

Original article

Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Assessment of Exposure of Housewives to Volatile Organic Compounds (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes) in the Indoor Air of Houses

Zeynab Tabatabaei¹Mohammad Ali Baghapour^{2*}Mohammad Hoseini²Narges Shamsedini^{3,4}

- 1- Department of Environmental Health, School of Health, Student Research Committee, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
- 2- Research Center for Health Sciences, Institute of Health, Department of Environmental Health, School of Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
- 3- Research Center for Health Sciences, Student Research Committee, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
- 4- Fars Water and Wastewater Company

***Corresponding author:** Mohammad Ali Baghapour, Research Center for Health Sciences, Institute of Health, Department of Environmental Health, School of Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

Email: baghapour@sums.ac.ir

Received: 11 January 2021

Accepted: 13 February 2021

ABSTRACT

Introduction and purpose: The concentration of some indoor pollutants is often recognized as higher than that in the outdoor. Accordingly, household air pollution is currently considered one of the most important public health concerns worldwide. Therefore, this study aimed to measure the concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX) pollutants in the air of houses in Khesht, Fars Province, Iran. Moreover, it was attempted to evaluate the carcinogenic and non-carcinogenic risks of these compounds in respiratory air for housewives.

Methods: Air samples were taken from 30 houses according to the National Institute for Occupational Safety and Health Manual of Analytical Method no. 1501 and were analyzed using the gas chromatography/flame ionization detector to measure BTEX compounds. In addition, carcinogenic and non-carcinogenic risks of target compounds in respiratory air for housewives during one year were assessed in this study. Mann Whitney U and Spearman correlation tests were applied to analyze the data in SPSS software (version 23). A p-value less than 0.05 was considered statistically significant.

Results: According to the results, the benzene, toluene, and xylenes concentrations varied from 0.06 to 1.76, 0.1 to 0.96, and 0.01 to 0.97 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, respectively. Moreover, ethylbenzene levels in all samples were below the detection limit. A significant linear and positive relationship was observed between benzene and toluene concentrations ($P < 0.05$). Furthermore, the Incremental Lifetime Cancer Risk for benzene in all samples was reported to be significantly lower than the standard (1×10^{-6}) recommended by the US Environmental Protection Agency and the World Health Organization (WHO). Moreover, the calculated hazard quotient for benzene, toluene, and xylene was less than one in this study.

Conclusion: The WHO has not considered any safe restrictions on exposure to benzene, especially indoors in which people spend more time. However, even the low concentrations of these indoor pollutants are dangerous to human health, especially housewives. Therefore, in order to reduce the concentration of these pollutants and other BTEX compounds, it is recommended to reduce or eliminate those human activities that release BTEX compounds and use appropriate ventilation methods.

Keywords: BTEX compounds, Indoor air pollution, Risk assessment, Volatile organic compounds

► **Citation:** Tabatabaei Z, Baghapour MA, Hoseini M, Shamsedini N. Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Assessment of Exposure of Housewives to Volatile Organic Compounds (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes) in the Indoor Air of Houses. Journal of Health Research in Community. Winter 2021;6(4): 51-62.

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مواجهه زنان خانه‌دار با ترکیبات آلی فرار (BTEX) در هوای داخلی منازل

چکیده

مقدمه و هدف: غلظت برخی از آلاینده‌ها اغلب در محیط‌های داخلی بیشتر از محیط‌های بیرونی تشخیص داده شده است؛ بنابراین، آلودگی هوای خانگی در حال حاضر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های سلامت عمومی در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شود. مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در هوای منازل شهر خشت در استان فارس و ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی این ترکیبات در هوای تنفسی زنان خانه‌دار طراحی شد.

روش کار: در این مطالعه، از هوای ۳۰ منزل در شهر خشت نمونه گرفته شد. نمونه‌های هوا برای اندازه‌گیری ترکیبات BTEX بر اساس روش شماره ۱۵۰۱ NIOSH جمع‌آوری و با دستگاه GC-FID اندازه‌گیری شد. خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی این ترکیبات در هوای تنفسی زنان خانه‌دار طول یک سال محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های همبستگی اسپیرمن و من‌ویتنی و نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد غلظت بنزن، تولوئن و زایلن به ترتیب ۱/۷۶-۰/۰۶، ۰/۱-۰/۹۶ و ۰/۱-۰/۹۷ میکروگرم در مترمکعب بود. مقادیر اتیل بنزن در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه گزارش شد. رابطه خطی و مثبت معناداری بین غلظت بنزن و تولوئن مشاهده شد ($P < 0.05$). خطر افزایش سرطان محاسبه شده در طول یک سال (ILCR) برای بنزن در تمام نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد (1×10^{-6}) توصیه شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) و سازمان بهداشت جهانی گزارش شد. همچنین میزان ضریب خطر (HQ) محاسبه شده به‌منظور ارزیابی خطرات غیر سرطان‌زایی برای بنزن، تولوئن و زایلن کمتر از یک گزارش شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه سازمان بهداشت جهانی هیچ محدوده امنی برای مواجهه با بنزن، به‌خصوص در هوای داخلی که افراد مدت‌زمان بیشتری را سپری می‌کنند، در نظر نگرفته است، در نتیجه غلظت ناچیز این آلاینده در محیط‌های داخلی نیز برای سلامتی افراد به‌خصوص زنان خانه‌دار نگران‌کننده است؛ بنابراین، به‌منظور کاهش غلظت این آلاینده و سایر ترکیبات BTEX، کاهش یا حذف آن دسته از فعالیت‌های انسانی که ترکیبات BTEX آزاد می‌کنند و همچنین استفاده از روش‌های تهویه مناسب توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: آلودگی هوای داخلی، ارزیابی خطر، ترکیبات آلی فرار، ترکیبات BTEX

زینب طباطبایی^۱محمدعلی بقاپور^{۲*}محمد حسینی^۳نرگس شمس الدینی^{۴,۳}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

۳. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

۴. شرکت آب و فاضلاب استان فارس

* نویسنده مسئول: محمدعلی بقاپور، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

Email: baghapour@sums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

◀ **استناد:** طباطبایی، زینب؛ بقاپور، محمدعلی؛ حسینی، محمد؛ شمس الدینی، نرگس. ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مواجهه زنان خانه‌دار با ترکیبات آلی فرار (BTEX) در هوای داخلی منازل. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۹؛ ۶(۴): ۶۲-۵۱.

