



## منشأیابی و ارزیابی خطر ترکیبات BTEX در مواجهه شغلی رانندگان اتوبوس‌های سامانه BRT شهر تهران در محدوده طرح ترافیک در نیمه دوم سال ۱۳۹۴

**الیه دانا:** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**مجید کرمانی:** (\*نویسنده مسئول) مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران، و دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران، [kermani.m@iums.ac.ir](mailto:kermani.m@iums.ac.ir).  
**احمد جنیدی جعفری:** مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران، و استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**علی اصغر اعلم الهدی:** انستیتو آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.  
**عباس شاهسونی:** استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.  
**فرزانه جاجرمی:** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

ترکیبات آلی فرار،  
 اتوبوس‌های تندرو،  
 مواجهه شغلی،  
 ترکیبات سرطان‌زا

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۵

**زمینه و هدف:** نگرانی در مورد کیفیت هوای تنفسی در کابین‌های سیستم‌های حمل و نقل عمومی در حال افزایش است. در مطالعه حاضر مواجهه شغلی رانندگان اتوبوس با ترکیبات BTEX در کابین اتوبوس‌های سامانه BRT تهران سنجش شد. **روش بررسی:** دستورالعمل NIOSH1501 جهت نمونه‌برداری و آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها توسط  $CS_2$  استخراج و توسط دستگاه GC-FID آنالیز شدند. منابع اصلی انتشار این آلاینده‌ها مشخص و ریسک سرطان و غیر سرطان‌زای ترکیبات هدف با استفاده از دستورالعمل‌های USEPA و WHO ارزیابی شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد و برای مقایسه و همبستگی به ترتیب از تست‌های Wilcox و Kendal استفاده شد. **یافته‌ها:** میانگین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، (m+p) -زایلن، o-زایلن و BTEX در کابین اتوبوس‌ها به ترتیب ۸/۷۵، ۲۴/۳۳، ۲۵/۹۰، ۴۳/۷۱، ۳۳/۴۶ و ۱۳۶/۱۵ میکروگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. خطر سرطان آلاینده بنزن در خطوط ۱، ۲ و ۷ به ترتیب برابر با ۵-۰۷/۰۷×۱۰، ۵-۰۴/۶۸×۱۰ و ۵-۰۳/۰۸×۱۰ ثبت شد. **نتیجه‌گیری:** متوسط غلظت بنزن بیشتر از مقادیر توصیه شده توسط استاندارد سالیانه ایران و همچنین استاندارد اتحادیه اروپا (EU) اندازه‌گیری شد. مقدار متوسط خطر سرطان (LTCR) نسبت به مقادیر توصیه شده توسط WHO و USEPA بیشتر بود. خطر غیر سرطان‌زای تمامی ترکیبات مورد مطالعه نیز کمتر از ۱ و در محدوده قابل قبول اعلام شد.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت‌کننده:** معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

شیوه استناد به این مقاله:

Dana E, Kermani M, Jonidi Jafari A, Aalamolhoda AA, Shahsavani A, Jajarmi F. Source identification and risk assessment of BTEX compounds in occupational exposure of bus rapid transit (BRT) drivers in limited traffic zone of Tehran in 2015-2016. Iran Occupational Health. 2018 (Oct-Nov);15(5):48-58.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 1.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) صورت گرفته است.



## Source identification and risk assessment of BTEX compounds in occupational exposure of bus rapid transit (BRT) drivers in limited traffic zone of Tehran in 2015-2016

**Elaheh Dana**, MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

✉ **Majid Kermani**, (\*Corresponding author) Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, & Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. [kermani.m@iums.ac.ir](mailto:kermani.m@iums.ac.ir)

**Ahmad Jonidi Jafari**, Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, & Professor of Environmental Health Engineering Department, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Ali Asghar Aalamolhoda**, Institute of Water and Energy, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

**Abbas Shahsavani**, Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Farzaneh Jajarmi**, MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

### Abstract

**Background:** Recently, there is an increasing concern about the quality of breath air in cabins of public transportation system. Present study measured the driver's occupational exposure of BTEX as the most important and toxic group of VOCs in cabins of Tehran bus rapid transit (BRT) system.

**Methods:** NIOSH 1501 was used for sampling and analyzing. Samples were extracted by CS<sub>2</sub> and analyzed by GC-FID. The main sources of target pollutants were determined and the risk carcinogenic and non- carcinogenic of these compounds were evaluated by USEPA and WHO methods. SPSS Ver.20 was used for Statistical processing of data and Wilcox-test and Kendal were used for comparison and correlation, respectively.

**Results:** The mean inner concentration of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, (m+p) - Xylene, o- Xylene and BTEX was measured 8.75, 24.33, 25.90, 43.71, 33.46 and 136.15 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The lifetime cancer risk (LTCR) of Benzene in line 1, 2 and 7 was 7.07×10<sup>-5</sup>, 4.68×10<sup>-5</sup> and 3.08×10<sup>-5</sup>, respectively.

**Conclusion:** Mean concentration of Benzene was more than Iran environmental protection organization and European Union (EU) recommended levels. LTCR of Benzene was more than recommended levels by USEPA and WHO. The Hazard Quotient (HQ) of all under investigation compounds were less than 1. Therefore, non-carcinogenic risk of them was in acceptable range.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### How to cite this article:

Dana E, Kermani M, Jonidi Jafari A, Aalamolhoda AA, Shahsavani A, Jajarmi F. Source identification and risk assessment of BTEX compounds in occupational exposure of bus rapid transit (BRT) drivers in limited traffic zone of Tehran in 2015-2016. Iran Occupational Health. 2018 (Oct-Nov);15(5):48-58.

