

ارزیابی ریسک بهداشتی غلظت BTEX پمپ بنزین های دارای سیستم جمع کننده ی

بخارات بر روی پرسنل شاغل در شهر اصفهان

آزاده حسن پور^۱، فرهام امین شرعی^{۲*}

۱- گروه مهندسی شیمی- ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: aminsharei.fa@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵

چکیده

مطالعه‌ی حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت ترکیبات BTEX در پمپ بنزین‌های دارای VRU، مقایسه سلامت پرسنل شاغل در پمپ بنزین‌های دارای این سیستم VRU و فاقد آن، ارزیابی ریسک بهداشتی و ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی BTEX، در شهر اصفهان انجام شد. مطابق دستورالعمل NIOSH1501، از روش نمونه‌برداری اکتیو استفاده شد، نمونه‌ها توسط پمپ نمونه‌بردار فردی جمع‌آوری و از جاذب زغال فعال استفاده شد و در نهایت نمونه‌ها به مدت ۷۵ دقیقه جمع‌آوری شدند. ترکیبات BTEX توسط حلال دی‌سولفیدکربن استخراج گردید و به وسیله دستگاه گاز کروماتوگرافی شعله‌ای یونی مورد سنجش قرار گرفت. مقادیر BTEX در کلیه‌ی جایگاه‌های سوخت کمتر از حد مجاز مواجهه بود. سطح معنی‌داری در پارامترهای خونی کمتر از ۰/۰۵، ریسک سرطان‌زایی بنزن در کلیه موارد و جایگاه‌ها پایین‌تر از مقدار مجاز و ریسک غیرسرطان‌زایی کوچکتر از ۱ محاسبه شد.

کلمات کلیدی

"ارزیابی ریسک بهداشتی"، "پمپ بنزین VRU"، "BTEX"

مقدمه

می‌باشد (Bruyn, 1987). خوشبختانه امروزه در بعضی جایگاه‌ها شاهد پیشرفت چشمگیر و تغییری مفید در جهت جلوگیری از اتلاف بنزین هستیم. این طرح چشمگیر استفاده از سیستم بازیافت بخارات بنزین است که در طراحی چنین جایگاهی ضروری است. به منظور کمینه‌سازی بخارات انتشار یافته به اتمسفر و کاهش محدوده‌ی خطر انتشار بخارات، سیستم بازیافت بخار به طور کامل لحاظ گردد. باتوجه به اینکه هیدروکربن‌های نفتی به دلیل دارا بودن خواصی چون سمیت، خوردگی، قابلیت اشتعال، قابلیت انفجار طبق تعریف آیین‌نامه اجرایی حمل و نقل جاده‌ای مواد خطرناک، جزء مواد و محصولات خطرناک به شمار می‌آیند، بنابراین جلوگیری از ورود آنها به منابع زیست محیطی خاک، آب و هوا لازم و ضروری می‌باشد. براساس مطالعه انجام شده توسط Al-Harbi و همکاران در سال ۲۰۲۰، نتایج حاکی از آن بود که، کارگران ایستگاه های پمپ بنزین به دلیل استنشاق بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گونه‌های زایلن (BTEX) در محیط کار خود، ممکن است علائم و نشانه‌های تهدید کننده‌ی سلامتی را تجربه کنند. همچنین کارگران شاغل در پمپ بنزین در معرض سطوح ناسالم بنزن قرار دارند (Al-Harbi et al., 2020). در مطالعه‌ی Santiago و همکاران در سال ۲۰۱۹، مواجهه شغلی با گازهای سمی بنزین دارای سرب یکی از نگرانی‌های مهم بهداشتی برای عموم مردم می‌باشد. این دودها که حاوی سموم فوق‌العاده خطرناک برای زندگی هستند می‌توانند باعث تغییرات غیرطبیعی در عملکرد بسیاری از اندام‌های حیاتی شوند. نتایج این تحقیق نشان داد، میانگین سطح سرب خون در میان کارگران ایستگاه‌های پمپ بنزین به طور قابل توجهی بالاتر از گروه کنترل بود (Santiago et al., 2019). مطالعه‌ی Latif و همکاران در سال ۲۰۱۹، با هدف تعیین ترکیبات BTEX و ارزیابی خطر ابتلا به بیماری در مناطق مختلف مالزی بیانگر آن بود که میانگین غلظت بنزن، در میان ترکیبات BTEX

