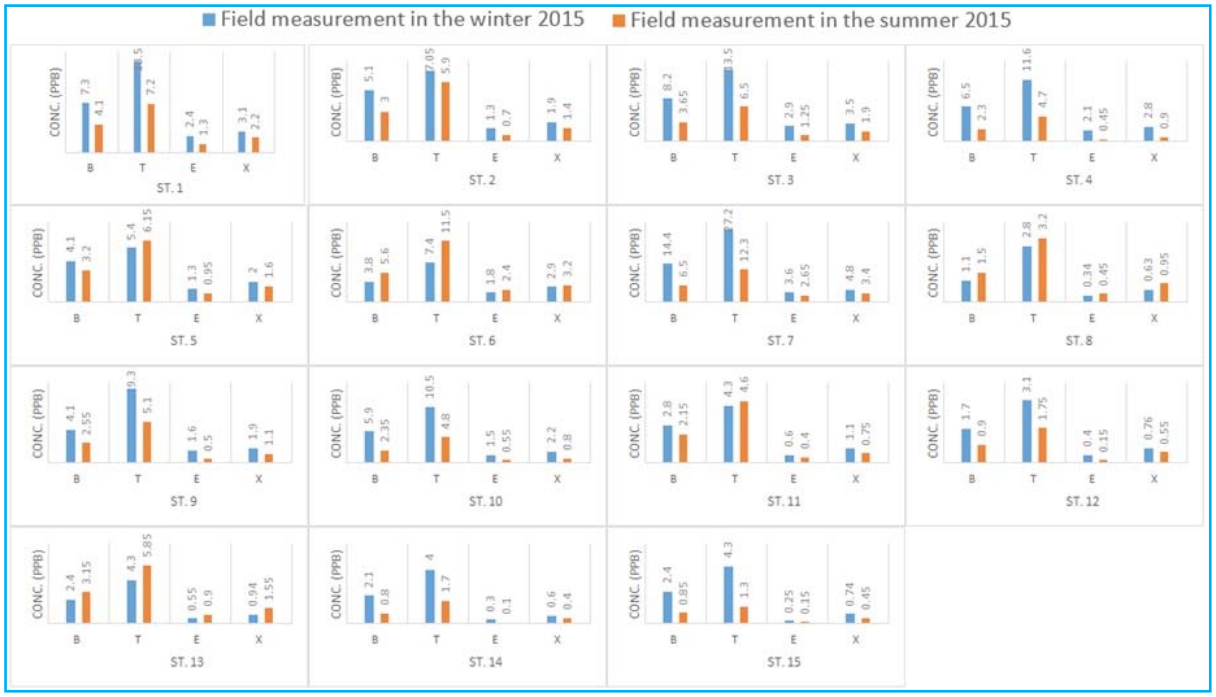
شکل ۴ غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۶، واقع در مرکز شهر تهران را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری در ۱۶ ایستگاه در ماه‌های زمستان و بهار سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. غلظت BTEX اندازه‌گیری شده در اسفند ماه (نزدیک به آغاز سال جدید) بالاتر از فروردین ماه بود. شکل ۷ غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۱۳، واقع در شرق تهران را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری در ۱۵ ایستگاه انجام شد. دور اول و دوم از اندازه‌گیری در ماه بهمن و خرداد سال ۱۳۹۴ انجام شد. شکل ۶ غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۱۹، واقع در جنوب تهران را توصیف می‌کند. اندازه‌گیری در ۱۵ ایستگاه انجام شد. دور اول و دوم از اندازه‌گیری در ماه دی و اردیبهشت سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان (شکل ۷) بود، به دلیل این‌که نمونه‌برداری زمستان نزدیک به سال جدید (عید نوروز)، که منجر به ترافیک شدید وسایل نقلیه بود، انجام گرفت. فصل تابستان به دلیل تعطیلی دانشگاه‌ها و مدارس، با کاهش بار ترافیکی همراه است، در نتیجه در این فصل آلودگی کمتر می‌باشد.

علاوه بر این، غلظت BTEX در منطقه ۱۹ (در جنوب تهران) بالاتر از مناطق دیگر بود. با توجه به محل قرارگیری مناطق ۶ و ۱۳ در مناطق پرترافیک و حمل و نقل عمومی از جمله مترو و اتوبوس و حمل و نقل سریع (خطوط BRT) در این نواحی به طور گسترده توسعه داده شده است. نسبت بین بنزن و تولوئن به شرح زیر است: در منطقه ۶ بین ۰/۴۶ تا ۰/۶۳، در منطقه ۱۳ بین ۰/۴۶ تا ۰/۵۸ و در منطقه ۱۹ بین ۰/۳۹ تا ۰/۷۶ در نوسان می‌باشد که می‌توان نقش غالب ترافیک فضایی در انتشار آلاینده‌های ناشی از ترکیبات BTEX را نشان داد.

