

## Occupational exposure of shahindej county refueling stations workers to BTEX compounds, in 2016

### ABSTRACT

**Background & objective:** With increasing the number of motor vehicles that causes increasing the fuel production and sale, the ambient air quality has been worse. BTEX is one group of the important pollutants that release from gasoline and its burning. The aim of this study is evaluation of BTEX level in refueling station ambient air.

**Materials & Methods:** In this cross-sectional study, the air samples were taken from 24 workers' breathing zones in 12 gasoline and CNG refueling stations. Samples were analyzed according to NIOSH1501 method and using GC-FID technique. SPSS-v.16 is used to analyze data with t-test and Linear Regression ( $p < 0.05$ ).

**Results:** The mean concentration of benzene, toluene, ethyl-benzene and xylene in gasoline stations was  $1787 \pm 327$ ,  $914 \pm 141$ ,  $973.4 \pm 183$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $476.1 \pm 123$  respectively, and about CNG stations, there were  $1142/9 \pm 863$ ,  $507.6 \pm 458$ ,  $694.9 \pm 514$  and  $296 \pm 245.6$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , in that order. The CNG station's workers, who exposed to benzene, have cancer risk about  $15.8 \times 10^{-6}$  and the highest HQ index was related to xylene (i.e. 8.656). The cancer risk of gasoline station workers and HQ index were  $21.6 \times 10^{-6}$  and 16.19 respectively.

**Conclusion:** Gasoline stations had the highest concentration of benzene that exceeded the OEL-TWA. Cancer and non-cancer risk is in high levels that require decisions to control the condition. Improvement of fuel quality, implementation of vapor recovery systems, smarting the refuel instruments, utilization of plants for purification of BTEX and using of personal protective equipment are our recommendation for improvement of condition.

**Document Type:** Research article

**Keywords:** Refueling Station, BTEX, Air pollution and VOCs, Occupational Exposure.

#### Ismael Javadi

\* M.Sc. Department of occupational health, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran. (Corresponding Author: i.j.kahriz@gmail.com)

#### Yosef Mohammadian

PhD Student, Department of occupational health, Faculty of Health, Shahid-Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

#### Behzad heybati

PhD Student, Department of occupational health, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

#### Sima Elyasi

M.Sc. Department of Environmental health, Faculty of Health, Shahid-Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

**Received:** 28 March 2017

**Accepted:** 20 May 2017

► **Citation:** Javadi I, Mohammadian Y, heybati B, Elyasi S. Occupational exposure of shahindej county refueling stations workers to BTEX compounds, in 2016. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2017;3 (1) : 74-83.

## بررسی مواجهه شغلی کارکنان جایگاه‌های عرضه بنزین و CNG شهرستان شاهین‌دژ با ترکیبات BTEX در سال ۱۳۹۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** با افزایش تعداد خودروها و به مراتب آن، افزایش تولید و عرضه بنزین و گاز، کیفیت هوا به مرور زمان وخیم‌تر شده است. از مهم‌ترین آلاینده‌های فرار که از بنزین و گاز خام و همچنین از احتراق آنها متصاعد می‌شود، ترکیبات بنزن، تولوئن، زایلین و اتیل‌بنزن (BTEX) می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت BTEX در هوای جایگاه‌های سوخت شهرستان شاهین‌دژ و حومه انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه مقطعی، نمونه هوای منطقه تنفسی از ۲۴ کارگر ۱۲ جایگاه پمپ بنزین و گاز تهیه شد. نمونه‌ها بر اساس روش NIOSH ۱۵۰۱ توسط دستگاه GC-FID آنالیز شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۱۶) و آزمون‌های t-test و Linear Regression انجام شد ( $p < 0.05$ ).

**یافته‌ها:** میانگین غلظت BTEX در جایگاه‌های بنزین برابر  $1.1787 \pm 0.3227$ ،  $0.914 \pm 0.141$ ،  $0.973/4 \pm 1.83$  و  $0.694/9 \pm 0.514$ ،  $0.507/6 \pm 0.458$ ،  $1.142/9 \pm 0.863$  برابر CNG برای  $476/1 \pm 123 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $296 \pm 245/6 \text{ m}^3$  بود. ارتباط بین میانگین غلظت فردی و محیطی بنزن تنها در جایگاه‌های CNG معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). خطر سرطان کارکنان جایگاه‌های CNG که با بنزن در تماس بودند، برابر  $15/8 \times 10^{-4}$  و حداکثر مقدار شاخص HQ مربوط به گزین و برابر  $8/656$  بود. این مقادیر برای جایگاه بنزین به ترتیب برابر  $21/6 \times 10^{-4}$  و  $16/19$  بود.

**نتیجه‌گیری:** میانگین تراکم بنزن در جایگاه پمپ بنزین حداکثر بوده که بالاتر از حد مجاز کشوری می‌باشد. خطر ابتلاء به سرطان و شرایط غیر سرطان، بسیار بالا می‌باشد که نیازمند اتخاذ تصمیمات کنترلی می‌باشد. بهبود کیفیت سوخت، نصب سیستم‌های بازگردانی بخارات بنزین به مخزن، هوشمند کردن سیستم‌های سوخت‌گیری، استفاده از پوشش‌های گیاهی تصفیه‌کننده ترکیبات BTEX و همچنین استفاده از لوازم حفاظت فردی، جهت بهبود شرایط پیشنهاد می‌شود.