### Keywords

VOCs,  
Bus,  
Occupational Exposure,  
Carcinogenic Compounds

Received: 10/01/2018

Accepted: 16/09/2018

## مقدمه

افزایش شهرنشینی به همراه افزایش تعداد وسایل نقلیه موجب کاهش کیفیت هوای مناطق شهری در سراسر دنیا شده است (۱). از جمله اثرات منفی افزایش استفاده از وسایل نقلیه موتوری و ترافیک می‌توان به بیماری‌های قلبی و تنفسی، افزایش تصادفات، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش کیفیت هوای تنفسی اشاره کرد (۲). مطالعات زیادی ارتباط بین میزان آلودگی هوا و اثرات مضر بر روی سلامتی را بررسی کرده‌اند (۳). این مطالعات نشان داده که حتی در صورت پایین تر بودن غلظت آلاینده‌های هوا از مقادیر مجاز توصیه شده، این آلاینده‌ها دارای اثرات سوء روی سلامت عمومی هستند (۴). افراد زیادی از جمله رانندگان، مسافران، افسران پلیس و حتی افرادی که در محل‌های نزدیک به نقاط پرتراфик کار و یا زندگی می‌کنند، در معرض تماس با آلاینده‌هایی هستند که از ترافیک منتشر می‌شوند (۵). استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی به عنوان جایگزینی برای ماشین‌های شخصی یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند اثرات منفی ترافیک را کاهش دهد. سیستم اتوبوس‌های تندرو (Bus Rapid Transit (BRT به عنوان گزینه‌ای سریع، ارزان و کارآمد جهت کاهش اثرات مضر مطرح است (۲). تهران با جمعیتی بیش از ۸ میلیون نفر و مساحتی حدود ۷۰۰ کیلومترمربع مهم‌ترین کلان‌شهر ایران به حساب می‌آید (۶، ۷). سیستم BRT در این کلان‌شهر شامل ۱۰ خط می‌باشد و روزانه جمعیتی بیش از ۶ میلیون نفر را جابه‌جا می‌کند. رانندگان اتوبوس‌ها زمان‌های طولانی را داخل اتوبوس می‌گذرانند و طی این مدت به دلیل وجود آلاینده‌های مختلف در هوای تنفسی، در معرض انواع آلاینده‌ها قرار می‌گیرند (۲، ۸، ۹). مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که افراد در کابین‌های وسایل نقلیه در معرض آلاینده‌هایی از قبیل ترکیبات آلی فرار (VOCs)، مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) و ذرات قرار می‌گیرند (۸، ۱۰). به طور کلی آلاینده‌های هوا را بر اساس فراریت به ۴ گروه شامل: هیدروکربن‌ها، ترکیبات آلی فرار، ترکیبات آلی نیمه فرار و ترکیبات آلی غیر فرار تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۱). اخیراً نگرانی‌ها در مورد تماس با ترکیبات آلی فرار داخل کابین خودروها در حال افزایش

است (۱۲، ۱۳). خصوصیات ترکیبات آلی فرار این امکان را به آن‌ها می‌دهد که در دما و فشاری کمتر از شرایط استاندارد تبخیر شده و از منابع خود به هوای محیط انتشار یابند (۱۴). این دسته از ترکیبات آلی سمی بوده و اثرات مضر روی سلامت انسان دارند (۱۵). مقدار زیادی از این ترکیبات ناشی از وسایل نقلیه موتوری بوده و بخشی نیز توسط صنایع انتشار می‌یابند (۱۶). مهم‌ترین گروه این ترکیبات شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و ایزومرهای زایلن (BTEX) بوده که اثرات سرطانزایی و همچنین جهش‌زایی روی سلامت انسان دارند (۱۴، ۱۷). از بین این ترکیبات بنزن به عنوان سرطان‌زای قطعی شناخته شده (گروه A) درحالی‌که اتیل بنزن دارای پتانسیل سرطانزایی برای انسان است. تولوئن و ایزومرهای زایلن نیز به عنوان ترکیبات سمی و جهش‌زا معرفی شده‌اند (۱۲، ۱۸). از طرفی دیگر، این آلاینده‌ها نقش بسیار مهمی در شکل‌دهی آلاینده‌های ثانویه از جمله ازن تروپوسفری دارند (۱۵). مطالعه‌ای در چین نشان داد که با استفاده از روش‌هایی می‌توان انتشار و غلظت این آلاینده‌ها در اتمسفر را کاهش داد (۱۹) ولی حتی غلظت‌های بسیار پایین ترکیبات BTEX نیز اثرات مضر روی زندگی گیاهی و کیفیت خاک دارد (۷). برخی مطالعات نشان داده‌اند که در کابین خودروها مخصوصاً در محیط‌هایی با تراکم ترافیک بالا، غلظت این ترکیبات به بیش از هشت برابر غلظت آن‌ها در هوای آزاد می‌رسد. مطالعات دیگری نشان داده است که افراد داخل وسایل حمل و نقل در معرض ۵ تا ۲۴ ترکیب مختلف از ترکیبات آلی فرار قرار می‌گیرند (۲۰). این در حالی است که بیشتر این مطالعات روی میزان تماس افراد در خودروهای شخصی تمرکز کرده‌اند و فقط تعداد کمی از آن‌ها میزان تماس را در اتوبوس‌های عمومی بررسی کرده‌اند. در تحقیقی که در شهر بیرمینگهام انجام شد هاراد و همکاران غلظت و منابع ترکیبات آلی فرار را در محیط‌های عمومی از جمله اتوبوس‌ها بررسی کردند (۲۱). در سال ۲۰۰۲ بترمن و همکاران نیز میزان و ترکیب‌بندی ترکیبات آلی فرار را در اتوبوس‌های شهر دترویت سنجش کردند (۲۲). مطالعه‌ی دیگری که توسط چن و همکاران در سال ۲۰۰۳ انجام شد میزان تماس با ترکیبات آلی فرار را در انواع مختلف وسایل حمل و نقل

از جمله مترو، اتوبوس‌های دارای سیستم تهویه و اتوبوس‌های فاقد سیستم تهویه سنجش کرد (۱۳). در سال ۲۰۰۸ پارا و همکارانش نیز غلظت ترکیبات آلی فرار در اتوبوس‌های عمومی شهر پامپلونا اندازه‌گیری کردند (۲۳). تحقیقی دیگری که در سال ۲۰۰۹ انجام شد نیز غلظت ترکیبات آلی فرار، مونوکسید کربن، دی اکسید کربن و ذرات را در اتوبوس‌های تایوان مورد بررسی قرار داد (۲۴). به طور مشخص کیفیت هوای داخل اتوبوس‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد، زیرا اتوبوس‌ها از جمله وسایل معمول حمل و نقل در کلان‌شهرهاست. هدف از این مطالعه بررسی میزان مواجهه شغلی رانندگان با غلظت ترکیبات آلی فرار در اتوبوس‌های سامانه BRT در محدوده طرح ترافیک شهر تهران است. در این مطالعه فاکتورهای هواشناسی که روی میزان غلظت آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند نیز اندازه‌گیری شده‌اند.