یکی از بزرگترین مشکلات زیست محیطی شهرهای صنعتی مسئله‌ی آلاینده‌های موجود در هوا می‌باشد. شهر اصفهان نیز که یکی از شهرهای صنعتی بزرگ در سطح کشور می‌باشد با این مسئله بسیار مهم مواجه است که عوامل زیادی چون عوامل طبیعی و انسانی در ایجاد آنها نقش دارند. سوخت مصرفی اتومبیل، یکی از منابع اصلی آلوده کننده هوا می‌باشد. آلودگی هوا عبارتست از وجود ترکیبات ناشی از فعالیت‌های انسانی یا فرآیندهای طبیعی در هوای محیط در مدت زمان کافی و به مقداری که منجر به تأثیرات نامطلوب بر روی انسان یا محیط زیست می‌شود. همچنین مه دود فتوشیمیایی، حاصل فعل و انفعالات انواع مختلف آلاینده هایی است که از سوخت، بالاخص اتومبیل‌های بنزین سوز وارد هوا می‌شود. عوامل زیادی نیز در تشدید این آلودگی سهیم بوده که از آن جمله می‌توان به وضعیت آب و هوایی منطقه اشاره کرد. از جمله آلاینده‌های موجود در هوا که ناشی از سوخت اتومبیل‌هاست و در هوای اطراف پمپ بنزین‌ها نیز وجود دارد ترکیبات BTEX است. BTEX ترکیبات هستند که در ذخایر نفتی و زغال سنگ و دامنه وسیعی از محصولات نفتی یافت می‌شوند. این ترکیبات شامل بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن هستند. ترکیبات آلی فرار از عوامل اصلی آلوده کننده هوا بوده و دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشابهی هستند و اثرات بهداشتی متعددی بر افراد داشته و به دلیل سرعت تبخیر بالا و انتشار سریع در محیط پیرامون، باعث مواجهه و تاثیر جبران‌ناپذیر بر سلامت آنان می‌گردد. این مواد از اجزاء اصلی تشکیل دهنده بنزین و از اصلی‌ترین حلال‌های مورد استفاده در صنایع می‌باشد، جزء ترکیبات آلی فرار بوده و انتشار آنها به محیط از طریق وسایل نقلیه موتوری و ترکیبات نفتی صورت می‌گیرد. از منابع چشمگیر مواجهه انسان با BTEX تنفس هوای آلوده، نواحی با ترافیک شدید وسایل نقلیه سنگین، پمپ بنزین‌ها و از طریق دود سیگار

ادار کارگران نشان داد، کارگران در حال بارگیری در تانکر، بالاترین میزان مواجهه با بنزن را در مقایسه با کارگران در سایر نقش‌های شغلی تجربه می‌کنند، همچنین قرارگیری در معرض هوای آلوده به بنزن به شدت بر میزان ادرار تأثیر می‌گذارد (Heibati et al., 2018). مطالعه‌ی شاه محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۷، با هدف بررسی ارتباط بین غلظت ترکیبات BTEX با سطح متابولیت‌های ادراری در افراد شاغل در یک مجتمع پتروشیمی نشان داد میانگین غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن از حد مجاز کشور کمتر می‌باشد ولی در برخی موارد مقادیر بنزن و تولوئن از حد مجاز بیشتر بود، همچنین میانگین مقدار شاخص مواجهه بیولوژیکی هیچ یک از متابولیت‌های ادراری از مقادیر پیشنهاد شده بیشتر نبود. علاوه بر این مشخص گردید که نوع فعالیت شغلی کارکنان تأثیر به‌سزایی بر میزان مواجهه آنها با بنزن و تولوئن دارد دهقانی و همکاران در سال ۱۳۹۷، بیانگر بالا بودن ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن و همچنین ریسک غیر سرطان‌زایی بنزن و زایلن بود (Dehghani et al., 2018). مسأله‌ی مهمی که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد، وضعیت موجود جایگاه‌های عرضه سوخت در سطح کشور ایران، نقش این جایگاه‌ها بر آلودگی محیط زیست، ارزیابی ریسک بهداشتی غلظت BTEX و در نهایت اقدامات مهندسی و مدیریتی مورد نظر جهت کاهش خطرات زیست محیطی در این فرایند است. باتوجه به موارد فوق‌الذکر تاکنون اقدامی در جهت ارزیابی ریسک های بهداشتی غلظت ترکیبات BTEX در جایگاه‌های مجهز به سیستم بازیافت بخارات انجام نگرفته است لذا انجام این تحقیق ضرورت یافت تا به ارزیابی ریسک در این جایگاه‌ها و مقایسه‌ی آن با جایگاه‌های فاقد این سیستم پردازیم و نقاط قوت و ضعف هر یک را به اختصار مورد ارزیابی قرار داده و از آن در جهت بهبود هرچه بهتر این سیستم‌ها استفاده نماییم. براساس مطالب مذکور، ارزیابی ریسک بهداشتی غلظت ترکیبات BTEX و میزان مواجهه کارکنان، اندازه‌گیری میزان غلظت BTEX در پمپ بنزین‌های دارای VRU، محاسبه سرطان‌زایی و یا غیرسرطان‌زایی BTEX در پرسنل شاغل در پمپ بنزین و مقایسه‌ی سلامت پرسنل شاغل در پمپ بنزین‌های دارای سیستم VRU و فاقد آن در شهر اصفهان از اهداف تحقیق حاضر می‌باشد. تعیین درجه مواجهه (Exposure Rate): طبق دستورالعمل ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور، می‌توان درجه مواجهه با ترکیبات BTEX را براساس مواجهه واقعی این مطالعه در ۱۸ ایستگاه از ۱۱ جایگاه دارای سیستم بازیافت بخارات بنزین (VRU) در شهر اصفهان انجام شد. پس از تعیین ایستگاه‌ها، اقدام به ارزیابی ریسک بهداشتی ترکیبات BTEX در جایگاه گردید. برای این منظور از روش ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور استفاده گردید (Yari et al., 2016). در ابتدا اقدام به تشکیل یک گروه کاری متشکل از مدیر عامل شرکت، سرپرست جایگاه‌های مورد بررسی، کارشناس بهداشت حرفه‌ای و ایمنی و مسئول مانیتورینگ گردید. ارزیابی‌های اولیه نشان داد هر یک از جایگاه های تک سکو دارای ۳ شیفت کاری هستند که در هر شیفت تنها ۱ نفر (پمپ چی) مشغول به فعالیت می‌باشد. سپس با توجه به مشخص بودن مواد شیمیایی مورد بررسی (ترکیبات BTEX موجود در بنزین) اقدام به تعیین درجه خطر هریک از ترکیبات مذکور گردید. درجه