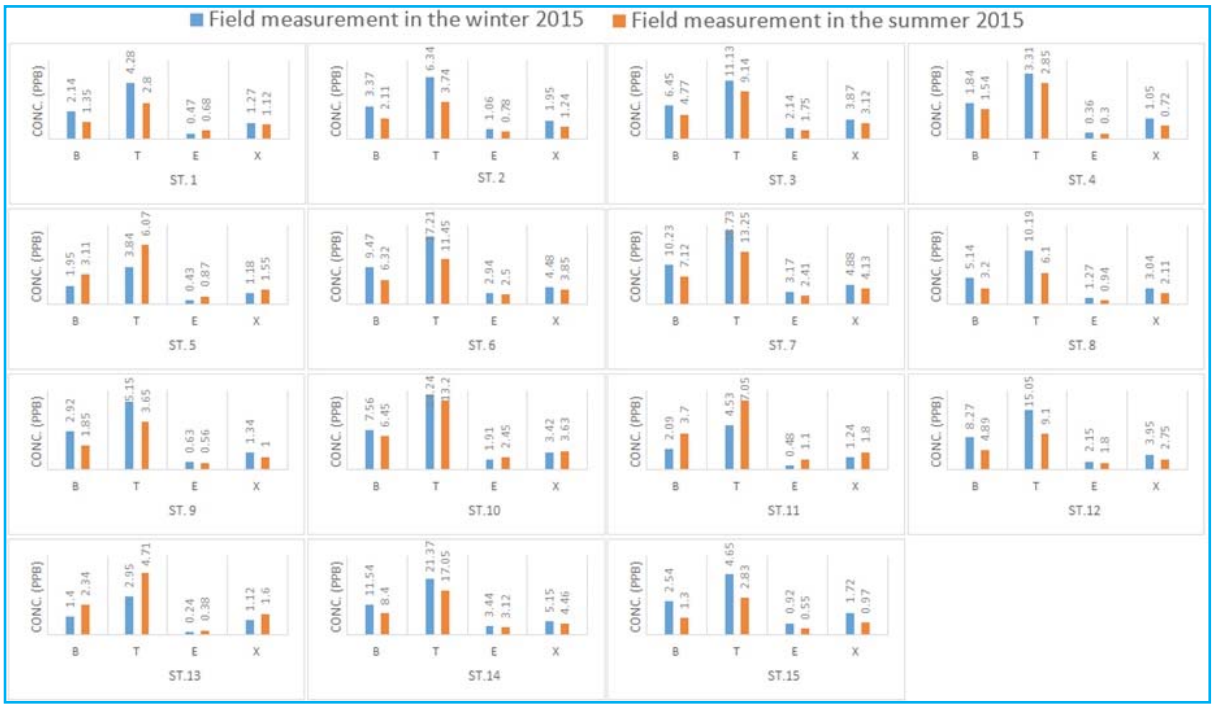
بر اساس نتایج نمودارها، میانگین غلظت بنزن در سال ۱۳۸۲، ۲۳۸/۹۸ ppb بود. همچنین در سال ۱۳۹۴ غلظت بنزن از ۱/۱ به ۱۴/۴ ppb (به طور متوسط ۵/۱۴ ppb) بود. جعفری و ابراهیمی(۲۰۰۷) طی گزارشی نشان دادند که میانگین غلظت بنزن در شهر تهران بین ۳/۲ ppb (۰/۰۱۱ mg/m^3) و ۱۵۶ ppb (۰/۵۳۶ mg/m^3) در نوسان است (۲۴). عتابی و همکاران (۲۰۱۳)، سهم بنزن در آلودگی هوای شهر تهران را بررسی کردند که غلظت سالانه بنزن در مسیر با ترافیک سنگین ۱۳/۸۵، در چهارراه‌ها ۱۴/۹۸، در مجاورت پمپ بنزین‌ها ۲۹/۰۱، در مناطق مسکونی ۳/۲۶ و در کنار جاده‌ها ۹/۹۷ ppb بود. در نتیجه نشان دادند توسعه حمل و نقل عمومی از جمله مترو و اتوبوس