### روش بررسی

**محل و نحوه نمونه‌برداری:** تحقیق حاضر یک مطالعه مقطعی - توصیفی است که در کابین اتوبوس‌های سامانه BRT در محدوده طرح ترافیک تهران انجام شد. در این محدوده ۳ خط از سامانه BRT (خطوط شماره ۱، ۲ و ۷) قرار دارند. خط شماره ۱ با طول تقریبی ۲۵ کیلومتر از شرق تهران (چهارراه تهرانپارس) آغاز و به غرب تهران (پایانه آزادی) ختم می‌شود. خط شماره ۲ پایانه آزادی را با عبور از خیابان مولوی به پایانه خاوران در جنوب شهر متصل می‌کند و خط شماره ۷ نیز از پایانه تجریش در شمال شهر آغاز شده و به میدان راه آهن در جنوب تهران ختم می‌شود. نمونه‌برداری از آبان ماه تا اسفند ماه سال ۱۳۹۴ انجام شد. بطوریکه سه روز پایانی هر ماه به نمونه‌برداری از هوای کابین اتوبوس‌ها اختصاص داده شد. جهت کاهش ضریب خطا از هوای هر کابین ۲ بار (به صورت رفت و برگشت) نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری بین ساعت ۷ تا ۱۰ صبح و در ارتفاع ۱/۵ متری از کف اتوبوس (محدوده تقریبی تنفسی مسافران) صورت گرفت. علاوه بر این، جهت مقایسه غلظت ترکیبات مورد مطالعه در روزهای کاری و غیر کاری، در هر ماه سه جمعه نیز نمونه‌برداری انجام شد. دستورالعمل

**نحوه استخراج و آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌ها:** در این مرحله دو سر لوله‌ها جاذب باز شده و محتوی هر قسمت در ویال‌های جداگانه ریخته شد. سپس به هر ویال ۱ میلی‌لیتر حلال کربن دی سولفید ( $CS_2$ ) با درجه خلوص بالا افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در اولتراسونیک قرار گرفت. توسط سرنگ مخصوص ۲ میکرولیتر از نمونه مایع به دستگاه گاز کروماتوگرافی با دتکتور شعله یونیزان (GC-FID) تزریق شد. دمای اولیه دستگاه GC-FID ۴۰ درجه سلسیوس بود که پس از تزریق نمونه با سرعت ۱۰ درجه در دقیقه به دمای نهایی ۲۰۰ درجه سلسیوس رسید. برای رسم منحنی‌های استاندارد از استاندارد BTEX با غلظت ۲۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر (Dr. Ehrenstorfer-Germany) استفاده شد.

**دقت و تضمین کیفیت:** برای اطمینان از غلظت‌های سنجش شده در کابین اتوبوس‌ها، هر بار نمونه‌برداری از هوای کابین، دو مرتبه (هم در مسیر رفت و هم در مسیر برگشت) انجام شد. علاوه بر این، در زمان نمونه‌برداری در کنار لوله جاذب اصلی یک لوله جاذب دیگر نیز به عنوان شاهد به کار رفت که نهایتاً طبق الگوی نمونه‌های اصلی استخراج و آنالیز شد. همچنین

ترکیبات آلی فرار می‌باشد (۲۸).

بر حسب مطالعات انجام شده برای محاسبات، متوسط وزن بدن ۷۰ کیلوگرم، نرخ تنفس ۱۶ مترمکعب بر روز، مدت زمان مواجهه با آلاینده ۷۰ سال، تعداد دفعات مواجهه با آلاینده ۳۵۰ روز در سال و مدت زمان سرطانزایی ۲۵۵۰۰ روز در نظر گرفته شد (۲۹-۳۱).  
ارزیابی ریسک عوارض غیر سرطان‌زای ترکیبات BTEX: خطر غیر سرطان‌زای ترکیبات تحت بررسی با استفاده از فرمول زیر تعیین می‌گردد:

$$HQ = \frac{CDI}{RFD}$$

که در این فرمول HQ احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زا، CDI جذب روزانه مزمن آلاینده (mg/kg-day) و RFD دوز مرجع مزمن (mg/kg-day) می‌باشد. در صورتی که مقدار HQ بیشتر از ۱ باشد، نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض یک آلاینده شیمیایی به احتمال زیاد اثرات سوء بهداشتی خواهد داشت. ارزش HQ پایین‌تر از ۱ نشان می‌دهد که در معرض قرارگیری روزانه جمعیت انسانی، از جمله زیر جمعیت حساس، به احتمال زیاد بدون خطر قابل ملاحظه و اثرات زیان‌بار در طول عمر است. مقدار دوز مرجع مزمن تنفسی (RFD) برای بنزن، تلون، اتیل بنزن و ایزومرهای زایلن به ترتیب برابر با  $۸/۶ \times 10^{-3}$ ،  $۱/۱ \times 10^{-1}$ ،  $۲/۹ \times 10^{-2}$  می‌باشد (۶، ۲۷، ۳۲).

### یافته‌ها

**آنالیز آماری غلظت‌های ترکیبات BTEX:** خلاصه‌ای از غلظت‌های ترکیبات BTEX در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. میانگین غلظت‌های بنزن، تلون، اتیل بنزن، (m+p)-زایلن، o-زایلن و BTEX به ترتیب برابر با ۸/۷۵، ۲۴/۳۳، ۲۵/۹۰، ۴۳/۷۱، ۳۳/۴۶ و ۱۳۶/۱۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین غلظت میانگین بعد از BTEX مربوط به آلاینده (m+p)-زایلن و کمترین غلظت میانگین نیز مربوط به آلاینده بنزن می‌باشد.