مقدمه

امروزه آلودگی هوا در محیط‌های داخلی یک مشکل جهانی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. افراد به‌طور متوسط در

هر دقیقه ۱۲ بار نفس می‌کشند و با بیش از ۱۰ مترمکعب یا ۱۲ کیلوگرم هوا در روز تماس دارند و بیشتر مردم بیش از ۹۰ درصد از وقت خود را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند (این مدت تقریباً ۵ برابر بیشتر از زمان متوسط در محیط‌های بیرونی است)؛ بنابراین، بخش عمده‌ای از هوایی که استنشاق می‌کنیم، هوای داخلی است [۴-۱]. از زمانی که آلاینده‌های هوا در محیط‌های داخلی شناخته شدند و محققان به این نتیجه رسیدند که غلظت آن‌ها بیشتر از محیط بیرون است، نگرانی‌های زیادی در زمینه آلودگی هوای داخلی به وجود آمد [۵].

قرارگرفتن در معرض آلاینده‌های هوا در محیط‌های داخلی می‌تواند به بروز طیف گسترده‌ای از پیامدهای بهداشتی منفی مانند بیماری‌های تنفسی، مشکلات چشمی و سرطان در کودکان و بزرگسالان منجر شود [۶]. منابع بسیاری از آلودگی هوا در محیط‌های داخلی وجود دارد. این منابع شامل لوازم احتراق سوخت، محصولات دخانی، مصالح ساختمانی و اثاثیه (عایق حاوی آزبست، کف‌پوش یا فرش، کابینت و مبلمان)، محصولات مصرفی برای تمیز کردن و نگهداری از منازل، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی مرکزی، دستگاه‌های مرطوب‌کننده، آفت‌کش‌ها و نفوذ آلودگی هوا از محیط‌های بیرونی هستند [۷].

تعدادی از آلاینده‌های هوا در محیط‌های داخلی از جمله ناکس (NO_x)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، ازن (O₃)، مونوکسید کربن (CO)، ترکیبات آلی فرار و نیمه‌فرار (VOC)، ذرات معلق (PM)، رادون و میکروارگانیسم‌ها به رسمیت شناخته شده‌اند [۸]. برخی از این آلاینده‌ها (مثل NO_x، SO₂، O₃ و PM) در محیط داخلی و خارجی متداول هستند و برخی دیگر ممکن است از بیرون نشأت بگیرند. این آلاینده‌های هوا می‌توانند غیرآلی، آلی، زیستی و حتی پرتوزا باشند. تأثیر این آلاینده‌ها بر سلامت انسان به سمیت، غلظت و زمان قرارگیری در معرض آن‌ها بستگی دارد و ممکن است در افراد مختلف متفاوت باشد [۹]. تنفس این ترکیبات می‌تواند باعث تحریک چشم‌ها، بینی و گلو، ایجاد اشکال در تنفس، تهوع،

آسیب دستگاه عصبی مرکزی و نیز سایر اندام‌ها شود. برخی از این ترکیبات نیز سرطان‌زا هستند [۹].

یکی از آلاینده‌های مهم در هوای داخلی منازل ترکیبات آلی فرار یا VOCs است [۱۰]. این ترکیبات در محیط خارج از خانه هم اثرات مشابهی بر سلامت افراد دارند [۱۱]. ترکیبات آلی فرار شامل ترکیبات بی‌شماری از آلاینده‌های هوا مانند گونه‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) هستند. درواقع بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به‌عنوان شاخص VOC در نظر گرفته می‌شوند [۱۲]. ترکیبات BTEX به دلیل امکان آسیب‌رساندن به سلامت انسان به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک هوا (Hazardous Air Pollutants) طبقه‌بندی می‌شوند [۱۴، ۱۳]. از آنجایی که این ترکیبات به‌راحتی از طریق استنشاق هوا وارد بدن می‌شوند، قرارگرفتن کوتاه‌مدت و بلندمدت در معرض آن‌ها باعث ایجاد اثرات منفی بر سلامت انسان می‌شود [۱۵-۱۳]. سوزش چشم، سردرد، سرگیجه، اختلالات بینایی و اختلالات آسمی از علائم قرارگیری در معرض کوتاه‌مدت این ترکیبات هستند. همچنین لوسمی و مشکلات مجاری صفراوی، سرطان، نقایص هنگام تولد، آسیب به اعضای بدن مانند کبد، کلیه و سیستم عصبی مرکزی، کاهش فعالیت مغز، آلرژی و تشدید آسم از اثرات طولانی‌مدت قرارگرفتن در معرض ترکیبات BTEX است [۱۷، ۱۶، ۱۳، ۹]. در سال‌های اخیر برای پیش‌بینی اثرات نامطلوب بهداشتی مواجهه با ترکیبات شیمیایی، ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی آلاینده‌ها به‌عنوان تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوه مواجهه انسانی با خطرات محیطی تعریف شده است [۱۸].

با توجه به مطالعات انجام‌شده، سطح ترکیبات BTEX به‌طور معمول در هوای محیط‌های داخلی بیشتر از هوای بیرون است؛ بنابراین، نگرانی‌های زیادی درباره ترکیبات BTEX منتشرشده در محیط‌های داخل وجود دارد [۱۷، ۱۹]. منابع BTEX در

محیط‌های داخل شامل استعمال قلیان و سیگار، استفاده از حلال‌ها، چسب کف‌پوش‌ها، رنگ‌ها، مواد تمیزکننده، مبلمان، پولیش‌ها، خوشبوکننده‌های اتاق و سایر گازهای منتشرشده از مصالح به کاررفته در فضای داخلی است [۲۱، ۲۰، ۹، ۵]. تاکنون مطالعات زیادی درخصوص اندازه‌گیری ترکیبات BTEX در هوای داخلی شهرهای پرجمعیت مانند منازل مسکونی اردبیل، کافه‌های همدان و سایر مکان‌های عمومی مانند باشگاه‌های بدن‌سازی انجام شده است؛ اما از آنجاکه در تفکرات عمومی، هوای داخلی و بیرونی شهرهای کم‌جمعیت و مناطق روستایی در مقایسه با شهرهای بزرگ و پرجمعیت آلاینده‌های کمتری دارد، درخصوص هوای منازل شهرهای کوچک تعداد مطالعات بسیار اندک است و به آن‌ها توجه چندانی نشده است [۳۱، ۲۲، ۱۲].