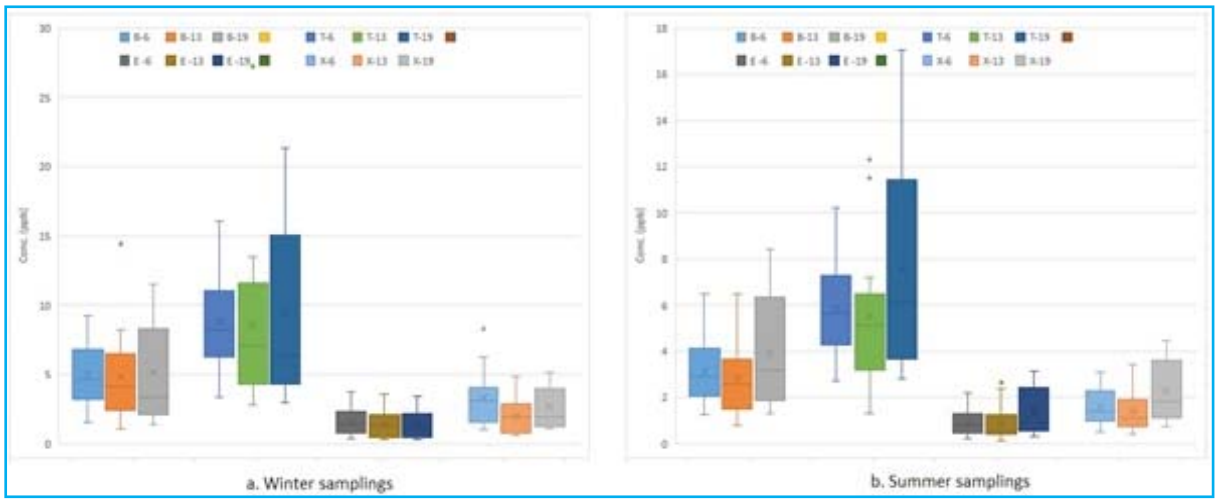
شکل ۴. غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۶ شهر تهران در سال ۱۳۹۴



شکل ۵. غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۱۳ شهر تهران در سال ۱۳۹۴



شکل ۶. غلظت ترکیبات BTEX در منطقه ۱۹ شهر تهران در سال ۱۳۹۴



شکل ۷. تغییرات غلظت ترکیبات BTEX در مناطق ۶، ۱۳ و ۱۹ شهر تهران در سال ۱۳۹۴

و حمل و نقل سریع (BRT) و محدودیت برای تردد خودروهای شخصی در مناطق پرترافیک در بهبود کیفیت هوا مؤثر است (۲۵). حسنی و حسینی (۲۰۱۶) گزارش دادند که تردد موتورسیکلت‌ها و اتومبیل‌ها در شهر تهران عامل انتشار ۰/۴۹۲ و ۰/۳۶ g/km هیدروکربن‌ها (THC) هستند (۲۰). شفیع‌پور و کاملان (۲۰۰۵) با مطالعه ترکیبات آلی فرار از موتور سیکلت‌ها، انتشار این ترکیبات را به اندازه ۸/۸۳۱ g/km تخمین زدند (۲۶). حسین‌لو و قائمی (۲۰۱۴) نرخ انتشار در منطقه ۷ شهر تهران را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که اتومبیل‌ها عامل انتشار گازهای فرار به مقدار ۶/۷۳ g/km هستند (۲۷). بهرامی (۲۰۰۱) ترکیبات BTEX را به عنوان بیشترین فرآیند VOC(ترکیبات آلی فرار) در آلودگی هوای شهر تهران نشان داد. نتایج حاصل از پژوهش وی

نشان داد که عوامل انتشار ناشی از تردد موتورسیکلت و اتومبیل در سال ۱۳۸۲ (سن ۶۰ درصد از وسایل نقلیه بیش از ۱۵ سال بود) حدود ۱۸ برابر بیشتر از سال ۱۳۹۴ بود (سن ۵۵ درصد از وسایل نقلیه کمتر از ۵ سال بود) (۲۸). در سال ۱۳۹۴، آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX شهر تهران تفاوت قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سال ۱۳۸۲ داشت. تعداد وسایل نقلیه در سال ۱۳۸۲ از ۲ میلیون به ۴/۵ میلیون در سال ۱۳۹۴ رسید. در نتیجه، نرخ تجدید وسایل نقلیه و بهبود کیفیت بنزین افزایش یافت و کاهش آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX اهمیت پیدا کرد.