**مقایسه غلظت ترکیبات BTEX در خطوط مختلف سامانه BRT:** اگرچه تمامی خطوط تحت مطالعه در محدوده طرح ترافیک شهر تهران بوده و تفاوت در تراکم ترافیک اندک است، میانگین غلظت آلاینده‌های سنجش شده در خطوط مختلف با یکدیگر تفاوت

جهت اطمینان از عدم آلودگی محلول استاندارد، حلال دی سولفید کربن و لوله چارکل استفاده نشده (قبل از عبور هوا) به آلاینده‌های تحت بررسی، آن‌ها نیز مطابق روش نمونه‌های فیلد آنالیز شدند.

**منشأیابی ترکیبات BTEX:** مطالعات قبلی نشان دادند که نسبت غلظت ترکیبات BTEX می‌تواند منابع اصلی انتشار این آلاینده‌ها و همچنین مدت زمانی که از انتشار آن‌ها به اتمسفر می‌گذرد را مشخص کند. بدین صورت که چنانچه نسبت تولون به بنزن (T/B) بین ۱/۵ تا ۴/۳ باشد نشان می‌دهد که حمل و نقل و ترافیک محیط مهم‌ترین منبع انتشار این آلاینده‌هاست و چنانچه این شاخص عدد بالاتری را نشان دهد بدین معنی است که منبع اصلی این آلاینده‌ها در اتمسفر منابع ثابت از جمله صنایع می‌باشد. علاوه بر این، نسبت (m+p)-زایلن به اتیل بنزن به عنوان شاخصی برای تعیین زمان حدودی انتشار این آلاینده‌ها به کار می‌رود؛ زیرا اگرچه سرعت انتشار آلاینده (m+p)-زایلن نسبت به آلاینده اتیل بنزن ۳/۶ برابر بیشتر است، این آلاینده در اثر واکنش‌های فتوشیمیایی بسیار سریع‌تر از اتیل بنزن از اتمسفر حذف می‌شود و این نسبت کاهش می‌یابد. در نتیجه زمان ورود این آلاینده‌ها به اتمسفر قابل ارزیابی می‌باشد (۲۷).

**ارزیابی ریسک سرطان ترکیبات BTEX:** طبقه دستورالعمل USEPA، خطر سرطان ترکیبات مورد مطالعه با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$LTCR = CDI \times CPF$$

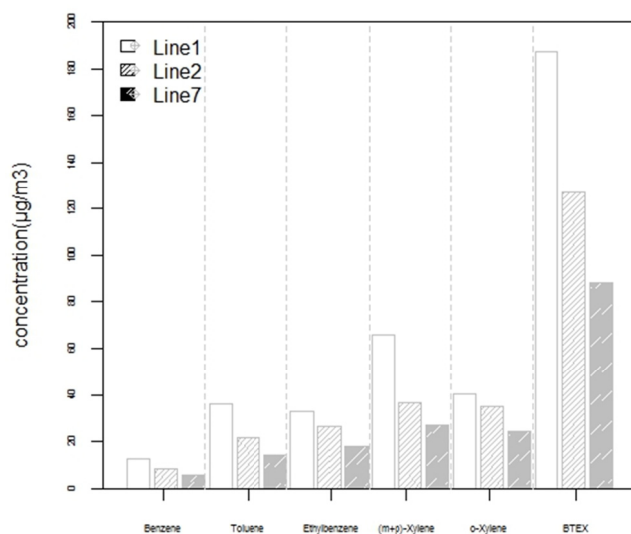
در این فرمول LTCR ریسک سرطان و CPF فاکتور سرطانزایی می‌باشد. از بین ترکیبات BTEX فاکتور سرطانزایی فقط برای آلاینده بنزن در دسترس است که توسط USEPA اعلام گردیده و مقدار آن mg/kg-d ۰/۰۲۹ می‌باشد.

$$CDI = \frac{(C \times IR \times EF \times ED)}{BM \times AT} \times 90$$

در این فرمول نیز CDI میزان تماس روزانه از راه تنفس بر حسب mg/kg-d، C غلظت آلاینده بر حسب mg/m<sup>3</sup>، IR نرخ تنفس بر حسب m<sup>3</sup>/d، EF تعداد دفعات مواجهه با آلاینده در غلظت مورد نظر / days، ED مدت زمان مواجهه با آلاینده در غلظت مورد نظر year، BM وزن بدن فرد بالغ kg، AT مدت زمان سرطانزایی day و ۹۰٪ فاکتور جذب توسط انسان برای

جدول ۱- غلظت ترکیبات BTEX در هوای کابین اتوبوس ها

میانگین	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	
۸/۷۵	۷/۳۳	۴/۳۱	۱۹/۳۹	۴/۲۱	بنزن
۲۴/۳۳	۱۹/۴۱	۱۹/۱۹	۷۹/۵۸	۰	تولوئن
۲۵/۹۰	۲۴/۲۰	۱۰/۶۳	۵۵/۳۴	۵/۲۵	اتیل بنزن
۴۳/۷۱	۳۵/۹۴	۲۱/۸۸	۱۰۸/۱۰	۵/۲۵	(m+p)-زایلین
۳۳/۴۶	۳۱/۰۵	۱۴/۸۸	۵۶/۱۰	۶/۳۸	o-زایلین
۱۳۶/۱۵	۱۲۷/۴۷	۵۸/۴۰	۲۸۳/۲۰	۲۴/۱۲	BTEX



شکل ۱- مقایسه غلظت ترکیبات BTEX در خطوط مختلف سامانه BRT

**منشأیابی از طریق نسبت‌های بین ترکیبات BTEX:** جدول شماره ۲ نسبت‌های تولوئن به بنزن (T/B)، متا و پارا زایلین به بنزن و همچنین متا و پارا زایلین به اتیل بنزن را در خطوط مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد متوسط نسبت T/B در خطوط مختلف ۲/۸۹ و در محدوده ۱/۵ تا ۴/۳ می‌باشد. علاوه بر این، متوسط نسبت‌های (m+p)-Xylene/B و (m+p)-Xylene/EB به ترتیب برابر با ۵/۱۲ و ۱/۷۶ می‌باشد.