طبق مطالعات انجام‌شده غلظت ترکیبات BTEX در محیط‌های داخل بیشتر از محیط‌های بیرون است. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت این ترکیبات در محیط‌های داخلی منابع انتشار گسترده‌ای دارند. لذا مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در هوای منازل شهر خشت در استان فارس و ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی این ترکیبات در هوای تنفسی زنان خانه‌دار در سال ۱۳۹۹ انجام شده است.

روش کار

منطقه مطالعه

خشت یکی از شهرهای شهرستان کازرون است که در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی کازرون واقع شده است. این شهر با مختصات ۲۹/۵۶۷۵ درجه شمالی و ۵۱/۳۳۷۵ درجه شرقی، مساحتی حدود ۳۰ کیلومتر مربع و ارتفاع ۶۰۰ متر و جمعیت تقریبی ۱۱ هزار نفر دارد. پیشه اصلی اهالی این منطقه کشاورزی، خصوصاً کاشت درخت نخل است. این شهر بدون ترافیک و دور

از جاده اصلی است. با توجه به شرایط ساختاری و آب‌وهوایی، شهر خشت به عنوان یک منطقه روستایی در نظر گرفته می‌شود.

نمونه‌برداری و تحلیل نمونه‌های هوا

در این مطالعه از ۳۰ منزل در شهر خشت که هیچ‌گونه دخانیاتی در آن‌ها مصرف نمی‌شد، نمونه هوا گرفته شد. برای انجام نمونه‌برداری ابتدا پمپ نمونه‌برداری در آزمایشگاه کالیبره شد. سپس در محل نمونه‌برداری از جاذب چارکل پایه کوتاه با طول ۷ سانتی‌متر و قطر ۶ میلی‌متر استفاده شد. به منظور نمونه‌برداری از پمپ نمونه‌برداری فردی SKC با دبی ۰/۲ لیتر بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه و حجم کل هوا ۶ لیتر استفاده شد [۲۴، ۵]. پس از اتمام دوره نمونه‌برداری، نمونه‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده و تا زمان انجام تحلیل در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های هوا برای اندازه‌گیری ترکیبات BTEX بر اساس روش توصیف‌شده در دفترچه راهنمای NIOSH شماره ۱۵۰۱ اندازه‌گیری شدند [۱۸]. بدین منظور محتوای زغال فعال سوربنت به یک ویال با حجم ۵ میلی‌لیتر منتقل و یک میلی‌لیتر دی سولفید کربن (CS_2) به هر ویال اضافه شد. سپس ویال‌های حاوی CS_2 و زغال به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از حمام اولتراسونیک همگن شدند [۲۵]. در ادامه یک میکرولیتر نمونه از ویال گرفته و به دستگاه GC با آشکارساز FID تزریق شد. دمای اینجکتور و دتکتور به ترتیب در ۲۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. همچنین دمای اولیه آون روی ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه تنظیم شد. سپس دما به ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ثابت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش داده شد [۲۶]. گاز حامل استفاده‌شده گاز هلیوم خالص با سرعت ۲/۶ میلی‌لیتر در دقیقه، حجم ۱ میکرولیتر و اسپیلت ۵:۱ بود [۲۸-۲۶، ۲۲]. هم‌زمان با نمونه‌برداری، با استفاده از چک‌لیست سؤالاتی درخصوص اطلاعات دموگرافیک زنان خانه‌دار پرسیده شد. همچنین اطلاعات مربوط به نوع آشپزخانه، طبقه منزل، پوشش درب منزل و اتاق خواب‌ها و ... نیز جمع‌آوری شد.

کنترل کیفیت

بخش‌های جلو و عقب لوله‌های زغال فعال به منظور کنترل دقت به طور جداگانه تحلیل شیمیایی شدند. هیچ یک از ترکیبات BTEX در قسمت پشت برای هیچ یک از نمونه‌ها تشخیص داده نشد. حد تشخیص (LOD) و حد کمی (LOQ) با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ تعیین شد [۹].

$$LOD = \text{Mean (B)} + [3 \times \text{Standard Deviation (B)}]$$

(۱) معادله

$$LOQ = \text{Mean (B)} + [10 \times \text{Standard Deviation (B)}]$$

(۲) معادله

در این معادله‌ها B غلظت نمونه شاهد است.

LOD و LOQ برای ترکیبات BTEX در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد اتیل بنزن در مطالعه حاضر کمتر از حد تشخیص بوده است.

ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی بنزن

در مطالعه حاضر سرطان‌زایی فقط برای بنزن در هوای تنفسی زنان خانه‌دار طی یک سال با استفاده از ILCR (Incremental Lifetime Cancer Risk) محاسبه شد. همچنین ارزیابی خطر غیر سرطان‌زایی برای بنزن، تولوئن و زایلن با استفاده از HQ محاسبه شد (معادله ۳ تا ۷) [۲۹]. E بیانگر میزان مواجهه روزانه (Daily exposure) (میلی گرم بر کیلوگرم)، EY بیانگر میزان

جدول ۱: LOD و LOQ برای ترکیبات BTEX (میکروگرم بر مترمکعب)

BTEX	LOQ	LOD
بنزن	۰/۰۵	۰/۰۲
تولوئن	۰/۰۸	۰/۰۳
اتیل بنزن	۰/۱۲	۰/۰۴
زایلن	۰/۰	۰/۰

دریافت متوسط سالیانه (Yearly average daily dose received) (میلی گرم بر کیلوگرم)، EL بیانگر طول عمر مؤثر مواجهه (Effective life time exposure) (میلی گرم بر کیلوگرم)، HQ بیانگر ضریب خطر (Hazard quotient) و RfD بیانگر دُز مرجع (Reference dose) (میلی گرم بر مترمکعب) است. سایر متغیرها در جدول ۲ آمده است.