غلظت مجاز در معرض قرار گرفتن هوای تنفسی بنزن، تولوئن و اتیل بنزن به ترتیب ۹/۳۹ ppb (۰/۰۳ mg/m^3)، ۱۳۳۰ ppb (۵ mg/m^3) و ۲۳۰ ppb (۱ mg/m^3) می‌باشد(۲۹). متوسط غلظت آلودگی ناشی از این ترکیبات به حد مجاز رسیده است. غلظت زایلن‌ها بیش از ۱۰۰ ppb (۰/۴ mg/m^3) است که خطر ابتلاء به اثرات بهداشتی غیر سرطانی را به طور نامطلوب افزایش می‌دهد (۳۰).

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌ها و بحث در مورد آن‌ها، خلاصه نتایج به شرح زیر می‌باشد:

- آلودگی ناشی از آلاینده‌های BTEX به غلظت مجاز رسیده است.
- در سال ۱۳۸۲، نسبت بنزن به تولوئن (B/T)، بین ۰/۸ تا ۳/۲ بوده است که کیفیت پایین بنزین را به عنوان منبع عمده ترکیبات BTEX نشان می‌دهد.
- با توجه به موقعیت جغرافیایی، مناطق شرقی و مرکزی شهر تهران آلوده‌تر از سایر مناطق است.
- در سال ۱۳۹۴، نسبت بنزن به تولوئن (B/T)، بین ۰/۴۴ تا ۰/۶۳ در نوسان بوده است که سهم قابل توجه ترافیک وسایل نقلیه در انتشار ترکیبات BTEX را نشان می‌دهد.
- گسترش حمل و نقل عمومی تا سال ۱۳۹۴ موجب بهبود کیفیت هوا در مناطق مرکزی و شرقی شده است؛ به‌طوری‌که حداکثر آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX در مناطق جنوب تهران وجود دارد.
- بر اساس نتایج، آلودگی ناشی از ترکیبات BTEX در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان می‌باشد. از آن‌جایی که دوره نمونه‌برداری فصل زمستان به انتهای فصل و نزدیک به شروع سال جدید (عید نوروز طبق تقویم شمسی) بوده است، در این زمان افزایش حجم ترافیک وسایل نقلیه و ازدیاد آلودگی هوا و در دوره نمونه‌برداری فصل تابستان به دلیل تعطیلی دانشگاه‌ها و مدارس، کاهش بار ترافیکی و در نتیجه کاهش آلاینده‌ها مشاهده می‌شود.
- با توجه به اندازه‌گیری غلظت BTEX(بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) در مناطق مورد نظر و مقایسه آنها با مقدار استاندارد آنها در هوای تنفسی، غلظت تمام ترکیبات مورد نظر پایین‌تر از حد مجاز بوده است. با این وجود با توجه به خطرناک بودن این ترکیبات و همچنین این که منبع اصلی آنها احتراق ناقص خودروها و تبخیر بنزین چه از باک و چه از محل‌های سوخت‌گیری است، باید در نظر داشت که این ترکیبات دارای پتانسیل انتشار بالایی هستند و باید به طور مستمر مقادیر آنها اندازه‌گیری و آنالیز شوند.

تشکر و قدردانی

در پایان از اساتید محترم دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران که در تمام مراحل این تحقیق همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Atash, F. (2007). The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran. Cities, 24(6), 399-409.
2. Bart, O. (2004). Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. In Environmental burden of disease series (Vol. 5). World Health Organization.
3. Lee S, ChiuM, Ho K, Zou S,Wang X(2002) Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. Chemos, 48(3): 375–382.