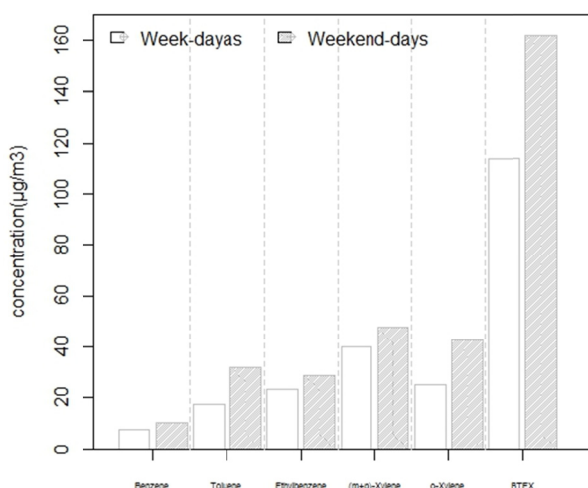
**ارزیابی ریسک سرطان بنزن:** میزان دریافت به طور روزانه و از راه تنفسی (CDI) و همچنین خطر سرطان (LTCR) آلاینده بنزن در جدول شماره ۳ آمده است. طبق نتایج، ریسک سرطان این آلاینده در خط شماره ۱ بیشتر از خطوط ۲ و ۷ و برابر با  $7/07 \times 10^{-5}$  می‌باشد. **ریسک عوارض غیر سرطان‌زای ترکیبات BTEX:** مقادیر HQ ترکیبات سنجش شده و میانگین خطوط مختلف در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

معناداری دارند ( $p < 0/05$ ). شکل شماره ۱ متوسط غلظت این آلاینده‌ها را در خطوط مختلف سامانه نشان می‌دهد.

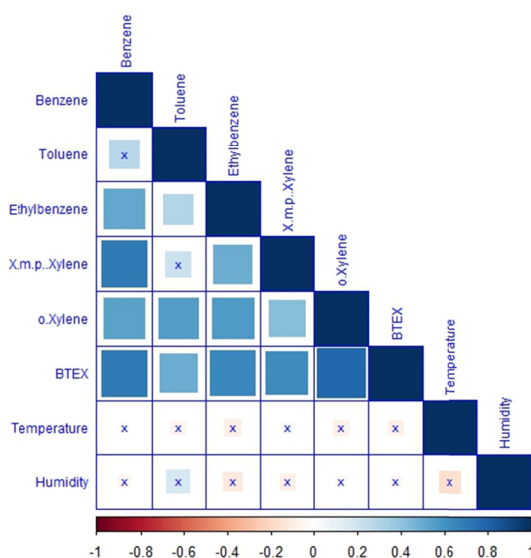
**مقایسه غلظت ترکیبات BTEX در روزهای کاری و غیر کاری:** همان‌طور که شکل شماره ۲ نشان می‌دهد میانگین غلظت آلاینده‌های سنجش شده در روزهای غیر کاری آخر هفته به طور قابل‌توجهی از روزهای کاری بیشتر است ( $p < 0/05$ ).

همبستگی ترکیبات BTEX با یکدیگر و با دما و رطوبت محیط: همان‌طور که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است تمامی آلاینده‌ها با یکدیگر به جز تولوئن با بنزن و (m+p)-زایلین همبستگی قابل‌ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند ( $p < 0/05$ ).

همبستگی غلظت ترکیبات مورد مطالعه با دما و رطوبت محیطی نیز بررسی شد و همبستگی قابل توجه و معناداری بین غلظت آلاینده‌ها با دما و همچنین با رطوبت دیده نشد.



شکل ۲- مقایسه غلظت ترکیبات BTEX در روزهای کاری و غیر کاری



شکل ۳- همبستگی ترکیبات BTEX با یکدیگر و با دما و رطوبت محیطی

جدول ۲- نسبت های ترکیبات BTEX در خطوط مختلف مختلف سامانه BRT

(m+p)-Xylene/EB	(m+p)-Xylene/B	T/B	کابین
۲/۲۱	۵/۳۶	۲/۸۴	خط ۱
۱/۳۹	۴/۹۵	۲/۸۹	خط ۲
۱/۶۸	۵/۰۴	۲/۹۵	خط ۷
۱/۷۶	۵/۱۲	۲/۸۹	میانگین
۲/۲۱	۵/۳۶	۲/۹۵	حداکثر
۱/۳۹	۴/۹۵	۲/۸۴	حداقل

اندازه گیری شده کمتر از ۱ و در محدوده قابل قبول می باشد.

از آنجایی که تمامی غلظت ها در خط شماره ۱ نسبت به سایر خطوط بیشتر بود، مقادیر HQ نیز در خط ۱ بیشتر از سایر خطوط می باشد. همان طور که جدول نشان می دهد مقدار HQ برای تمامی آلاینده های

**جدول ۳- میزان دریافت روزانه و ریسک سرطان آلاینده بنز در خطوط مختلف سامانه BRT**

خط ۱	خط ۲	خط ۷	میانگین
۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۷
۷/۰۷×۱۰ <sup>-۵</sup>	۴/۶۸×۱۰ <sup>-۵</sup>	۳/۰۸×۱۰ <sup>-۵</sup>	۴/۹۴×۱۰ <sup>-۵</sup>

دریافت روزانه از راه تنفس  
ریسک سرطان

**جدول ۴- ریسک غیر سرطان زای ترکیبات BTEX در خطوط مختلف سامانه BRT**

خط ۱	خط ۲	خط ۷	میانگین
۰/۲۸۳	۰/۱۸۷	۰/۱۲۳	۰/۱۹۸
۰/۰۶۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۵	۰/۰۴۳
۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۷
۰/۷۲۵	۰/۴۸۵	۰/۳۴۷	۰/۵۱۹