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**کلید واژه‌ها:** آلودگی هوا و بخارات آلی فرار، جایگاه سوخت‌رسانی، مواجهه شغلی، BTEX

### اسماعیل جوادی

\* کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران. (نویسنده مسئول)  
i.j.kahriz@gmail.com

### یوسف محمدیان

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

### بهزاد هبیتی

دانشجوی دکترا، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.

### سیما الیاسی

کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۳۰

◀ **استناد:** جوادی الف، محمدیان ی، هبیتی ب، الیاسی س. بررسی مواجهه شغلی کارکنان جایگاه‌های عرضه بنزین و CNG شهرستان شاهین‌دژ با ترکیبات BTEX در سال ۱۳۹۵. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۶؛ ۳(۱): ۷۴-۸۳.

## مقدمه

سال‌هاست که انسان از وسایل نقلیه موتوری برای گذراندن امور خود استفاده می‌کند؛ به گونه‌ای که امروزه بهره‌گیری از وسایل نقلیه موتوری برای ارتباط بین شهری و داخل شهری اجتناب‌ناپذیر است. تعداد خودروهای بنزینی و گازسوز در کشور روز به روز در حال افزایش است که متعاقباً موجب گسترش جایگاه‌ها و افزایش میزان عرضه سوخت در روز می‌گردد. با توجه به این امر، هوای شهرها به صورت مستقیم و غیرمستقیم روز به روز آلوده‌تر می‌شوند.

در نتیجه‌ی افزایش میزان مصرف بنزین توسط خودروها، طیف وسیعی از آلاینده‌های زیست محیطی وارد اتمسفر می‌شود که در این میان ترکیبات آلی فرار<sup>۱</sup> سهم عمده‌ای را به خود اختصاص می‌دهند و مهمترین VOC های ناشی از بنزین، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزین<sup>۲</sup> می‌باشند که سلامتی انسان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱). کارکنان جایگاه‌های عرضه سوخت به صورت مستقیم در تماس با بنزین می‌باشند که از طریق مواجهه پوستی و استنشاقی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. با توجه به فراریت بنزین، مهم‌ترین مسیر تماس در این افراد، مسیر استنشاقی می‌باشد (۲). بنزن، سمی‌ترین ترکیب در BTEX می‌باشد که تماس مزمن با آن موجب افزایش شیوع لوسمی و آنمی آپلاستیک می‌شود. آژانس بین‌المللی تحقیقات بر روی سرطان و سازمان جهانی بهداشت، بنزن را در گروه ۱ سرطان‌زایی (قطعاً سرطان‌زا برای انسان) طبقه‌بندی کرده‌اند و همچنین اتیل بنزن نیز در گروه ۲ سرطان‌زایی (ممکن است برای انسان سرطان‌زا باشد) قرار دارد (۳). علاوه بر این، این ترکیبات موجب اختلالات سیستم اعصاب و بروز عوارضی همچون ضعف و خستگی، گیجی و حالت تهوع در فرد می‌شوند. ترکیبات آلی فرار به‌خصوص BTEX به صورت غیرمستقیم و با افزایش میزان اکسیدان‌های فتوشیمیایی همچون ازن در اتمسفر، سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۴). بنزین یکی از مشتقات نفت با ترکیب شیمیایی پیچیده است که شامل بیش از ۲۰۰ نوع از مشتقات نفتی همچون پارفین‌ها، اولیفین‌ها، آروماتیک‌ها و ... بوده که نقاط

جوش مختلفی داشته و دارای زنجیره‌های کربنی متمایزی می‌باشند. بنابراین منشأ نفت خام و فرآیند تصفیه (که شرایط پیچیده‌ای را برای واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی رقم می‌زند)، موجب ایجاد تنوع زیادی در ترکیب شیمیایی بنزین تولید شده می‌گردد (۵). در بین ترکیبات رایج بنزین، گروه آروماتیک که شامل BTEX است، به‌عنوان خطرناک‌ترین گروه موجود در اغلب بنزین‌ها در نظر گرفته می‌شود. بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط کاری (۱۹۸۷)، اعتقاد بر این است که تقریباً ۸۰ درصد تراکم بنزن موجود در اتمسفر ناشی از منابع متحرک می‌باشد و با این وجود تراکم این آلاینده‌ها در داخل خودروها، جایگاه‌های عرضه سوخت و مجاورت جاده‌ها بالاتر از سایر اماکن عمومی است (۶، ۷).

مطالعات زیادی در کشورهای خارجه با محوریت بررسی غلظت BTEX در جایگاه‌های پمپ بنزین صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه تانسرينكارن و همكاران (۲۰۱۲) در تایلند اشاره کرد که میانگین غلظت بنزن و تولوئن به ترتیب برابر ۱۰۷/۶۸ و ۲۲۶/۶۸ ppb گزارش شد (۸). در مطالعه راتاناچونگی-تراکورنا و همکاران (۲۰۱۴) که در تایلند انجام شد، غلظت BTEX در ۳ نقطه در محدوده جایگاه پمپ بنزین سنجش شد که بیشترین مقدار در محل سوخت‌گیری بود و همچنین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین به ترتیب برابر ۵۹۹، ۱۶۹۴، ۹۶ و ۵۳۳ میکروگرم بر متر مکعب گزارش شد (۹). در ایران نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. در مطالعه طهماسبی و همکاران (۲۰۱۴) میانگین غلظت BTEX به ترتیب برابر با ۱۹۳۲، ۶۶۷، ۱۴۸ و ۳۴۰ میکروگرم بر متر مکعب و تراکم بنزن بالاتر از حد استاندارد کشوری بود (۱۰). حضرتی و همکاران (۲۰۱۶) غلظت ترکیبات BTEX را در جایگاه‌های گاز و بنزین اردبیل بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که غلظت بنزن بالاتر از حد استاندارد کشور ایران بوده و همچنین غلظت BTEX در جایگاه‌های بنزین اندکی بالاتر از جایگاه‌های گاز طبیعی فشرده<sup>۳</sup> بود (۱۱).