سمی‌ترین نوع و تولوئن غالب‌ترین بود. همچنین مقادیر HQ در همه ایستگاه‌ها کمتر از ۱ بود که نشان می‌دهد خطر غیرسرطان‌زا بسیار ناچیز است و نمی‌تواند تهدیدی برای سلامتی انسان باشد. مقدار LTCR بر اساس استنشاق بنزن نشان دهنده خطر سرطان‌زایی احتمالی بود (Latif et al., 2019). در مطالعه‌ی Garg و همکاران در سال ۲۰۱۹، با بررسی غلظت ترکیبات BTEX در هوای شهر دهلی مشخص گردید که در بین محل‌های نمونه‌برداری، بالاترین غلظت‌ها در مناطق پرترافیک مشاهده گردید. نسبت تولوئن به بنزن بالا بود که ناشی از ترافیک بود. همچنین در بررسی ارزیابی ریسک بهداشتی، ریسک سرطان‌زایی بنزن بالاتر از حد آستانه بود و ریسک غیرسرطانی کمتر از حد مجاز مشاهده شد (Garg et al., 2019). براساس مطالعه Kerneel jaars و همکاران در سال ۲۰۱۸، نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی ترکیبات آلی فرار حاکی از آن است که ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای آلاینده بنزن در هر دو دوره مطالعاتی کمتر از حد مجاز و ریسک غی سرطان‌ی بنزن و زایلن بالاتر از حد مجاز بودند (Jaars et al., 2018). در مطالعه‌ی ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۳۹۹، با مقایسه و بررسی تأثیر مواجهه تنفسی کارگران با آلاینده BTEX بر شاخص‌های اسپیرومتري در دو سال متوالی (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵) در کارگران سکوی‌های بارگیری فرآورده‌های نفتی، تعداد ۱۸ نمونه هوا از منطقه تنفسی فرد جهت تعیین میزان مواجهه کارگران با آلاینده‌های بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن تهیه شد و مشخص شد که میانگین میزان مواجهه کارگران با بنزن بالاتر از حد مجاز مواجهه شغلی و میانگین مواجهه با اتیل بنزن، تولوئن و زایلن پایین‌تر از حد مجاز مواجهه شغلی بوده است. همچنین نتایج حاصل از اسپیرومتري، نشانگر افت در شاخص‌های عملکردی ریه شامل FVC، FEV1 و FEV1/FVC بود (ذوالفقاری و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه‌ی رحیمی مقدم و همکاران در سال ۱۳۹۹، با هدف بررسی درگیری کلیه و کبد در کارگران پمپ بنزین، نتایج حاکی از آن است که کلیه و کبد در هنگام قرار گرفتن دائمی در معرض اجزای بنزین در پمپ بنزین‌ها، بیشترین آسیب را به اعضای بدن می‌زنند. همچنین سطح سرم خون در بین کارگران در معرض بنزین بالاتر از گروه کنترل بود، در حالی که آلبومین در سرم در کارگران در معرض کمتر بود. بنابراین، قرارگیری در معرض بنزین می‌تواند اثرات سویی بر عملکرد کلیه و کبد ایجاد کند (Rahimi Moghadam et al., 2020). طبق مطالعات محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۹، زندگی در نزدیکی انواع کاربری زمین‌های پزشکی، مراکز بهداشتی و مناطق پرترافیک باعث افزایش قرارگیری در معرض ترکیبات BTEX می‌شود، با این وجود، میانگین مقادیر HQ برای تمام گونه‌های BTEX در محدوده قابل قبولی بود ($HQ < 1$) اما قرارگیری در معرض بنزن محیط، برای ساکنان ارومیه خطر سرطان‌زایی دارد (Mohammadi et al., 2020). براساس مطالعه‌ی انجام شده توسط ملکی و همکاران در سال ۱۳۹۹، آلاینده‌های سمی BTEX در هوا به دلیل تأثیرات سوء آنها بر سلامت انسان خطرناک بوده و بر این اساس میانگین خطر ابتلا به سرطان در طول استنشاق (LTCR) برای بنزن بالاتر از حد توصیه شده EPA و WHO بود (Maleki et al., 2020). در مطالعه‌ی هیبتی و همکاران در سال ۱۳۹۷، قرار گیری در معرض ترکیبات BTEX در بین کارگران تأسیسات توزیع نفت و نیز اندازه‌گیری