بنزن  
تلوئن  
اتیل بنزن  
ایزومرهای زایلن

### بحث و نتیجه گیری

نتایج آنالیز آماری غلظت ترکیبات مورد مطالعه نشان داد بر اساس استانداردهای USEPA، میانگین غلظت تمام آلاینده‌های مورد بررسی در محدوده قابل قبول قرار دارد (۳۳). در حالی که طبق استاندارد سالیانه ایران و همچنین استاندارد اتحادیه اروپا (EU)، مقدار میانگین آلاینده بنزن بالاتر از حد مجاز می‌باشد (۳۴-۳۶). از آنجایی که بنزن توسط آژانس بین‌المللی تحقیق روی سرطان (IARC) به عنوان سرطان‌زای قطعی (گروه A) شناخته شده است، پیامدهای سلامتی بسیار جدی را دارا می‌باشد (۳۷). میانگین غلظت بنزن در مطالعه حاضر نسبت به میانگین غلظت این آلاینده در مطالعه‌ی انجام شده توسط پارا و همکاران (۳/۰۸ μg/m<sup>3</sup>) و همچنین مطالعه انجام شده توسط بترمن و همکاران (۵/۴ μg/m<sup>3</sup>) مقدار بیشتری بوده در حالی که نسبت به تحقیقات انجام شده توسط کونتیب و همکاران (۳۲۳ μg/m<sup>3</sup>)، سن و همکاران (۸۷ μg/m<sup>3</sup>)، هاراد و همکاران (۲۰/۲ μg/m<sup>3</sup>)، شن و همکاران (۱۳/۹ μg/m<sup>3</sup>) مقدار کمتری بوده است (۱۲، ۱۵، ۲۱-۲۳، ۳۲). در مطالعه حاضر میانگین غلظت تلوئن نسبت به غلظت این آلاینده در کابین اتوبوس‌های شهرهای Kolkata با میانگین (۱۷۸/۹ μg/m<sup>3</sup>)، Hong Kong با میانگین (۵۴/۳ μg/m<sup>3</sup>)، Taegu با میانگین (۷۵/۵ μg/m<sup>3</sup>) کمتر بوده اما نسبت به میانگین این آلاینده در شهرهای Detroit و Pamplona بیشتر بوده است (۱۰، ۱۵، ۱۶، ۲۲، ۲۳). متوسط غلظت اتیل بنزن نیز نسبت به مطالعات انجام شده در شهرهای Taegu، Hong Kong، Tainan و Pamplona بیشتر ولی نسبت به

مطالعه انجام شده در Kolkata کمتر بوده است (۱۰). ۱۵، ۱۶، ۲۳، ۲۴). علاوه بر این غلظت میانگین ایزومرهای زایلن نسبت به اکثر مطالعات از جمله Pamplona و Detroit، Hangzhou، Birmingham بیشتر است (۱۲، ۲۱-۲۳). این تفاوت‌ها مربوط به ویژگی‌های خاص شهر مورد مطالعه، محل نمونه‌برداری، مدت زمان نمونه‌برداری، ترکیب سوخت وسایل نقلیه عمومی، استفاده و یا عدم استفاده از کاتالیزور می‌شود. این مطالعه در یک کلان‌شهر آسیایی انجام شده که استفاده از کاتالیزور متداول نمی‌باشد.

**مقایسه غلظت‌ها در خطوط مختلف سامانه BRT:** در رابطه با مقایسه غلظت ترکیبات هدف در خطوط مختلف سامانه BRT، لازم به توضیح است علاوه بر وضعیت ترافیکی، متوسط سرعت رانندگی نیز می‌تواند تفاوت غلظت در خطوط مختلف را توضیح دهد. بطوریکه سرعت رانندگی بالا موجب ایجاد تلاطم هوا و در نتیجه کاهش غلظت آلاینده‌ها شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد متوسط غلظت تمامی آلاینده‌های مورد مطالعه در خط شماره ۱ با متوسط سرعت رانندگی ۲۴/۵ کیلومتر بر ساعت بیشتر از سایر خطوط است. متوسط سرعت رانندگی در خطوط شماره ۲ و ۷ به ترتیب ۲۸ و ۳۵ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. در برخی مطالعات از جمله مطالعه انجام شده توسط شن و همکاران غلظت‌های سنجش شده در خطوط مختلف تفاوت معنادار داشته ولی در برخی دیگر مانند مطالعات انجام شده در شهرهای Pamplona و Detroit تفاوت بین خطوط قابل توجه نبوده و یا فاقد تفاوت معنادار بوده است (۱۲، ۲۲، ۲۳).



میزان همبستگی بین میانگین غلظت این ترکیبات و رطوبت محیطی نیز سنجش شد و نتایج نشان داد که همبستگی بسیار ضعیف و در اکثر موارد معکوس میان این دو مورد وجود دارد که قابل ملاحظه نیست.

**نسبت‌های ترکیبات BTEX:** نتایج مربوط به نسبت تولوئن به بنزن نشان داد که ترافیک و حمل و نقل به عنوان منبع اصلی این آلاینده‌ها در محیط شناسایی می‌شود. علاوه بر این، نسبت‌های (m+p)-Xylene/B و (m+p)-Xylene/EB در مطالعه حاضر از نسبت‌های مشاهده شده در مطالعه‌ای که در هوای آزاد شهر تهران انجام شد بیشتر است و این تفاوت نشان می‌دهد که منابع تولیدکننده آلاینده‌های تحت بررسی نسبت به منابع بررسی شده در مطالعه یزدانی اول و همکاران قدیمی‌تر است (۲۷).

**ارزیابی خطر سرطان:** آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA) مقادیر کمتر از  $1 \times 10^{-6}$  را برای LTCR مجاز می‌داند، درحالی‌که مقدار توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) مقادیر بین  $1 \times 10^{-5}$  تا  $1 \times 10^{-6}$  می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ریسک سرطان در تمام خطوط بیشتر از مقادیر توصیه شده توسط USEPA و WHO می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط یزدانی اول و همکاران در هوای آزاد شهر تهران انجام شد مقادیر LTCR در محدوده مجاز توصیه شده توسط این دو سازمان بود و علت این موضوع می‌تواند تجمع آلاینده‌ها در کابین‌های اتوبوس نسبت به هوای آزاد باشد (۲۷).