1. VOCs

2. BTEX

3. CNG

روز می‌باشد که در این مطالعه، با تأخیر زمانی ۷ روزه نمونه‌ها آنالیز شدند. در آزمایشگاه جاذب قسمت پیشین و پسین زغال فعال خارج و جداگانه توسط ۲ میلی‌لیتر حلال دی‌سولفیدکربن (CS<sub>2</sub> ۹۹/۵ Merck) شستشو داده شد. جهت جلوگیری از آسیب به ستون دستگاه GC، محلول استخراج شده با استفاده از سر سرنگ فیلتردار صاف شد. محلول مورد نظر به وسیله تکنیک کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز یونش شعله‌ای (مدل GC-FID ۷۸۹۰ Agilent) با ستون موئین با مشخصات 30m x 0.32-mm ID; 1-μm film 100% PEG و گاز حامل هلیوم، جهت بررسی ترکیبات BTEX آنالیز شد (۱۲). شرایط تزریق به ترتیب زیر رعایت شد: نسبت تزریق ۱:۵، دمای نقطه تزریق ۲۵۰ درجه سیلسیوس و دمای آشکارساز در ۳۰۰ درجه سیلسیوس تنظیم شد. دمای ستون به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰ درجه سیلسیوس نگهداشته شد و پس از با شیب ۱۰°C/min دما به ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد رسید. گذر حجمی گاز حامل، سوخت (هیدروژن) و هوا به ترتیب برابر ۲/۶، ۳۰ و ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. شرایط دمایی و مشخصات مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌های استاندارد با غلظت یک میلی‌گرم در میلی‌لیتر محلول DMSO از نمایندگی شرکت Merck آلمان در ایران (شهر تهران) تهیه شد. ۶ نمونه استاندارد از ترکیبات BTEX با غلظت‌های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۱/۵، ۱۵ و ۵۰ μg/ml تهیه شد و پس از تزریق به دستگاه GC، نمودار کالیبراسیون آن به صورت سطح پیک در مقابل غلظت‌های مذکور رسم شد که با توجه به معادله خط به دست آمده، غلظت‌های مجهول BTEX در نمونه‌های میدانی تعیین شد (۱۱). همزمان با انجام نمونه‌برداری، مشخصات فردی کارکنان از قبیل سن، وزن، سابقه کاری، طول مدت شیفت و تعداد روزهای کاری در هفته توسط پرسشنامه‌ای ثبت شد.

#### محاسبه خطر سرطان و عوارض غیرسرطان:

خطر ابتلاء به سرطان بر اساس معادله زیر محاسبه شد:

$$CDI = (CA \times IR \times ET \times EF \times Ed) / (BW \times AT)$$

از آنجایی که مشتقات بنزین و در نتیجه جایگاه‌های پمپ بنزین، منشأ اصلی انتشار آلاینده‌های BTEX در هوا می‌باشند، بنابراین پایش هوای این مکان‌ها جهت تصمیم‌گیری در مورد وضعیت حاضر و ارائه راهکارهای کنترلی ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه هیچ‌گونه اطلاعاتی از میزان تماس شاغلین جایگاه‌های پمپ بنزین شهرستان شاهین‌دژ با BTEX در دسترس نمی‌باشد، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت این ترکیبات در جایگاه‌های عرضه سوخت وسایل نقلیه انجام گرفت.

#### روش کار

در این مطالعه مقطعی، تمامی ۶ جایگاه پمپ بنزین و ۶ جایگاه گاز طبیعی فشرده شهر شاهین‌دژ و حومه انتخاب شدند که از هر کدام از جایگاه‌ها با توجه به محدود بودن تعداد وسایل نمونه‌برداری و هزینه‌های مربوطه، ۲ نفر شاغل جهت بررسی میزان مواجهه انتخاب شدند که در مجموع در کل جایگاه‌ها به ۲۴ نفر رسید.

#### تهیه نمونه هوا

نمونه‌برداری بر اساس روش NIOSH ۱۵۰۱ صورت گرفت. نمونه هوا توسط پمپ فردی SKC (مدل Universal PCXR4 ساخت کشور انگلستان) با هواگذر ۱۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، به همراه لوله زغال فعال (از جنس پوست نارگیل با وزن جاذب پیشین و پسین ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم) تهیه شد. برای تهیه نمونه هوای منطقه تنفسی، پمپ نمونه‌برداری به کمر فرد و لوله جاذب به یقه آنها وصل شد. جهت پایش نمونه هوا از خیابان مجاور جایگاه‌ها، پمپ به همراه جاذب توسط پایه نگهدارنده در ارتفاع ۱/۵ متری سطح زمین نصب شد. نمونه‌برداری در طول یک شیفت کاری ۹ ساعتی و در دو مقطع از ساعت ۷:۰۰ الی ۱۳:۰۰ و ۱۴:۰۰ الی ۱۶:۰۰ انجام شد. توقف یک ساعته جهت صرف نهار و ادای فریضه نماز بود.

#### آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

کل نمونه‌های تهیه شده (۲۴ نمونه فردی و ۱۲ نمونه محیطی) در دمای ۴۰°C نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. ماندگاری نمونه‌ها از روز نمونه‌برداری تا روز آنالیز در دمای مذکور ۳۰

انجام شد. جهت مقایسه بین دو گروه نمونه‌های فردی و محیطی و همبستگی بین غلظت ترکیبات BTEX به ترتیب از آزمون‌های آماری t-test و Linear Regression استفاده شد ( $p < 0.05$ ).

### یافته‌ها

میانگین سن افراد شرکت کننده در مطالعه  $34/5 \pm 7/05$  سال و سابقه کار افراد بین ۶ ماه تا ۱۷ سال با میانگین  $7/4$  سال بود. با توجه به اهمیت سن، وزن، سابقه کار و ساعات کاری در روز، میانگین و انحراف معیار مشخصات فردی افراد مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. نمودار ۱ غلظت مطلق ترکیبات BTEX را در هر یک از جایگاه‌های نمونه‌برداری فردی و محیطی نشان می‌دهد. با توجه به نمودار هیستوگرام مذکور، بیشترین غلظت هر یک از ۴ ترکیب مورد نظر در نمونه‌های فردی جایگاه پمپ بنزین شماره ۶ بالاتر از سایر جایگاه‌ها بود و همچنین حداقل میزان بنزن و تولوئن مربوطه به جایگاه CNG شماره ۳ و جایگاه پمپ بنزین شماره ۴ بود. جدول ۲ اطلاعات مربوط به غلظت ترکیبات BTEX در جایگاه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. میانگین غلظت نمونه فردی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزینلن در جایگاه‌های پمپ بنزین به ترتیب برابر  $1787 \pm 327$ ،  $914 \pm 141$ ،  $973/4 \pm 183$  و  $476/1 \pm 123$  بود. همچنین بر اساس نتایج آزمون آماری t-test، بین غلظت نمونه‌های فردی با محیطی ارتباط آماری معنی‌داری وجود نداشت ( $p > 0.05$ )، فقط بین میانگین غلظت فردی و محیطی بنزن در جایگاه‌های CNG ارتباط آماری معنی‌داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ).

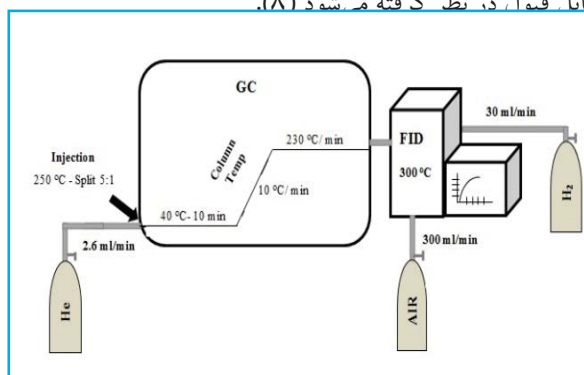
### جدول ۱. مشخصات فردی شاغلین جایگاه‌های پمپ بنزین و CNG

شاغلین	سن	وزن	ساعات کاری در روز	تعداد روز کاری در هفته	سابقه کاری
پمپ بنزین	$33/7 \pm 6/62$	$71/4 \pm 7/8$	$9/7 \pm 1/43$	$6/3 \pm 0/72$	$7/8 \pm 5/05$
جایگاه CNG	$33/7 \pm 7/36$	$73/3 \pm 6/17$	$11 \pm 1/15$	$6/3 \pm 0/83$	$7 \pm 3/45$
کل	$34/5 \pm 7/05$	$72/3 \pm 7/09$	$10/3 \pm 1/46$	$6/3 \pm 0/78$	$7/4 \pm 4/34$

جدول ۳ مقدار عددی ضریب تعیین ( $R^2$ ) رگرسیون

$$\text{Cancer risk} = \text{CDI} \times \text{CSF}$$

در این معادله CDI نشان‌دهنده میزان دریافت مزمن روزانه، CSF (mg/kg/day) نشان‌دهنده فاکتور شیب سرطان، CA غلظت آلاینده در هوا بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب، IR نرخ تنفس (که برای بزرگسالان  $0.875$  متر مکعب در ساعت فرض می‌شود)، BW وزن بدن کارگران بر حسب کیلوگرم، ET مدت زمان مواجهه بر حسب ساعت در روز، EF فرکانس مواجهه (تعداد روز مواجهه در هر سال)، ED دوره مواجهه ( $30$  سال در نظر گرفته می‌شود) و AT طول عمر متوسط ( $70$  سال) بود. اگر مقدار خطر سرطان بیشتر از  $10^{-6}$  باشد، خطر اثرات سرطان‌زایی در نظر گرفته می‌شود اما اگر کمتر یا مساوی  $10^{-6}$  باشد، سطح قابل قبول در نظر گرفته می‌شود (۸).



شکل ۱. شمایی فرضی از تعلقات دستگاه GC-FID به همراه نمودار برنامه‌ریزی دمایی و دبی