اندازه‌گیری غلظت (BTEX) از طریق محاسبه میانگین مواجهه‌ی هفتگی از رابطه زیر به دست آمد:

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \quad (1)$$

E: میزان مواجهه‌ی هفتگی برحسب (ppm یا mg/m^3)
 F: تعداد دفعات مواجهه در هفته
 D: میانگین زمان مواجهه برحسب ساعت
 M: میزان مواجهه (همان غلظت مواجهه فرد منتج از نمونه‌برداری هوا) برحسب ppm یا mg/m^3
 W: میانگین ساعات کاری در هفته (۴۰ ساعت)

خطر (Hazard Rate): طبق روش ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور، می‌توان درجه خطر را از طریق دوز کشنده (Lethal Dose) LD50 مواد شیمیایی (جدول ۱) و یا با استفاده از اثرات سمی مواد شیمیایی (جدول ۲) تعیین نمود. باتوجه به جدول (۲) درجه خطر (HR) بنزن برابر ۵ و براساس طبقه‌بندی سازمان ACGIH در گروه A1 مواد سرطان‌زا قرار گرفته است و درجه خطر تولوئن، زایلین و اتیل بنزن برابر ۳ می‌باشد و موادی هستند که براساس طبقه بندی ACGIH در گروه A3 قرار می‌گیرند... پس از تعیین درجه خطر، درجه مواجهه (ER) با ترکیبات BTEX، براساس مواجهه واقعی (براساس نتایج

جدول ۱: تعیین درجه خطر از طریق سمیت حاد مواد شیمیایی

درجه خطر	LD50 جذب شده از راه خوراکی (mg/kg وزن بدن رات)	LD50 جذب پوستی (mg/kg وزن بدن رات یا خرگوش)	LC50 جذب شده از طریق استنشاق دریدن رات (mg/L)	LC50 جذب شده از طریق استنشاق دریدن رات معلق در چهار ساعت
۱	$\text{LD}_{50} > 2000$	$\text{LD}_{50} > 2000$	$\text{LC}_{50} > 20$	$\text{LC}_{50} > 5$
۲	$200 \leq \text{LD}_{50} < 2000$	$400 < \text{LD}_{50} \leq 2000$	$2 \leq \text{LC}_{50} < 20$	$1 \leq \text{LC}_{50} < 5$
۳	$25 < \text{LD}_{50} \leq 200$	$50 < \text{LD}_{50} \leq 400$	$0.5 < \text{LC}_{50} \leq 2$	$0.25 < \text{LC}_{50} \leq 1$
۴	$\text{LD}_{50} \leq 25$	$\text{LD}_{50} \leq 50$	$\text{LC}_{50} \leq 0.5$	$\text{LC}_{50} \geq 0.25$

باتوجه به جدول ۲، درجه خطر (HR) بنزن برابر ۵ و براساس طبقه بندی سازمان ACGIH در گروه A1 مواد سرطان‌زا قرار گرفته است و درجه خطر تولوئن، زایلین و اتیل بنزن برابر ۳ می‌باشد و موادی هستند که براساس طبقه بندی ACGIH در گروه A3 قرار می‌گیرند.