**خطر غیر سرطان‌زا:** در مطالعه‌ای که توسط Kongtip و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شد متوسط مقدار شاخص خطر را در اتوبوس‌های دارای سیستم تهویه و فاقد سیستم تهویه به ترتیب ۳/۸۷ و ۴/۹۲ اعلام کرد؛ اما در مطالعه‌ای که توسط یزدانی اول و همکاران در سال ۲۰۱۶ انجام گرفت مقدار شاخص خطر برای تمام آلاینده‌ها کمتر از ۱ بود؛ بنابراین، ریسک غیر سرطان‌زای ترکیبات BTEX قابل چشم‌پوشی اعلام شد (۲۷، ۳۲). از آنجایی‌که غلظت ترکیبات آلی در هر محیط بسته از جمله کابین اتوبوس‌ها از محیط باز نیز تأثیر می‌پذیرد، شرایط و میزان ترافیک اطراف بر میزان غلظت این ترکیبات در داخل کابین بی‌تأثیر نمی‌باشد؛ بنابراین کنترل بار ترافیکی محیط موجب کاهش غلظت

**مقایسه غلظت‌ها در روزهای کاری و غیرکاری:** بیشتر بودن متوسط غلظت آلاینده‌ها در روزهای غیر کاری نسبت به روزهای کاری ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های محل نمونه‌برداری دارد. از طرفی این محدوده شامل واحدهای تجاری بسیار زیادی بوده و اکثر نقاط به مراکزی برای خرید و یا تفریح ساکنین بدل شده است. از طرف دیگر در روزهای کاری در محل نمونه‌برداری محدودیت ترافیکی وجود داشته و طبق قانون افراد برای تردد در این منطقه از وسایل حمل و نقل عمومی استفاده می‌کنند درحالی‌که در روزهای غیر کاری هیچ محدودیتی وجود نداشته و مردم می‌توانند از خودروهای شخصی برای ورود به این محدوده استفاده کنند. در نتیجه‌ی ورود تعداد زیادی خودروی شخصی غلظت آلاینده‌های منتشر شده نیز افزایش می‌یابد. درحالی‌که در مطالعه‌ای که توسط کونتیب و همکاران در سال ۲۰۱۵ در بانکوک انجام شد غلظت تمامی ترکیبات BTEX در روزهای کاری بیشتر از روزهای آخر هفته ثبت شد (۳۲).

**همبستگی:** همبستگی مستقیم و قابل توجه بین ترکیبات مختلف مورد مطالعه می‌تواند نشانگر این حقیقت باشد که تمامی این ترکیبات از منابع یکسان داخلی یا خارجی منتشر می‌شوند (۲۷). در تحقیقی که در اتوبوس‌های عمومی اسپانیا انجام شد علاوه بر همبستگی ترکیبات BTEX با هم همبستگی معکوس و قابل توجهی نیز بین غلظت این ترکیبات و دمای محیط پیدا شد. در مطالعه مذکور پارا و همکاران علت این همبستگی را تجزیه فتوشیمیایی دانستند. توضیح اینکه با افزایش تابش خورشیدی و به دنبال آن افزایش دمای محیط، تجزیه فتوشیمیایی شرایط لازم برای کاهش غلظت آلاینده‌ها را فراهم می‌کند؛ اما در مطالعه‌ی دیگری در چین، همبستگی مثبت و قابل‌ملاحظه‌ای میان این دو مورد ثبت شد و گفته شد با افزایش دمای محیط، سرعت و میزان انتشار ترکیبات مورد مطالعه نیز از منابع افزایش می‌یابد (۸، ۲۳). علت عدم همبستگی غلظت آلاینده‌ها با دما در مطالعه حاضر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که این مطالعه در دو فصل گرم و سرد (تابستان و زمستان) انجام نشده در نتیجه تغییرات دمای محیط قابل توجه نمی‌باشد و دمای داخلی کابین‌ها در مدت زمان نمونه‌برداری تقریباً ثابت بود.

exposure to benzene, toluene, ethylbenzene and xylene: a casestudy of gas station attendants, Tehran, Iran. 2017.

7. Golhosseini MJ KH, Shahtaheri J, Rezazadeh Azari M, Azam K. Distribution of Total Volatile Organic Compounds at taxi drivers in Tehran. Iran J Health Safe Environ. 2015;250:2-6.

8. Chen X, Zhang G, Zhang Q, Chen H. Mass concentrations of BTEX inside air environment of buses in Changsha, China. Build Environ. 2011;46(2):421-7.

9. Ongwande M, Chavalparit O. Commuter exposure to BTEX in public transportation modes in Bangkok, Thailand. J Environ Sci. 2010;22(3):397-404.

10. Jo WK, Yu CH. Public Bus and Taxicab Drivers' Work-Time Exposure to Aromatic Volatile Organic Compounds. Environ Res. 2001;86(1):66-72.

11. Dutta T, Kim KH, Uchimiya M, Kumar P, Das S, Bhattacharya SS, et al. The micro-environmental impact of volatile organic compound emissions from large-scale assemblies of people in a confined space. Environ Res. 2016;151:303-312.

12. Li S, Chen S, Zhu L, Chen X, Yao C, Shen X. Concentrations and risk assessment of selected monoaromatic hydrocarbons in buses and bus stations of Hangzhou, China. Sci Total Environ. 2009;407(6):2004-11.

13. Chan LY, Lau WL, Wang XM, Tang JH. Preliminary measurements of aromatic VOCs in public transportation modes in Guangzhou, China. Environ Int. 2003;29(4):429-35.

14. Jonidi Jafari A KM, Rezaei Kalantary R, Arfaeinia H. Photocatalytic abatement of o-xylene using adsorption enhanced ZnO/GAC catalyst in a continuous flow reactor: Catalytic potential, Fate of o-xylene and its by-products. Global NEST J. 2017;19.

15. Lau WL, Chan LY. Commuter exposure to aromatic VOCs in public transportation modes in Hong Kong. Sci Total Environ. 2003;308(1):143-55.

16. Som D, Dutta C, Chatterjee A, Mallick D, Jana TK, Sen S. Studies on commuters' exposure to BTEX in passenger cars in Kolkata, India. Sci Total Environ. 2007;372(2):426-32.

17. Farshad A GH, Farzadkia M, Mirkazemi R, Kermani M. The safety of non-incineration waste disposal devices in four hospitals of Tehran. Int J Occup Environ Health. 2014.

18. Msash H. Assessing Emissions of Volatile Organic Compounds from Landfills Gas. J Health Sci Surveil Sys. 2016;4.

19. Li J, Wu R, Li Y, Hao Y, Xie S, Zeng L. Effects of rigorous emission controls on reducing ambient volatile organic compounds in Beijing, China. Sci Total Environ. 2016;557-558(Suppl C):531-41.