4. Atkinson, R., and Arey, J. (2003). Atmospheric degradation of volatile organic compounds. Chem Rev, 103(12), 4605-4638.
5. Rinsky, R. A., Young, R. J., and Smith, A. B. (1981). Leukemia in benzene workers. Am J Ind Med, 2(3), 217-245.
6. Na, K., Moon, K. C., and Kim, Y. P. (2005). Source contribution to aromatic VOC concentration and ozone formation potential in the atmosphere of Seoul. Atmos Environ, 39(30), 5517-5524.
7. Monod, A., Sive, B. C., Avino, P., Chen, T., Blake, D. R., and Rowland, F. S. (2001). Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene. Atmos Environ, 35(1), 135-149.
8. Nelson, P. F., and Quigley, S. M. (1984). Nonmethane hydrocarbons in the atmosphere of Sydney, Australia. Environ Sci Technol,16(10), 650-655.
9. Perry, R., and Gee, I. L. (1995). Vehicle emissions in relation to fuel composition. Sci Total Environ, 169(1), 149-156.
10. Gelencsér, A., Siszler, K., and Hlavay, J. (1997). Toluene-benzene concentration ratio as a tool for characterizing the distance from vehicular emission sources. Environ Sci Technol, 31(10), 2869-2872.
11. Wang, Y., Ren, X., Ji, D., Zhang, J., Sun, J., and Wu, F. (2012). Characterization of volatile organic compounds in the urban area of Beijing from 2000 to 2007. J Environ Sci, 24(1), 95-101.
12. Halek, F., Kavouci, A., and Montehaie, H. (2004). Role of motor-vehicles and trend of air borne particulate in the Great Tehran area, Iran. Int J Environ Health Res, 14(4), 307-313.
13. Kerbachi, R., Boughedaoui, M., Bounoua, L., and Keddam, M. (2006). Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers. Atmos Environ,40(21), 3995-4003.
14. Lan, T. T. N., and Minh, P. A. (2013). BTEX pollution caused by motorcycles in the megacity of HoChiMinh. J Environ Sci, 25(2), 348-356.
15. Masiol, M., Agostinelli, C., Formenton, G., Tarabotti, E., and Pavoni, B. (2014). Thirteen years of air pollution hourly monitoring in a large city: potential sources, trends, cycles and effects of car-free days. Sci Total Environ, 494, 84-96.
16. Esmaelnejad, F., Hajizadeh, Y., Pourzamani, H., and Amin, M. M. (2015). Monitoring of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene isomers emission from Shahreza gas stations in 2013. Int J Environ Health Eng, 4(1), 17.
17. Asadollahfardi, G. (2008). Air quality management in Tehran, Kitakyushu Initiative Seminar on Urban Air Quality Management, Bangkok, Thailand. Available at: http://faculty.mu.edu.sa/public/uploads/1338155607.6028air-59.pdf
18. Keyhani, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Khanali, M., and Abbaszadeh, R. (2010). An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran. Energy, 35(1), 188-201.
19. Amini, H., Taghavi-Shahri, S. M., Henderson, S. B., Naddafi, K., Nabizadeh, R., and Yunesian, M. (2014). Land use regression models to estimate the annual and seasonal spatial variability of sulfur dioxide and particulate matter in Tehran, Iran. Sci Total Environ, 488, 343-353
20. Hassani, A., and Hosseini, V. (2016). An assessment of gasoline motorcycle emissions performance and understanding their contribution to Tehran air pollution. Transportation Research Part D: Transport Environ, 47, 1-12.
21. Kamalan, M. S. H. (2005). Air quality deterioration in Tehran due to motorcycles. J Environ Health Sci Eng, 2(3), 145-152.
22. Yazdi, M. N., Delavarrafiee, M., and Arhami, M. (2015). Evaluating near highway air pollutant levels and estimating emission factors: Case study of Tehran, Iran. Sci Total Environ, 538, 375-384
23. Shirazi, K. H., Halek, F., and Mirmohammadi M (2005). Determination of gasoline loss in Tehran's gas stations and control methods and recycling. J Environ Stud, 36: 33-40 (In Persian).
24. Jafari, H. R., and Ebrahimi, S. (2007). A study on risk assessment of benzene as one of the VOCs air pollution. Int J Environ Res, 1(3): 214-217
25. Atabi, F., Moattar, F., Mansouri, N., Alesheikh, A. A., and Mirzahosseini, S. A. H. (2013). Assessment of variations in benzene concentration produced from vehicles and gas stations in Tehran using GIS. Int J Environ Sci Technol, 10(2), 283-294
26. Shafiepor, M. and Kamalan, H (2005). Air quality deterioration in Tehran due to motorcycles, Iran J Environ Health Sci Eng, 2(3), 145-152
27. Hosseinloo, H. M. and Ghaemi, A. (2014), Study of the Effects of Heavy Vehicles on the Flow of Urban Traffic Network and Emission Based on Traffic Simulation. Q J Transport Eng, 5(4), 471-484 (In Persian).
28. Bahrami, A. R. (2001). Distribution of volatile organic compounds in ambient air of Tehran. Arch Environ Health: Int J,56(4), 380-383.
29. U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) on Benzene. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. 2009.
30. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995) Toxicological Profile for Xylenes (Update). Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Altanta, GA.