جدول ۲: تعیین درجه خطر (HR) با استفاده از اثرات سمی یا عوارض زیان آور مواد شیمیایی

درجه خطر	توصیف اثرات مواد شیمیایی در تقسیم بندی مخاطرات شیمیایی	مثال
۱	- موادی که هیچ گونه اثر بهداشتی شناخته شده ای ندارند و به عنوان مواد سمی یا زیان آور طبقه بندی نشده اند. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A5 سرطان زا ها قرار داده است.	کلرید سدیم ، بوتان، استات، بوتیل کربنات کلسیم
۲	- موادی که اثرات برگشت پذیر بر روی پوست، چشم ها و غشاء مخاطی دارند ولی اثراتشان آن قدر شدید نیست که بتواند اختلال جدی برانسان ایجاد کند - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A4 سرطان زا ها قرار داده است. - موادی که باعث ایجاد حساسیت و تحریک در پوست می شوند.	استون، بوتان، استیک اسید (۱۰٪)، املاح باریوم و.....
۳	- موادی که احتمالا برای انسان یا حیوان سرطان زا یا موتاژن هستند ولی اطلاعات کافی در این مورد وجود ندارد. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A3 سرطان زا ها قرار داده است. - موادی که IARC آنها را در گروه B2 قرار داده است. - مواد خورنده $3 < \text{PH} < 5$ یا $9 < \text{PH} < 12$ و مواد حساس کننده دستگاه تنفسی و....	اتیل بنزن، آمونیاک، زایلین، تولوئن، آنیلین، استالددید، بوتانول، آنتیموان
۴	- موادی که امکان سرطان زایی، موتاژنی (ایجاد جهش ژنی) و ترانژنزی (ناقص الخلقه زایی) آنها بر طبق مطالعات انجام شده روی حیوانات بیشتر از دسته ی قبلی است. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A2 سرطان زا ها قرار داده است. - گروه A2 در طبقه بندی IARC - مواد خیلی خورنده ($2 < \text{PH} < 14$ یا $11/5 < \text{PH} < 14$)	فرمالددید، کادمیوم، متیلن کلراید، اتیلن اکساید، آکریلو نیتریل
۵	- موادی که امکان سرطان زایی، موتاژنی (ایجاد جهش ژنی) و ترانژنزی (ناقص الخلقه زایی) آنها شناخته شده است. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A1 سرطان زا ها قرار داده است. - گروه ۱ در طبقه بندی IARC - مواد شیمیایی خیلی سمی	بنزن ، بنزیدین، سرب ، سیلیس، برومین ، برلیوم، آرسنیک ، جیوه ، وینیل کلراید

پس از محاسبه میانگین مواجهه هفتگی (E)، درجه مواجهه با استفاده از جدول (۳) مشخص می‌شود.

جدول ۳: تعیین درجه مواجهه

ER	E/OEL
۱	< ۰,۱
۲	۰,۱ تا ۰,۵
۳	۰,۵ تا ۱
۴	۱ تا ۲
۵	≥ ۲

تعیین سطح ریسک (Risk Level): در مرحله بعد سطح ریسک یا نمره ریسک با توجه به درجه خطر (HR) و درجه مواجهه ماده شیمیایی (ER) و با استفاده از معادله (۲) گردید.

$$RiskLevel = \sqrt{HR \times ER} \quad (2)$$

رتبه بندی ریسک (Risk Rating): پس از مشخص شدن نمره ریسک برای هر یک از ترکیبات BTEX مورد بررسی و جهت رتبه بندی هر یک از مواد به منظور طراحی اقدامات کنترلی، رتبه بندی ریسک با استفاده از جدول رتبه ریسک به دست آمد. (جدول ۴)

جدول ۴: رتبه بندی ریسک

سطح ریسک (Risk Level)	رتبه بندی
۰-۱/۷	ناچیز-قابل صرف نظر
۱/۷-۲/۸	کم
۲/۸-۳/۵	متوسط
۳/۵-۴/۵	بالا
۴/۵-۵	خیلی بالا

در نهایت ماتریس رتبه بندی ریسک به همراه راهنمای آن در (جدول ۵) مشخص شد. در این راهنما مشخص گردیده که کمترین ریسک مربوط به ناحیه ی سفید است که به صورت ریسک ناچیز و قابل صرف نظر بوده و بالاترین ریسک نیز مربوط به محدوده ی قرمز و با ریسک بسیار زیاد مشخص شده است.