20. Jo WK, Park KH. Concentrations of volatile

این ترکیبات خواهد شد. از طرفی اقدامات کنترلی از جمله نصب سیستم تهویه مناسب و کارآمد در داخل کابین‌ها و همچنین پایش دائم ترکیبات مدنظر در داخل و خارج از کابین‌ها در کاهش میزان آلاینده‌های مورد سنجش مؤثر خواهد بود (۱۵).

### تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان بررسی نوع و غلظت ترکیبات آلی فرار، منواکسید کربن، دی اکسید نیتروژن و دی اکسید گوگرد در هوای کابین اتوبوس‌ها و ایستگاه‌های منتخب سامانه BRT شهر تهران در شش ماهه دوم سال ۱۳۹۴، مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران در سال ۱۳۹۴، به کد ۲۷۰۰۶ می‌باشد که با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران اجرا شده است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از انستیتو آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر همکاری و در اختیار گذاشتن دستگاه‌های نمونه‌برداری تشکر و قدردانی نمایند.

### References

1. Moolla R, Curtis CJ, Knight J. Assessment of occupational exposure to BTEX compounds at a bus diesel-refueling bay: A case study in Johannesburg, South Africa. Sci Total Environ. 2015;7:537-511.
2. Wöhrnschimmel H, Zuk M, Martínez-Villa G, Cerón J, Cárdenas B, Rojas-Bracho L, et al. The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters' exposure to Benzene, CO, 2.5PM and 10 PM in Mexico City. Atmosph Environ. 2008;42(35):8194-203.
3. Hertel O, Hvidberg M, Ketzler M, Storm L, Stausgaard L. A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure — A study on bicycle and bus trips in urban streets. Sci Total Environ. 2008;389(1):58-70.
4. Bahrami Asl F, Kermani M, Aghaei M, Karimzadeh S, Salahshour Arian S, Shamsavani A, et al. Estimation of Diseases and Mortality Attributed to NO<sub>2</sub> pollutant in five metropolises of Iran using AirQ model in 2011-2012. J Mazandaran Uni Med Sci. 2015;24(121):239-49.
5. Duci A, Chaloulakou A, Spyrellis N. Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting. Sci Total Environ. 2003;309(1):47-58.
6. Asadi MMM. Assessment of occupational

- organic compounds in automobiles' cabins while commuting along a Korean urban area. *Environ Int.* 1998;24(3):259-65.
21. Kim YM, Harrad S, Harrison RM. Concentrations and Sources of VOCs in Urban Domestic and Public Microenvironments. *Environ Sci Technol.* 2001;35(6):997-1004.
  22. Batterman SA, Peng CY, Braun J. Levels and composition of volatile organic compounds on commuting routes in Detroit, Michigan. *Atmosph Environ.* 2002;36(39):6015-30.
  23. Parra MA, Elustondo D, Bermejo R, Santamaría JM. Exposure to volatile organic compounds (VOC) in public buses of Pamplona, Northern Spain. *Sci Total Environ.* 2008;404(1):18-25.
  24. Hsu DJ, Huang HL. Concentrations of volatile organic compounds, carbon monoxide, carbon dioxide and particulate matter in buses on highways in Taiwan. *Atmosph Environ.* 2009;43(36):5723-30.
  25. 1501 Method HA. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) dated 15 March 2003;3.
  26. Farzadkia M, Gholami H, Esrafil A, Farshad A, Kermani M. Study of the volatile organic compounds (VOCs) in the exhaust air from low heat sterilizer devices of four hospitals in Tehran. *Iran Occup Health.* 2014;11(1).
  27. Miri M, Rostami Aghdam Shendi M, Ghaffari HR, Ebrahimi Aval H, Ahmadi E, Taban E, et al. Investigation of outdoor BTEX: Concentration, variations, sources, spatial distribution, and risk assessment. *Chemosphere.* 2016;601:163-9.
  28. Arfaeinia HKM, Hashemi E. Concentrations and potential risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from indoor dust of Bushehr, Iran. *Global NEST J.* 2017;19.
  29. Guo H, Lee SC, Chan LY, Li WM. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environ Res.* 2004;94(1):57-66.
  30. Gong Y, Wei Y, Cheng J, Jiang T, Chen L, Xu B. Health risk assessment and personal exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) in metro carriages — A case study in Shanghai, China. *Sci Total Environ.* 2017;1432:574-8.
  31. Colman Lerner JE, Sanchez EY, Sambeth JE, Porta AA. Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina. *Atmosph Environ.* 2012;55:440-7.
  32. Kongtip P, Yoosook W, Anthayanon T. Health Risks of Bus Drivers and Conductors Exposed to Benzene. *Asia J Pub Health.* 2015;6.
  33. Keramati A, Nabizadeh Nodehi R, Rezaei Kalantary R, Nazmara S, Zahed A, Azari A, et al. TVOCs and BTEX Concentrations in the Air of South Pars Special Economic Energy Zone. *J Mazandaran Uni Med Sci.* 2016;25(133):236-44.
  34. Amini H, Hosseini V, Schindler C, Hassankhany H, Yunesian M, Henderson SB, et al. Spatiotemporal description of BTEX volatile organic compounds in a Middle Eastern megacity: Tehran Study of Exposure Prediction for Environmental Health Research (Tehran SEPEHR). *Environ Pollut.* 2017;226(Suppl C):219-29.
  35. Hazrati S, Rostami R, Farjaminezhad M, Fazlzadeh M. Preliminary assessment of BTEX concentrations in indoor air of residential buildings and atmospheric ambient air in Ardabil, Iran. *Atmosph Environ.* 2016;132(Suppl C):91-7.
  36. Hazrati S, Rostami R, Fazlzadeh M. BTEX in indoor air of waterpipe cafés: Levels and factors influencing their concentrations. *Sci Total Environ.* 2015;522-525(Suppl C):347-53.
  37. Esmaelnejad F, Hajizadeh Y, Pourzamani H, Amin MM. Monitoring of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene isomers emission from Shahreza gas stations in 2013. *Int J Environ Health Eng.* 2015.