### خطر شرایط غیر سرطانی

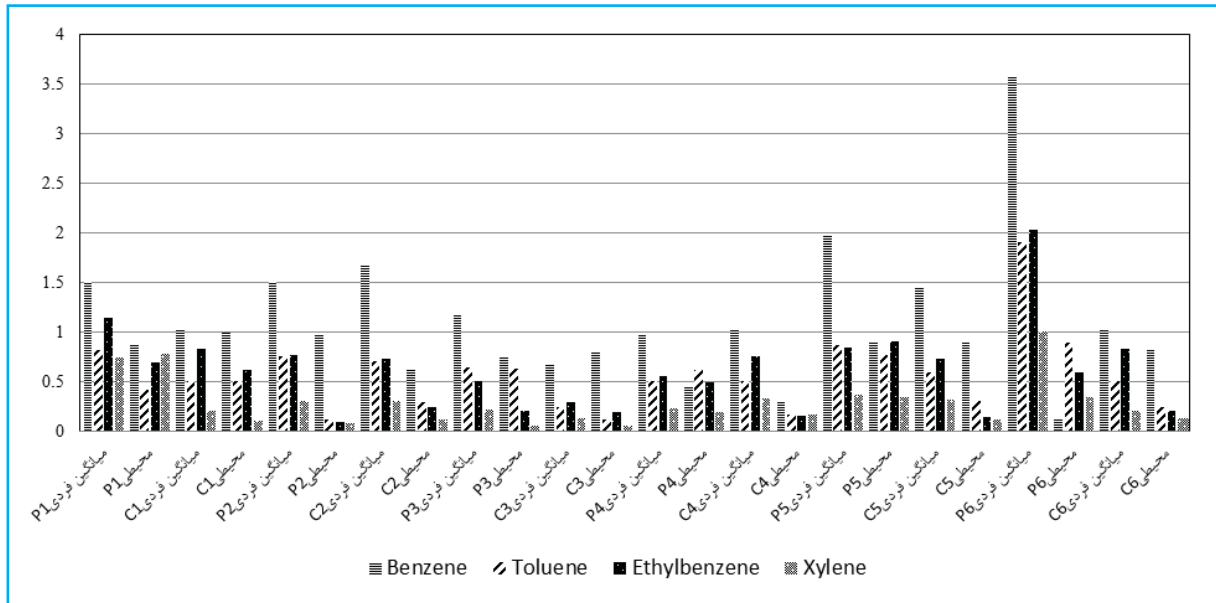
با اصطلاح HQ بیان شده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{EC} = (\text{CA} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}) / \text{AT}$$

$$\text{HQ} = \text{EC} / \text{RfC}$$

در این معادله EC و RfC به ترتیب بیانگر غلظت مواجهه و غلظت مواجهه مرجع بر حسب میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد. اگر مقدار HQ بیشتر از ۱ باشد، خطر اثرات غیرسرطان‌زایی در نظر گرفته می‌شود، ولی اگر کمتر یا مساوی ۱ باشد، به عنوان سطح قابل قبول در نظر گرفته می‌شود (۸).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS16



نمودار ۱. غلظت مطلق ترکیبات BTEX در هر یک از جایگاه‌های نمونه‌برداری محیطی و فردی (به معنی ایستگاه گاز C به معنی ایستگاه پمپ بنزین P است).

جدول ۲. میانگین غلظت ترکیبات BTEX در جایگاه‌های پمپ بنزین و CNG

جایگاه	نمونه هوا	بنزن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	تولونن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	اتیل بنزن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	گزیلین ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
پمپ بنزین	فردی	$1787 \pm 327$	$914 \pm 141$	$973/4 \pm 183$	$476/1 \pm 123$
	محیطی	$674/6 \pm 228$	$571/5 \pm 124$	$493/1 \pm 163$	$299 \pm 36$
همبستگی	سطح معنی‌داری**	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۸	۰/۱۴
گاز CNG	فردی	$1142/9 \pm 863$	$507/6 \pm 458$	$694/9 \pm 514$	$296 \pm 245/6$
	محیطی	$736/1 \pm 303$	$273/5 \pm 252$	$255/5 \pm 277$	$114/3 \pm 243$
همبستگی	سطح معنی‌داری**	*۰/۰۳۸	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۶۷
استاندارد	OEL ایران	۱۶۰۰	۷۵۰۰۰	۸۶۸۰۰	۴۳۴۰۰۰

\* همبستگی معنی‌دار در  $p < 0/05$ , \*\*آزمون t-test

را نشان می‌دهد. خطر ابتلاء به سرطان در اثر مواجهه طولانی مدت با بنزن در جایگاه‌های CNG برابر  $15/8 \times 10^{-4}$  و در جایگاه‌های پمپ بنزین  $21/6 \times 10^{-4}$  بود. همچنین بیشترین خطر غیر سرطان برای گزیلین بود که برای کارکنان جایگاه پمپ بنزین برابر  $16/19$  و کارکنان CNG برابر  $8/656$  بود. کمترین مقدار HQ مربوطه به تولونن و در دو جایگاه به ترتیب برابر  $0/622$  و  $0/355$  بود.

خطی ترکیبات BTEX را نشان می‌دهد. ضریب تعیین مربوط به همبستگی بین غلظت بنزن، تولونن، زایلین و اتیل بنزن با یکدیگر، در تمامی موارد کمتر از  $0/97$  بود که بیشترین مقدار این عدد یعنی  $R^2 = 0/87$  مربوط به همبستگی بین غلظت تولونن و بنزن در جایگاه‌های CNG و عدد  $0/97$  برای جایگاه‌های پمپ بنزین بود.