در صورتی که $HQ \leq 1$ باشد، خطر غیر سرطان‌زایی قابل توجهی افراد را تهدید نمی‌کند، اما در صورتی که $HQ > 1$ باشد، مقدار خطر غیر سرطان‌زایی غیر قابل قبول است [۱۸]. همچنین اگر ILCR محاسبه شده برای ترکیبات سرطان‌زا مانند بنزن کمتر مساوی از استاندارد جهانی بهداشت (10^{-6}) گزارش شود، قابل قبول است. این در حالی است که اگر مقدار ILCR محاسبه شده بزرگ‌تر از 10^{-6} گزارش شود، نگران کننده و بالقوه خطرناک است [۳۰].

$$E = C * IRa * EDa / BWa \quad \text{معادله ۳}$$

$$EL = E * \left(\frac{D}{7}\right) * \left(\frac{WK}{52}\right) * \left(\frac{YE}{YL}\right) \quad \text{معادله ۴}$$

$$Risk = EL \left(\frac{mg}{kg} \cdot d\right) * SF \left(\frac{mg}{kg} \cdot d\right) \quad \text{معادله ۵}$$

$$EY = C * IRa * EDa * \left(\frac{D}{7}\right) * \left(\frac{WK}{52}\right) / BWa \quad \text{معادله ۶}$$

$$HQ = EY / RFD \quad \text{معادله ۷}$$

$RfC = RfD$ (دُز مرجع استنشاق) (میلی گرم بر مترمکعب) $14/36 \times$ based on (نرخ تنفس) (مترمکعب در روز) $1 \times$ وزن (کیلوگرم)، IRIS، RfCs for USEPA (بنزن) $0/03$ میلی گرم بر مترمکعب، تولوئن = 5 میلی گرم بر مترمکعب، اتیل بنزن = 1 میلی گرم بر مترمکعب، زایلن = $0/1$ میلی گرم بر مترمکعب [۵].

تحلیل آماری

برای انجام تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. قبل از هرگونه آزمون آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد تا بر اساس آن نوع آزمون آماری مشخص شود. برای

جدول ۲: جزئیات متغیرهای مورد نیاز برای ارزیابی سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی

پارامتر	متغیرها	مقدار	واحد
غلظت آلاینده	C (Concentration of the pollutant)		میلی گرم بر مترمکعب
نرخ تنفس	Ira (Inhalation rate, adult)	۰/۵۹ (۵)	مترمکعب در ساعت
طول مدت مواجهه	EDa (Exposure Duration, adult)	۲۰	h/d
وزن	BWa (Body Weight, adult)	نتایج پرسش‌نامه (۷۹-۵۵)	کیلوگرم
تعداد روزهای مواجهه در هفته	D (Days per week exposure)	۷	روز
تعداد هفته‌های مواجهه	WK (Weeks of exposure)	۵۱	هفته
تعداد سال‌های مواجهه	YE (Years of Exposure)	۱	سال
تعداد سال‌ها در طول زندگی	YL (Years in Lifetime)	۷۰	سال
فاکتور شیب سرطان	SF (Slope Factor or carcinogenic potency slope)	بنزن=۰/۰۲۹ (۳۱)	میلی گرم بر کیلوگرم
		بنزن=۰/۰۰۶	
دُز مرجع استنشاق	RfD (Reference Dose)	تولون=۱/۰۳	میلی گرم بر کیلوگرم
		زایلن=۰/۰۲	

RfD = RfC (دوز مرجع استنشاق $14/36 \times \text{mg/m}^3$) (نرخ تنفس $1 \times \text{mg/m}^3$) / وزن (kg) based on RfCs for USEPA, IRIS (بنزن $0/03 \times \text{mg/m}^3$)
 تولون 5 mg/m^3 اتیل بنزن 1 mg/m^3 زایلن $0/1 \text{ mg/m}^3$ (۵).

همچنین ۵۶/۶ درصد از منازل دارای آشپزخانه باز، ۵۰ درصد دارای بیش از سه پنجره در پذیرایی و ۶۲ درصد دارای پوشش آلومینیومی، فلز و آهن در درب سالن پذیرایی و اتاق‌های منزل بودند. غلظت بنزن و تولون در ساختمان‌های دارای آشپزخانه باز نسبت به آشپزخانه مجزا به‌طور معناداری بیشتر گزارش شد که در

تعیین نرمال بودن داده‌ها ابتدا چولگی و کشیدگی داده‌ها آزموده شد. از آنجایی که داده‌ها توزیع نرمالی نداشتند، از آزمون‌های ناپارامتریک مانند آزمون من‌ویتنی و ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. $P < 0/05$ به‌عنوان مقدار معنی‌دار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

جدول ۳: غلظت ترکیبات BTEX (برحسب میکروگرم بر مترمکعب)

در هوای منازل شهر خشت استان فارس	تعداد	حد اقل	میانگین $\pm$ انحراف معیار	حد اکثر
بنزن	۳۰	۰/۰۶	$0/51 \pm 0/83$	۱/۷۶
تولون	۳۰	۰/۱	$0/23 \pm 0/28$	۰/۹۶
زایلن‌ها	۳۰	۰/۰۱	$0/31 \pm 0/21$	۰/۹۷
اتیل بنزن	۳۰	ND	ND	ND

مقادیر غلظت ترکیبات BTEX اندازه‌گیری شده در نمونه‌های هوای منازل تحت مطالعه در جدول ۳ آمده است. با توجه به نتایج جدول، بیشترین و کمترین غلظت به ترتیب مربوط به بنزن و اتیل بنزن بود. اتیل بنزن کمتر از حد تشخیص دستگاه گزارش شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از سؤالات چک‌لیست، ۳۶/۶ درصد از منازل تحت مطالعه در طبقه دوم و بالاتر واقع شده بودند.

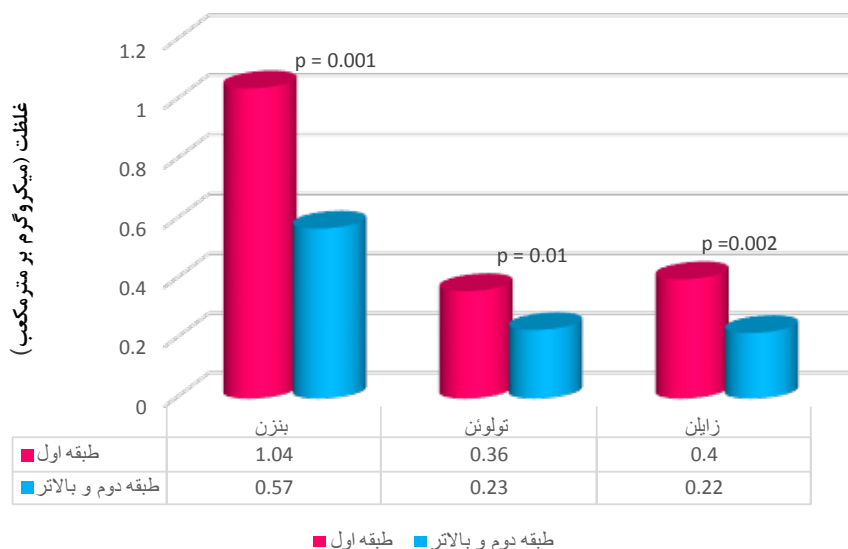
جدول ۴ نشان داده شده است.