جدول ۵: ماتریس رتبه بندی ریسک

HR/ER	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱	۱/۴	۱/۷	۲	۲/۲
۲	۱/۴	۲	۲/۴	۲/۸	۳/۲
۳	۱/۷	۲/۴	۳	۳/۵	۳/۹
۴	۲	۲/۸	۳/۵	۴	۴/۵
۵	۲/۲	۳/۲	۳/۹	۴/۵	۵
راهنمای ماتریس					
۱	ناچیز- قابل صرف نظر				
۲	کم				
۳	متوسط				
۴	زیاد				
۵	بسیار زیاد				

• ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی ترکیبات BTEX: سازمان بهداشت جهانی (WHO) این گروه از ترکیبات آلی فرار را در دسته ی آلاینده های خطرناک هوا تقسیم بندی کرده است (Kakooei et al., 2013).

• ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی ترکیبات BTEX: سازمان بهداشت جهانی (WHO) این گروه از ترکیبات آلی فرار را در دسته ی آلاینده های خطرناک هوا تقسیم بندی کرده است (Kakooei et al., 2013).

آژانس بین المللی تحقیق بر روی سرطان (IARC) و هم چنین آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) بنزن را به عنوان سرطانی قطعی انسانی تقسیم بندی کرده است (Loprieno, 1975).

• ریسک سرطان زایی:

در مطالعه حاضر ارزیابی ریسک سرطان زایی برای بنزن و ارزیابی ریسک بهداشتی غیرسرطان زایی برای هر چهار ترکیب BTEX با استفاده از روش EPA انجام گرفت. ریسک سرطان با استفاده از فاکتور ریسک واحد و میزان خطر غیرسرطانی با کمک غلظت های مرجع محاسبه گردید. پس از تعیین غلظت ترکیبات در هوای پمپ بنزین های مورد نظر، میزان جذب مزمن روزانه، برای تعیین ارزیابی ریسک سرطانی و مخاطره غیرسرطانی محاسبه گردید. در میان ترکیبات BTEX، بنزن به عنوان سرطانی قطعی انسانی دسته ی A مطابق با تقسیم بندی IARC و EPA تقسیم بندی شده است. از این رو، ارزیابی ریسک سرطان زایی برای بنزن و ارزیابی ریسک غیرسرطان زایی برای کلیه ترکیبات BTEX انجام شد. برای بررسی ریسک بهداشتی مربوط تماس با ترکیبات BTEX، مقدار متوسط دریافتی روزانه یا ADI (Average Daily Intake) از طریق تنفس مستقیم با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$ADI = (CA \times IR \times ET \times ED \times EF / BW \times AT \times 365) \quad (3)$$

$$ELCR = ADI \times CSF \quad (4)$$

• محاسبه ریسک غیر سرطان زایی:

در مرحله ی بعد با استفاده از رابطه زیر مقدار ریسک غیرسرطان زایی (Non-cancer Risk) محاسبه گردید.

$$Non-cancer Hazard Quotient (HQ) = ADI/RfC \quad (5)$$

در این رابطه RfC (Reference concentration) معادل مقدار رفرنس (mg.kg-1.day-1) می باشد که توسط US EPA تعیین شده است. در صورتی که $HQ \leq 1$ باشد، خطر غیرسرطان زایی قابل توجهی افراد را تهدید نمی کند اما در صورتی که $HQ > 1$ باشد مقدار ریسک غیرسرطان زایی بالا بوده و غیرقابل قبول است.

مخاطره غیرسرطانی به صورت HQ بیان می گردد که مقدار آن با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می گردد:

ELCR: ریسک ابتلا به سرطان در طول زندگی

ADI^۴: مصرف مزمن روزانه (mg/kg/day)

CA^۵: غلظت آلاینده در هوا (mg/m³)

ET^۶: مدت زمان تماس روزانه (۸ ساعت در روز)

ED^۷: مدت زمان تماس (۳۵ سال)

IR^۸: مقدار تنفس در ۸ ساعت کاری (18.7m³/day)
 AT^۹: مدت زمان متوسط (سرطانزا: ۷۰، غیر سرطانزا: ۳۵)
 CSF^{۱۰}: فاکتور شیب سرطان (mg/kg/day)
 CSF بنزن: 0.029mg/kg/day
 BW^{۱۱}: وزن بدن (70 Kg)
 RfC^{۱۲}: مقدار رفرنس دریافتی از طریق تنفس (mg/m³) جدول (۶)
 HQ^{۱۳}: مخاطره غیرسرطانی

جدول ۶: مقدار مواجهه رفرنس (EPA) و (IRIS) و طبقه بندی IARC (Masekameni et al., 2019)