جدول ۴ خطر ابتلاء به سرطان و عوارض غیرسرطانی ناشی از مواجهه با ترکیبات BTEX در شاغلین جایگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۳. نتایج رگرسیون خطی غلظت BTEX نمونه‌های فردی در جایگاه‌های عرضه سوخت

→ نام ترکیب ↓	بنزن	تولوئن	اتیل بنزن	گزیلن	
بنزن	۱	۰/۸۷	۰/۲۴	۰/۶۲	جایگاه گاز CNG
تولوئن		۱	۰/۵۶	۰/۶۵	
اتیل بنزن			۱	۰/۳۳	
زایلن				۱	
بنزن	۱	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۶۹	جایگاه پمپ بنزین
تولوئن		۱	۰/۹۲	۰/۷۵	
اتیل بنزن			۱	۰/۹۲	
زایلن				۱	

جدول ۴. خطر ابتلاء به سرطان و عوارض غیر سرطانی ترکیبات BTEX در شاغلین جایگاه‌های عرضه سوخت

خطر غیر سرطان HQ	EC(mg/m3)	خطر سرطان	CDI(mg/kg/day)	عامل شیمیایی ↓	کارکنان ↓
۱۳۸/۴۵	۴/۰۱۵	۱۵/۸×۱۰ <sup>-۴</sup>	۰/۰۵۴۶	بنزن	گاز CNG
۰/۳۵۵	۱/۷۷	-	-	تولوئن	
۲/۲۴۹	۲/۲۵	-	-	اتیل بنزن	
۸/۶۵۶	۰/۸۶۵	-	-	گزیلن	
۱۴۹/۶	-	-	-	BTEX	کل
۲۰۹/۶۸	۶/۰۸	۲۱/۶×۱۰ <sup>-۴</sup>	۰/۰۷۴۵	بنزن	پمپ بنزین
۰/۶۲۲	۳/۱۱	-	-	تولوئن	
۳/۳۱	۳/۳۱	-	-	اتیل بنزن	
۱۶/۱۹	۱/۶۲	-	-	گزیلن	
۲۲۹/۵	-	-	-	BTEX	کل

## بحث

### تراکم ترکیبات BTEX در هوای جایگاه‌ها

می‌رسد که علت بالا بودن غلظت آلاینده‌ها در این مکان، ناشی از حجم بالای سوخت‌گیری در روز باشد. به‌علاوه این جایگاه به دلیل قرار گرفتن در مرکز شهر و بالا بودن ازدحام ساختمان‌های تجاری و مسکونی، از سه طرف توسط این ساختمان‌ها احاطه شده است که مانع عبور مستقیم جریان باد رقیق‌کننده از داخل جایگاه می‌گردد، در نتیجه احتمالاً آلاینده در این فضای نیمه بسته محبوس می‌شود.

در کشورهای مختلف به‌ویژه کشورهای آسیایی، بنزن در هوای اتمسفر جایگاه‌های عرضه سوخت سنجش شده است. غلظت گزارش شده برای بنزن در کشورهای نظیر ایتالیا، اسپانیا،

با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان مواجهه شاغلین جایگاه‌ها با BTEX بالا می‌باشد. با این حال از میان چهار ترکیب بررسی شده، میانگین غلظت بنزن در جایگاه‌های پمپ بنزین بالاتر از حد مجاز کشوری<sup>۱</sup> بود، اما عدد میانگین به دست آمده به شدت تحت تأثیر غلظت بنزن در جایگاه شماره ۶ بود که با صرف‌نظر از این مورد، میزان مواجهه شغلی در ۵ جایگاه دیگر پایین‌تر از حد مجاز خواهد بود. جایگاه شماره ۶ در مرکز شهر شاهین‌دژ قرار دارد که دارای بیشترین تعداد پمپ (۸ دستگاه) می‌باشد. به نظر

1. OEL-TWA



جایگاه‌ها، از میانگین غلظت آن در هوای شهرها بالاتر است که دو دلیل عمده آن می‌تواند ناشی از وجود منبع انتشار آلاینده در این مکان‌ها و پایین بودن میزان واکنش‌های فتوشیمیایی تخریب کننده BTEX به دلیل مسقف بودن جایگاه‌ها باشد.

نکته جالب توجه این است که در مطالعه حاضر بین غلظت هر یک از چهار آلاینده در هوای هر جایگاه، همبستگی قوی وجود داشت و برعکس بین غلظت یک آلاینده در جایگاه‌های مختلف ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. این امر احتمالاً مؤید این ادعا می‌باشد که محتویات ترکیبات آروماتیک سوخت عرضه شده در جایگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بنابراین می‌توان کیفیت نامطلوب بنزین را یکی از دلایل اصلی آلودگی جایگاه‌ها از نظر ترکیبات BTEX قلمداد کرد.

اگرچه پایش غلظت بخارات BTEX در هوا، به خودی خود یک امر مهم در جهت کنترل این آلاینده‌ها می‌باشد، ولی از آنجایی که شاغلین جایگاه‌های پمپ بنزین علاوه بر مسیر استنشاقی، از طریق پوست و گاهی نیز از مسیر گوارشی (آلودگی خوراکی)، با بخارات بنزین تماس پیدا می‌کنند، پایش بیولوژیک در کنار پایش هوای منطقه تنفسی می‌تواند برآورد واقعی تری از میزان دُز جذب شده سموم BTEX ارائه کند (۱۹).

#### خطر مواجهه با ترکیبات BTEX

در مطالعه حاضر خطر ابتلاء به سرطان در اثر مواجهه طولانی مدت با بنزن در میان شاغلین هر دو جایگاه بالاتر از  $10^{-6}$  و در جایگاه‌های CNG برابر  $10^{-4} \times 15/8$  و در جایگاه‌های پمپ بنزین  $10^{-4} \times 21/6$  بود. به عبارتی می‌توان گفت از میان ۱,۰۰۰,۰۰۰ و ۱۵۸ فرد شاغل در جایگاه‌های CNG و بنزین، سالانه به ترتیب ۱۵۸ و ۲۱۶ نفر مورد جدید به سرطان خون مبتلا می‌شوند.