شکل ۱ بیانگر اختلاف ترکیبات BTEX اندازه‌گیری شده در هوای منازل واقع شده در طبقه همکف (طبقه اول) و سایر طبقات است. غلظت بنزن، تولوئن و زایلین اندازه‌گیری شده به‌طور معناداری در نمونه‌های هوای منازل واقع شده در طبقه همکف بیشتر از غلظت بنزن، تولوئن و زایلین اندازه‌گیری شده در منازل واقع شده در طبقات دوم و بالاتر بود.

شکل ۲ بیانگر تفکیک اجزای ترکیبات BTEX در هوای

جدول ۴: غلظت ترکیبات BTEX در ساختمان‌های دارای آشپزخانه

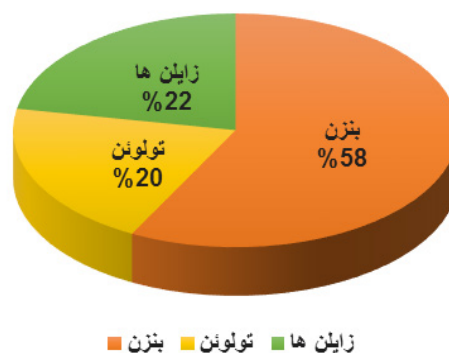
باز و مجزا			
نوع آشپزخانه	آشپزخانه باز	آشپزخانه مجزا	اختلاف بین دو گروه
آلاینده	انحراف معیار $\pm$ میانگین	P	
بنزن	0.92 ± 0.05	0.57 ± 0.44	۰/۰۱
تولوئن	0.35 ± 0.24	0.19 ± 0.19	۰/۰۰۲
اتیل بنزن	ND	ND	-
زایلین	0.36 ± 0.22	0.28 ± 0.21	۰/۱۴



شکل ۱: غلظت ترکیبات BTEX اندازه‌گیری شده در هوای منازل واقع شده در طبقه همکف (طبقه اول) و سایر طبقات

منازل است. بنزن با ۵۷/۷ درصد، مجموع زایلین‌ها با ۲۲/۰۶ درصد و تولوئن با ۲۰/۲۴ درصد به ترتیب بیشترین غلظت را در نمونه‌های گرفته شده از هوای منازل داشتند. در تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده مقادیر اتیل بنزن با دستگاه تشخیص داده نشد و کمتر از حد تشخیص دستگاه بود.

نتایج حاصل از ضریب همبستگی اسپیرمن بین ترکیبات BTEX اندازه‌گیری شده در نمونه‌های هوا در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود بین بنزن و تولوئن رابطه



شکل ۲: درصد ترکیبات BTEX اندازه‌گیری شده در هوای منازل

جدول ۵: ضریب همبستگی اسپیرمن میان ترکیبات BTEX

اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های هوا			
Air	زایلن‌ها	تولوئن	بنزن
بنزن P	۰/۲۱ ۰/۲۶۴	۰/۴۲° ۰/۰۱۸	۱
تولوئن P	۰/۲۴ ۰/۲	۱	۰/۴۲° ۰/۰۱۸
زایلن‌ها P	۱	۰/۲۴ ۰/۲	۰/۲۱ ۰/۲۶۴

مشاهده شد که بنزن اندازه‌گیری‌شده در مطالعه حاضر کمتر از بنزن در هوای خانه‌های سئول بوده است. همچنین تولوئن و زایلن اندازه‌گیری‌شده در هوای منازل به‌طور قابل توجهی از زایلن و تولوئن اندازه‌گیری‌شده در هوای منازل سئول کمتر بوده است که می‌تواند حاکی از نقش جاده‌های پرتراфик در انتشار ترکیبات BTEX در سئول باشد.

شکل ۳ بیانگر نتایج به‌دست‌آمده از ترکیبات BTEX اندازه‌گیری‌شده در هوای منازل سایر مطالعات انجام‌شده در کشورهای ژاپن و اسپانیا در مقایسه با نتایج مطالعه حاضر است [۳۴، ۳۵]. نتایج نشان می‌دهد غلظت ترکیبات BTEX اندازه‌گیری‌شده در هوای منازل مطالعه حاضر در مقایسه با دو مطالعه ژاپن و اسپانیا کمتر است. دلایل تفاوت در نتایج این مطالعه و مطالعات دیگر می‌تواند تفاوت در ویژگی‌های منطقه‌ای مانند ترافیک، وجود فضای سبز و ویژگی‌های خانه‌ها از نظر میزان رطوبت، تهویه، دما، آلودگی فضای باز، شرایط هواشناسی و فعالیت‌های مختلف در خانه‌ها مانند تعداد دفعات پخت‌وپز و استفاده از تمیزکننده‌های خانگی، منابع مختلف انتشار ترکیبات BTEX مانند رنگ‌ها و مصالح ساختمانی باشد [۱، ۹].

غلظت متوسط روزانه بنزن هوا در ایالات متحده آمریکا در مناطق دورافتاده، مناطق روستایی و مناطق شهری به ترتیب ۰/۵۱، ۱/۵۰ و ۵/۷۶ میکروگرم بر مترمکعب است [۳۶]. از آنجا که شهر خشت شرایطی مشابه با منطقه روستایی دارد، بنابراین سطح میانگین بنزن در هوای منازل شهر خشت (۰/۸۳ میکروگرم بر مترمکعب) به غلظت گزارش‌شده در ایالت متحده آمریکا نزدیک است.