ردیف	ماده شیمیایی	رفرنس	RfC (mg/m ³)	غلظت هوا (μg/m ³)	طبقه بندی IARC
۱	بنزن	IRIS ^{۱۴}	0.03	7.8×10 ⁻⁶	1
۲	تولوئن	IRIS	5	0	3
۳	اتیل بنزن	IRIS	1	2.5×10 ⁻⁶	3
۴	زایلن	IRIS	0.1	0	3

Agilent6890/FID (Gas chromatography-flame GC ionization detector) مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها

در جدول ۷، به ترتیب از راست به چپ سابقه کاری افراد (History)، فراوانی (Frequency) و درصد فراوانی ((Frequency (%)) مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع از ۱۸ نفر نمونه گرفتیم که در ستون مربوط به سابقه‌ی کاری، سابقه کار افراد به براساس سال و در ستون مربوط به فراوانی، تعداد افراد دارای این مقدار سال سابقه مشخص شدند. در ستون آخر نیز، درصد فراوانی باتوجه به سابقه کاری و فراوانی آن محاسبه گردید.

نمونه‌های تحقیق حاضر از هوای کنار پمپ‌های سوخت و از هوای منطقه تنفسی افراد شاغل مواجهه یافته و به طور کل برای تعیین غلظت تنفسی، طبق دستورالعمل NIOSH1501 از روش نمونه برداری اکتیو توسط پمپ نمونه برداری فردی SKC مدل (44XR-224) و با استفاده از تیوب‌های جاذب زغال فعال مدل (۲۲۶-۰۱) استفاده شد و نمونه‌ها به مدت ۷۵ دقیقه جمع‌آوری شدند. قبل از انجام نمونه‌برداری کالیبراسیون با روتامتر و کالیبراتور الکترونیکی (Bios Defender-510) برای تنظیم جریان پمپ‌های SKC استفاده شد و پمپ‌های نمونه‌برداری با جریان ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه کالیبره شدند. سپس BTEX توسط حلال دی سولفید کربن استخراج گردید و به وسیله دستگاه

جدول ۷: جدول سابقه - فراوانی

Frequency (%)	Frequency	History(year)
۱۶/۷	۳	۱
۲۲/۲	۴	۲
۲۲/۲	۴	۳
۲۷/۷	۵	۴
۵/۶	۱	۹
۵/۶	۱	۱۵

جدول ۸: جدول فراوانی

Standard	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
RBC	۴/۶	۶/۱	۵/۲۶	۰/۳۸
WBC	۴	۷/۹	۵/۸۳	۱/۲۳
MCV	۸۲	۵۹/۹	۸۸/۸۳	۳/۳۵
PLT	۱۵۰	۲۷۴	۲۰۲/۸۳	۳۰/۶۱
FVC	۳/۸۵	۵/۹۵	۴/۶۳	۰/۶۳
FEV1	۳/۱۱	۴/۶۶	۳/۷۶	۰/۴۸
FEV1/FVC	۷۲/۸	۸۷/۸	۸۱/۳۲	۴/۳۷
FEF25-75%	۴۸/۴۴	۱۱۹/۰۳	۸۵/۵۵	۱۷/۵۳
Blood lead density	۱۴	۳۵	۲۳/۱۷	۵/۰۰۹

12- Inhalation Reference Concentration
 13- Hazard Quotient
 14- Integrated Risk Information System

8- Inhalation Rate
 9 -Average Time
 10- Cancer Slope Factor
 11 -Body weight

جدول ۹: درجه خطر، درجه مواجهه و رتبه ریسک مواجهه

رتبه ارزیابی	رتبه بندی ریسک (RR)	درجه مخاطره (HR)	درجه مواجهه (ER)	نسبت $\frac{E}{OEL}$	OEL (PPM)	میزان مواجهه (E) (PPM)	شدت مواجهه (M) (PPM)	تکرار مواجهه (F)	طول مدت مواجهه (D)	ماده شیمیایی	جایگاه و تعداد نمونه
متوسط	۳/۱۶	۵	۲	۰/۱۱۹۸	۰/۵	۰/۰۵۹۹	۰/۰۵۷	۷	۶	بنزن	جایگاه وحید (۳)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۵	۲۰	۰/۰۴۹۴	۰/۰۴۷	۷	۶	تولوئن	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۲	۱۰۰	۰/۳۱۵۰	۰/۳	۷	۶	زایلین	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۲	۲۰	۰/۰۴۳۱	۰/۰۴۱	۷	۶	اتیل بنزن	
متوسط	۳/۱۶	۵	۲	۰/۱۲۱۸	۰/۵	۰/۰۶۰۹	۰/۰۵۸	۷	۶	بنزن	جایگاه های همدانیان (۱) باهنر (۲)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۵	۲۰	۰/۰۵۰۴	۰/۰۴۸	۷	۶	تولوئن	
کم	۰/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۲	۱۰۰	۰/۳۲۳۴	۰/۳۰۸	۷	۶	زایلین	
کم	۰/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۲	۲۰	۰/۰۴۳۱	۰/۰۴۱	۷	۶	اتیل بنزن	
متوسط	۳/۱۶	۵	۲	۰/۱۰۱۶	۰/۵	۰/۰۵۰۸	۰/۰۵۸	۷	۵	بنزن	جایگاه های فرایبورگ (۲) هزار جریب (۱)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۱	۲۰	۰/۰۴۲۰	۰/۰۴۸	۷	۵	تولوئن	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۰	۱۰۰	۰/۲۹۵۸	۰/۳۳۸	۷	۵	زایلین	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۱۸	۲۰	۰/۰۳۶۸	۰/۰۴۲	۷	۵	اتیل بنزن	