در مطالعه حاضر میزان شاخص HQ برای ترکیبات بنزن، اتیل بنزن و گزیلن به جز تولوئن، بالاتر از ۱ بود که این بیانگر شرایط غیر قابل قبول از نظر خطر غیر سرطانی نظیر بالا رفتن خطر بروز اختلال در حافظه، اختلال در حالات روحی روانی، اختلالات خواب و عدم تطابق که همراه با سردردهای ناگهانی

برزیل، تایلند و عربستان کمتر از مقدار به دست آمده در مطالعه حاضر می‌باشد (۱۷-۱۳). دلیل اصلی این تفاوت احتمالاً ناشی از تفاوت ترکیب شیمیایی بنزین و محتویات آروماتیک آن (به دلیل تفاوت در پالایشگاه و فرآیند تصفیه) باشد. از دیگر دلایل آن می‌توان به وجود سیستم‌های بازگردانی بخارات بنزین و سیستم‌های پیشرفته کنترل هدرروی در کشورهای مذکور اشاره کرد که از ورود بخارات بنزین به اتمسفر جلوگیری می‌کند. علی‌رغم آنچه که در مقایسه بالا آورده شد، مطالعاتی که در داخل کشور در شهرهایی نظیر تهران، یزد و اردبیل انجام شده‌اند، تراکم بالای بنزن را نسبت به مطالعه حاضر گزارش کرده‌اند (۱۸، ۱۱، ۱۰). اظهار نظر درباره دلایل این تفاوت‌ها بسیار مشکل می‌باشد، زیرا علاوه بر تفاوت در ترکیب شیمیایی سوخت عرضه شده در جایگاه‌ها، عوامل و متغیرهای متعددی وجود دارد که میزان مصرف، نوع مصرف و مصرف صحیح و ایمن بنزین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله این عوامل مهم می‌تواند تعارضات اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و تراکم جمعیت باشد. علاوه بر این به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل، میزان سرویس‌دهی جایگاه‌ها در روز باشد.

نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه مشابهی که حضرتی و همکاران (۲۰۱۶) در جایگاه‌های بنزین و CNG شهر اردبیل انجام دادند، همخوانی داشت (۱۱). در مطالعه حاضر غلظت BTEX در جایگاه‌های گاز کمتر از جایگاه‌های پمپ بنزین بود که این یافته در مطالعه حضرتی نیز گزارش شده بود. همچنین در مطالعه حاضر میزان مواجهه شاغلین با بنزن بالاتر از حد مجاز کشوری بود و بین تراکم بنزن در منطقه تنفسی شاغلین جایگاه CNG و غلظت آن در نمونه‌های محیطی که نماینده نمونه هوای مجاور جاده می‌باشد، ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت، اما در مورد جایگاه پمپ بنزین چنین نبود. همچنین این عدم معنی‌داری در هر دو جایگاه برای تولوئن، اتیل بنزن و گزیلن برقرار بود. احتمالاً این موضوع بیانگر این نکته است که هوای اتمسفر جایگاه‌ها متأثر از هوای اطراف نمی‌باشد. به علاوه تراکم آلاینده‌های مورد بحث در هوای



گیاهشناسی نیز در زمینه حذف آلاینده‌های نفتی از آب و خاک به وسیله گیاهان، نتایج موفقیت‌آمیزی را گزارش کرده‌اند (۲۲). همچنین حذف آلاینده‌های BTEX در محیط‌های داخلی به وسیله گیاهان، در مطالعات متعدد با کارایی بالای ۹۹٪ گزارش شده است. از این منظر نیز می‌توان به بحث کنترل آلاینده‌ها در جایگاه‌های عرضه سوخت نگریست؛ چراکه پوشش گیاهی در سطح شهر و مکان‌های مسقف نیمه باز همچون جایگاه‌های سوخت‌رسانی، علاوه بر تصفیه آلاینده‌های هوا، از منظر زیست محیطی نیز مورد استقبال می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** میانگین تراکم بنزن در جایگاه پمپ بنزین بیشتر از جایگاه‌های CNG و بالاتر از حد مجاز کشوری بود. خطر ابتلاء به سرطان و شرایط غیر سرطان، نیز بسیار بالا می‌باشد که نیازمند اتخاذ تصمیمات کنترلی می‌باشد. بهبود کیفیت سوخت، نصب سیستم‌های بازگردانی بخارات بنزین به مخزن، هوشمند کردن سیستم‌های سوخت‌گیری، استفاده از پوشش‌های گیاهی تصفیه کننده ترکیبات BTEX و همچنین استفاده از لوازم حفاظت فردی، جهت بهبود شرایط پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری کارشناسان محترم آزمایشگاه عوامل شیمیایی دانشکده بهداشت و آزمایشگاه شیمی محیط دانشگاه علوم پزشکی مازندران صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

می‌باشد. در مقایسه با نتایج مطالعه تانسریکارن و همکاران (۲۰۱۲) در تایلند، در مطالعه حاضر مقدار عددی شاخص HQ بسیار بالا بود (۸) که علت این امر می‌تواند ناشی از بالا بودن غلظت ترکیبات BTEX و ساعت کاری افراد شاغل در جایگاه‌ها باشد. همچنین در مقایسه با نتایج مطالعه حضرتی و همکاران (۲۰۱۶)، شاخص خطر در مطالعه حاضر بالا بود، ولی بین شاخص مربوط به هر یک از ترکیب‌ها در این دو مطالعه ارتباط معنی‌داری وجود داشت. تولوئن، برخلاف گزین که مشکلات کلیوی، کبدی و آسیب به اعصاب را به همراه دارد، آسیبی به سیستم کلیوی، کبدی و قلبی وارد نمی‌کند. تولوئن و بنزن دارای اثرات سینرژیستی یا دگر تقویتی می‌باشند که باعث بالا رفتن خطر کلی مشکلات غیر سرطانی می‌شود (۲۰). همچنین ارتباط مستقیم و معنی‌داری میان تراکم بنزن و تولوئن و خستگی (فرسودگی جسمی و روحی) مزمین گزارش شده است (۲۱).