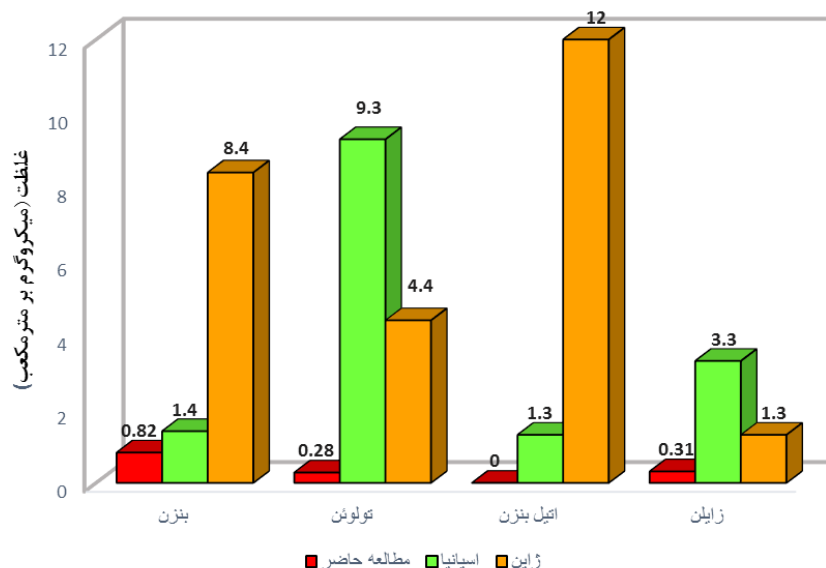
بنزن یک ماده سرطان‌زاست که در فاز بخار در هوا باقی می‌ماند. طول عمر هوای بنزن از چند ساعت تا چند روز متغیر است؛ بنابراین، سازمان بهداشت جهانی هیچ سطح قابل قبولی را برای مواجهه با بنزن توصیه نکرده است [۳۷، ۳۸]. در مطالعه حاضر، میانگین ارزیابی خطر سرطان‌زایی بنزن در هوای تنفسی زنان

خطی و مثبتی وجود دارد که بیان‌کننده همبستگی معنادار میان دو آلاینده است ($P < 0.05$)؛ به این معنا که با افزایش بنزن، تولوئن نیز در هوا افزایش یافته است و برعکس. این در حالی است که بین زایلن و آلاینده‌های بنزن و تولوئن ارتباطی دیده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در هوای تمامی منازل فقط بنزن، تولوئن و زایلن از ترکیبات BTEX تشخیص داده شد و دستگاه کروماتوگرافی گازی غلظتی برای اتیل بنزن تشخیص نداد که با مطالعه‌ای در گوانگژو مطابقت داشت؛ چرا که در مطالعه گوانگژو نیز غلظتی از اتیل بنزن از میان ترکیبات BTEX اندازه‌گیری‌شده در هوای منازل گزارش نشد. منازل شهر خشت در فاصله دوری از صنعت، جاده ترافیکی، پمپ‌بنزین و پارکینگ اتومبیل واقع شده‌اند که موجب محدود شدن منابع انتشار ترکیبات BTEX می‌شود [۳۲]. از آنجا که سرطان‌زایی بنزن در میان آلاینده‌های ترکیبات BTEX ثابت شده است، وجود بنزن در هوا اهمیت بسیار زیادی دارد.

در مطالعه‌ای در نزدیکی جاده‌های پرتردد در سئول کره جنوبی، از هوای ۲۰ منزل در روزهای هفته نمونه گرفته شد [۳۳]. به‌جز یک منزل، در سایر منازل هیچ‌گونه دخانیاتی استعمال نمی‌شد. در مقایسه نتایج حاصل از مطالعه انجام‌شده در سئول با مطالعه حاضر



شکل ۳: غلظت ترکیبات BTEX در هوای داخلی منازل سایر کشورها (میکروگرم بر مترمکعب)

تعیین شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده و سازمان بهداشت جهانی بود [۲۲]. در مطالعه دیگری در تهران در کافه هایی که استعمال قلیان ممنوع نبود، خطر سرطان زایی بنزن (با میانگین غلظت $4/96 \pm 2/63$ میلی گرم بر مترمکعب) 4314×10^{-6} گزارش شد که در مقایسه با مطالعه حاضر مقدار ILCR و میانگین بنزن بسیار بیشتر بوده است و این تفاوت می تواند به دلیل دود ناشی از تنباکو و پرتراфик بودن شهر اردبیل در مقایسه با شهر خشت باشد [۵].

طبق نتایج ضریب من ویتنی بین غلظت ترکیبات BTX اندازه گیری شده در خانه های همکف ($0/6$ میکروگرم بر مترمکعب) و خانه های واقع شده در طبقه های بالاتر ($0/34$ میکروگرم بر مترمکعب) تفاوت قابل توجهی وجود داشت ($P < 0/05$). احتمالاً غلظت BTEX در خانه های واقع در طبقه همکف به دلیل مجاورت با خیابان ها و وسایل نقلیه که منبع قابل توجهی از آلودگی هوا در جو هستند، بیشتر تحت تأثیر آلودگی هوای خارج قرار گرفته اند [۳۹]. همچنین در مطالعه انجام شده در منازل اردبیل گزارش شد سطح BTEX در طبقه همکف بیشتر از

خانه دار ۳۰ تا ۴۵ ساله طی یک سال گزارش شد (6×10^{-8}). در حالت کلی اگر خطر سلامتی محاسبه شده بیشتر از حد استاندارد (1×10^{-6}) توصیه شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) و سازمان بهداشت جهانی گزارش شود، غیر قابل قبول و نگران کننده است. در حالی که اگر کمتر از این مقدار باشد، قابل قبول است [۲].

همان طور که در تعریف HQ گزارش شده است، $HQ < 1$ نشان می دهد پس از قرار گرفتن در معرض آلاینده انتظار نمی رود اثرات مضر سلامتی رخ دهد، در حالی که $HQ > 1$ نشان دهنده اثرات غیر سرطان زای بالقوه خطرناک است [۳، ۴]. ILCR محاسبه شده برای بنزن در هوای تنفسی تمام زنان خانه دار شرکت کننده به طور چشمگیری کمتر از حد استاندارد (1×10^{-6}) توصیه شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده و سازمان بهداشت جهانی گزارش شد. همچنین با توجه نتایج به دست آمده، میزان HQ محاسبه شده برای تمام ترکیبات BTX کمتر از ۱ گزارش شد. در مطالعه ای میزان ILCR بنزن برای افراد ساکن در منازل شهر اردبیل 125×10^{-6} گزارش شد که بیشتر از حد استاندارد

طبقات دیگر بود؛ بنابراین، در مطالعه انجام‌شده در اردبیل، دلیل بیشتر بودن ترکیبات BTEX در طبقه همکف به نرخ کمتر تبادل هوا و تهویه طبیعی نسبت داده شد؛ چراکه سرعت باد با ارتفاع افزایش می‌یابد. همچنین در طبقات فوقانی ساختمان‌ها ممکن است نرخ تبادل هوا از طریق پنجره‌ها و گوشه‌های باز بیشتر شود؛ بنابراین تهویه طبیعی نقش بسیار مهمی در رقت آلودگی هوا در محیط داخلی دارد [۴۰، ۲۲].

به‌علاوه، در مطالعه حاضر، غلظت بنزن و تولوئن در ساختمانهای دارای آشپزخانه باز نسبت به آشپزخانه مجزا به‌طور قابل توجهی بالاتر مشاهده شد ($p < 0.05$). همچنین نتایج یک مطالعه گزارش کرد که سطح BTEX در منازل با آشپزخانه‌های باز بالاتر از منازل با آشپزخانه‌های مجزا بوده است که احتمالاً به دلیل انتشار آزادانه هوا از آشپزخانه‌های باز به سایر قسمت‌های خانه است [۱]. همچنین مطالعه دیگری گزارش کرد که عادات پخت‌وپز تعیین‌کننده خطر ابتلا به سرطان ریه هستند زیرا قرار گرفتن در معرض مواد سرطان‌زا و جهش‌زا ساطع‌شده از روغن، از جمله بنزن را افزایش می‌دهند؛ بنابراین، پخت‌وپز در آشپزخانه احتمالاً باعث افزایش انتشارات بنزن و تولوئن می‌شود. در مطالعه دیگری سطح BTEX در اتاق نشیمن و آشپزخانه برابر گزارش شد که نشانگر تأثیر انتشارات ترکیبات هدف از آشپزخانه بر سایر مناطق خانه، به‌ویژه اتاق نشیمن است. در خصوص پوشش درب اتاق‌ها، تعداد پنجره‌های پذیرایی با غلظت آلاینده ارتباط معنی‌داری دیده نشد ($p > 0.05$) [۱۸، ۱۶].

از آنجایی که نوزادان، کودکان و زنان خانه‌دار بیشتر اوقات روزانه خود را در خانه می‌گذرانند، بنابراین بیش از سایر گروه‌ها در معرض خطرات مواجهه با ترکیبات BTEX در محیط داخلی قرار دارند. قرار گرفتن طولانی‌مدت کودکان و نوزادان در معرض بنزن خطر ابتلا به سرطان خون را افزایش می‌دهد [۱۹، ۱۲].

مطالعه حاضر جهت تعیین غلظت و ارزیابی سرطان‌زایی و غیر

سرطان‌زایی ترکیبات BTEX در هوای تنفسی زنان خانه‌دار در طی یک سال انجام شد. اگرچه میزان سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در مطالعه حاضر کمتر از حد استاندارد در نظر گرفته شده، گزارش شد؛ اما به دلیل وجود بنزن در نمونه‌های اندازه‌گیری شده و مواجهه زنان خانه‌دار به‌طور مداوم با این ترکیبات به‌خصوص در منازل با آشپزخانه‌های باز که انتشار این ترکیبات را به سایر نقاط منزل راحت‌تر می‌کنند؛ بنابراین بایستی سطح قرار گرفتن در معرض این ترکیبات در محیط‌های داخلی چه در روستاها و شهرهای کوچک و چه در شهرهای بزرگ و پرتراфик به کمترین حد ممکن کاهش یابد. این کار نیاز به کاهش یا حذف آن دسته از فعالیت‌های انسانی که بنزن آزاد می‌کنند، دارد؛ مانند استعمال سیگار یا قلیان، استفاده از حلال‌ها به‌منظور سرگرمی یا تمیز کردن و استفاده از مصالح ساختمانی که بنزن را منتشر می‌کنند. همچنین برای کاهش بنزن و سایر ترکیبات BTEX استفاده از روش‌های تهویه مناسب نیز مؤثر خواهد بود.

قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از حمایت‌های مالی دانشگاه علوم پزشکی شیراز از طرح تحقیقاتی با کد ۲۱۳۸۰ اعلام می‌دارد. ضمناً این مقاله منتج از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد خانم زینب طباطبایی با کد اخلاق IR.SUMS. REC.1399.108 است.

تعارض در منافع

نویسندگان این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی با هیچ شخص یا سازمانی ندارند.