پیشنهاداتی که برای بهبود وضع حاضر می‌توان ارائه کرد در درجه اول شامل: بهبود کیفیت سوخت و کاهش محتویات آروماتیک آن می‌باشد که می‌بایستی در پالایشگاه‌ها مورد توجه قرار گیرد. همچنین راهکارهای مهندسی همچون نصب سیستم‌های بازگردانی بخارات بنزین به مخزن، هوشمند کردن روش‌های سوخت‌گیری به گونه‌ای که مشکلات سرریز و تبخیر شدن را مرتفع نماید و همچنین راهکارهای حفاظت فردی می‌تواند نقش مؤثری در جهت کاهش میزان مواجهه فرد داشته باشد. محققین

### References

- 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. *Science of the Total Environment*. 409(2010):63-9.
- Rezazadeh-Azari M, Konjin ZN, Zayeri F, Salehpour S, Seyedi M. Occupational Exposure of Petroleum Depot Workers to BTEX Compounds. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2012;3(1):39-44.
- Farshad A, Khabazi-Oliaei H, Mirkazemi R, Bakand S. Risk assessment of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (btx) in paint plants of two automotive industries in iran by using the coshh guideline. *European Scientific Journal*. 2013;3(2013):270-6.
- Sturaro A, Rella R, Parvoli G, Ferrara D. Long-term phenol, cresols and BTEX monitoring in urban air. *Environ Monit Assess* 2010;164(2010):93-100.
- El-Naggar A, Majthoub M. Study the toxic effects of aromatic compounds in gasoline in Saudi Arabia petrol stations. *Int J Chem Sci* 2013;11(2013):106-20.
- Carey P. Air toxics emissions from motor vehicles. *Ann Arbor*. EPA1987.
- Andrea LH, Rodriguez C, Runnion T, Farrar D, Murray F, Horton A, et al. Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. *Chemosphere*. 2007;66(2007):533-41.

8. Tunsaringkarn T, Siriwong W, Rungsiyothi N A, Nopparatbundit S. Occupational Exposure of Gasoline Station Workers to BTEX Compounds in Bngkok, Thailand. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2012;3(2012):117-25.
9. Rattanajongjitrakorna P, Prueksasitb T. Temporal variation of BTEX at the area of petrol station in Bangkok, Thailand. 2014;10(2014):27-41.
10. Mosaddegh M, Tahmasebi N, Barkhordari F, Fallahzadeh H, Esmailian S, Soltanizadeh K. The investigation of exposure to benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) with solid phase microextraction method in gas station in Yazd province. *ISMJ*. 2014; 16(2014):419–27.
11. Hazrati S, Rostami R, Fazlzadeh M, Pourfarzi F. Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene concentrations in atmospheric ambient air of gasoline and CNG refueling stations. *Air Qual Atmos Health*. 2016;9(2016):403–9.
12. NIOSH manual of analytical methods (NMAM). Hydrocarbons, aromatic. fourth edition ed. Centers for Disease Control and Prevention, 1600 Clifton Rd. Atlanta, GA2003. p. USA 30329–4027.
13. Caselli M, Gennaro G, Marzocca A, Trizio L, Tutino M. Assessment of the impact of the vehicular traffic on BTEX concentration in ring roads in urban areas of Bari, Italy. . *Chemosphere*. 2010; 81(2010):306–11.
14. Correa S, Arbillla G, Marques M, Oliveira K. The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. *Atmos Pollut Res*. 2012;3(2012):163–9.
15. Salih DA YM. GC-MS-estimation and exposure levels of environmental benzene in the BTEX-mixture of air-pollutants in gasoline stations and urban road sides. *Int J Res Pharm Chem*. 2013; 3(1):88-94.
16. Periago J, Prado C. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Ann Occup Hyg*. 2005; 49(2005):233–40.
17. Lagorio S, Crebelli R, Ricciarello R, Conti L, Iavarone I, Zona A, et al. Methodological issues in biomonitoring of low level exposure to benzene. *Occup Med* 1998;48(1998):497–504.
18. Rezazadeh-Azari M, Naghavi-Konjin Z, Zayeri F, Salehpour S, Seyedi M. Occupational exposure of petroleum depot workers to BTEX compounds. *Int J Occup Environ Med*. 2011;3(2011): 39–44.
19. H-Mohammed N, Hussien A-RME, O-Hussien M, M-Hassan Y. Determination of hippuric acid and methyl hippuric acid in urine as indices of toluene and xylene exposure by hplc ms/ms spectrometry. *International journal of research in pharmacy and chemistry*. 2015;5(1):10-6.
20. Demirel G, Özden Ö, Döğeroğlu T, O.Gaga E. Personal exposure of primary school children to BTEX, NO2 and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/ outdoor concentrations and risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2014;472-474(2014):537–48.
21. US-EPA. Toxicological review of toluene. summary information on Integrated risk information system (IRIS).2005.
22. Mosaddegh M, Jafarian A, Ghasemi A. effectiveness of *Opuntia microdasys* plant in elimination of BTEX from air using SPME-GC-FID. *Proceeding of 13th Iranian pharmaceutical science congress*2012.