References

1. Amoatey P, Omidvarborna H, Baawain MS, Al-Mamun A. Indoor air pollution and exposure assessment of the gulf cooperation council countries: a critical review. *Environ Int* 2018; 121: 491-506.
2. Demirel G, Özden Ö, Döğeroğlu T, Gaga EO. Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment. *Sci Total Environ* 2014; 473-474: 537-48.
3. Amoatey P, Omidvarborna H, Baawain MS, Al-Mamun A. Indoor air pollution and exposure assessment of the gulf cooperation council countries: a critical review. *Environ Int* 2018; 121(Pt 1): 491-506.
4. Li Y. The 'impurity' of indoor air. *Indoor Air* 2016; 26(1): 3-5.
5. Hazrati S, Rostami R, Fazlzadeh M. BTEX in indoor air of waterpipe cafés: levels and factors influencing their concentrations. *Sci Total Environ* 2015; 524: 347-53.
6. World Health Organization. Burden of disease from household air pollution for 2012. Geneva: World Health Organization; 2017.
7. Walsh PJ, Dudney CS, Copenhaver ED. Indoor air quality. Florida: CRC Press; 1983.
8. Tran VV, Park D, Lee YC. Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(8): 2927.
9. El-Hashemy MA, Ali HM. Characterization of BTEX group of VOCs and inhalation risks in indoor microenvironments at small enterprises. *Sci Total Environ* 2018; 645: 974-83.
10. Volatile organic compounds impact on indoor air quality. EPA United States Environmental Protection Agency. Available at: URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organiccompounds-impact-indoor-air-quality#intro>; 2017.
11. Masih A, Lall AS, Taneja A, Singhvi R. Exposure levels and health risk assessment of ambient BTX at urban and rural environments of a terai region of northern India. *Environ Pollut* 2018; 242(Pt B): 1678-83.
12. Mehralipour J, Samarghandi MR, Rahimpour R. Evaluation of exposure to BTEX in hookah smokers and carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *Iran J Health Saf Environ* 2018; 5(4): 1128-31.
13. Rafiee A, Delgado-Saborit JM, Sly PD, Amiri H, Hoseini M. Lifestyle and occupational factors affecting exposure to BTEX in municipal solid waste composting facility workers. *Sci Total Environ* 2019; 656: 540-6.
14. Rafiee A, Delgado-Saborit JM, Gordi E, Quémerais B, Moghadam VK, Lu W, et al. Use of urinary biomarkers to characterize occupational exposure to BTEX in healthcare waste autoclave operators. *Sci Total Environ* 2018; 631-632: 857-65.
15. Raysoni AU, Stock TH, Sarnat JA, Chavez MC, Sarnat SE, Montoya T, et al. Evaluation of VOC concentrations in indoor and outdoor microenvironments at near-road schools. *Environ Pollut* 2017; 231(Pt 1): 681-93.
16. Masih A, Lall AS, Taneja A, Singhvi R. Inhalation exposure and related health risks of BTEX in ambient air at different microenvironments of a terai zone in north India. *Atmos Environ* 2016; 147: 55-66.
17. Moradi M, Hopke P, Hadei M, Eslami A, Rastkari N, Naghdali Z, et al. Exposure to BTEX in beauty salons: biomonitoring, urinary excretion, clinical symptoms, and health risk assessments. *Environ Monit Assess* 2019; 191(5): 286.
18. Omid F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati Chamgordani S, Gharibi V. Carcinogenic and non- carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. *J Health Saf Work* 2018; 8(3): 299-308.
19. Werder EJ, Engel LS, Blair A, Kwok RK, McGrath JA, Sandler DP. Blood BTEX levels and neurologic symptoms in Gulf states residents. *Environ Res* 2019; 175: 100-7.
20. Masekameni MD, Moolla R, Gulumian M, Brouwer D. Risk assessment of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene concentrations from the combustion of coal in a controlled laboratory environment. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 16(1): 95.
21. Sakai N, Yamamoto S, Matsui Y, Khan MF, Latif MT, Ali Mohd M, et al. Characterization and source profiling of volatile organic compounds in indoor air of private residences in Selangor State, Malaysia. *Sci Total Environ* 2017; 586: 1279-86.
22. 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. *Atmos Environ* 2016; 132: 91-7.
23. Dehghani MH, Baghani AN, Fazlzadeh M, Ghaffari HR. Exposure and risk assessment of BTEX in indoor air of gyms in Tehran, Iran. *Microchem J* 2019; 150: 104135.
 24. Heydari G, Ranjbar Vakilabadi D, Kermani M, Rayani M, Poureshgh Y, Behrooz M, et al. Load characteristics and inhalation risk assessment of benzene series (BTEX) pollutant in indoor air of Ghalyan and/or cigarette cafes compared to smoking-free cafes. *Environ Pollut Bioavailabil* 2020; 32(1): 26-35.
 25. Rad HD, Babaei AA, Goudarzi G, Angali KA, Ramezani Z, Mohammadi MM. Levels and sources of BTEX in ambient air of Ahvaz metropolitan city. *Air Qual Atmos Health* 2014; 7(4): 515-24.
 26. Baghani AN, Rostami R, Arfaeinia H, Hazrati S, Fazlzadeh M, Delikhoon M. BTEX in indoor air of beauty salons: risk assessment, levels and factors influencing their concentrations. *Ecotoxicol Environ Saf* 2018; 159: 102-8.
 27. Dehghani MH, Norouzian Baghani A, Fazlzadeh M, Ghaffari HR. Exposure and risk assessment of BTEX in indoor air of gyms in Tehran, Iran. *Microchem J* 2019; 150: 104135.
 28. Tarassoli A, Esmaili Sari A, Bahramifar N. Characteristics and health risk of BTEX at selected different microenvironments in an industrial-urban area, Iran. *Pollution* 2019; 5(4): 895-911.
 29. Majumdar D, Mukherjee A, Sen S. BTEX in ambient air of a Metropolitan city. *J Environ Protect* 2011; 2(1): 11.
 30. Baghani AN, Rostami R, Arfaeinia H, Hazrati S, Fazlzadeh M, Delikhoon M. BTEX in indoor air of beauty salons: risk assessment, levels and factors influencing their concentrations. *Ecotoxicol Environ Saf* 2018; 159: 102-8.
 31. 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.
 32. Du Z, Mo J, Zhang Y, Xu Q. Benzene, toluene and xylenes in newly renovated homes and associated health risk in Guangzhou, China. *Build Environ* 2014; 72: 75-81.
 33. Lee JY, Kim K, Ryu SH, Kim CH, Bae GN. The relative importance of indoor and outdoor sources for determining indoor pollution concentrations in homes in Seoul, South Korea. *Asian J Atmos Environ* 2018; 12(2): 127-38.
 34. Esplugues A, Ballester F, Estarlich M, Llop S, Fuentes-Leonarte V, Mantilla E, et al. Indoor and outdoor air concentrations of BTEX and determinants in a cohort of one-year old children in Valencia, Spain. *Sci Total Environ* 2010; 409(1): 63-9.
 35. Uchiyama S, Tomizawa T, Tokoro A, Aoki M, Hishiki M, Yamada T, et al. Gaseous chemical compounds in indoor and outdoor air of 602 houses throughout Japan in winter and summer. *Environ Res* 2015; 137: 364-72.
 36. Full T. 5.2 Benzene. Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Geneva: World Health Organization; 2000.
 37. Sekar A, Varghese GK, Ravi Varma MK. Analysis of benzene air quality standards, monitoring methods and concentrations in indoor and outdoor environment. *Heliyon* 2019; 5(11): e02918.
 38. World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva: World Health Organization; 2010.
 39. Truc VTQ, Kim Oanh NT. Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources. *Atmos Environ* 2007; 41(36): 7685-97.
 40. Wong NH, Huang B. Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and air-conditioned bedrooms of residential buildings in Singapore. *Build Environ* 2004; 39(9): 1115-23.