جدول ۱۰: درجه خطر، درجه مواجهه و رتبه ریسک مواجهه

رتبه ارزیابی	رتبه بندی ریسک (RR)	درجه مخاطره (HR)	درجه مواجهه (ER)	نسبت $\frac{E}{OEL}$	OEL (PPM)	میزان مواجهه (E) (PPM)	شدت مواجهه (M) (PPM)	تکرار مواجهه (F)	طول مدت مواجهه (D)	ماده شیمیایی	جایگاه و تعداد نمونه
متوسط	۳/۱۶	۵	۲	۰/۱۱۱۴	۰/۵	۰/۰۵۵۷	۰/۰۵۳	۷	۶	بنزن	جایگاه های آبخار (۱) گلستان (۲)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۳	۲۰	۰/۰۴۶۲	۰/۰۴۴	۷	۶	تولوئن	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۵	۱۰۰	۰/۳۴۶۵	۰/۳۳	۷	۶	زایلین	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۱۹	۲۰	۰/۰۳۸۹	۰/۰۳۷	۷	۶	اتیل بنزن	
متوسط	۳/۱۶	۵	۲	۰/۱۱۱۴	۰/۵	۰/۰۵۵۷	۰/۰۵۳	۷	۶	بنزن	جایگاه های ایمان (۲) استقلال (۱)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۳	۲۰	۰/۰۴۵۲	۰/۰۴۳	۷	۶	تولوئن	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۲	۱۰۰	۰/۳۲۲۴	۰/۳۰۷	۷	۶	زایلین	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۰	۲۰	۰/۰۳۹۹	۰/۰۳۸	۷	۶	اتیل بنزن	
متوسط	۳/۱۶	۵	۱	۰/۰۹۹۸	۰/۵	۰/۰۴۹۹	۰/۰۵۷	۷	۵	بنزن	جایگاه های کارگر (۲) ارغوانیه (۱)
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۲۰	۲۰	۰/۰۴۰۳	۰/۰۴۶	۷	۵	تولوئن	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۳۲	۱۰۰	۰/۳۲۲۰	۰/۳۶۸	۷	۵	زایلین	
کم	۱/۷۳	۳	۱	۰/۰۰۱۸	۲۰	۰/۰۳۵۹	۰/۰۴۱	۷	۵	اتیل بنزن	

روزانه (ADI)، مقدار ریسک غیر سرطان زایی که با استفاده از شاخص HQ (Hazard quotient) بیان می شود، برای ترکیبات BTEX در شاغلین جایگاه های VRU محاسبه گردید. براساس داده های جدول ۱۲، ریسک غیر سرطان زایی برای ترکیبات BTEX

ارزیابی ریسک سرطان زایی بنزن و غیر سرطان زایی ترکیبات BTEX مطابق با روش EPA انجام شد. جدول ۱۱، مقدار متوسط دریافتی روزانه (ADI) ترکیبات BTEX توسط کارگران شاغل در جایگاه های VRU نشان می دهد. با استفاده از مقدار متوسط دریافتی

در تمام جایگاه‌های مورد مطالعه کوچکتر از ۱ می‌باشد. ریسک سرطان زایی طول عمر مواجهه با بنزن (ELCR) برای کارگران شاغل در جایگاه های VRU با استفاده از روش ارائه شده توسط USEPA برآورد گردید.

جدول ۱۳: ریسک سرطان زایی بنزن در میان کارگران ایستگاه های بنزین در سلیمانیه کمی افزایش یافته و کارگران سیگاری غلظت سرب خون بیشتری داشتند. میانگین تعداد RBC، سطح هموگلوبین و HCT را در کارگران پمپ بنزین به طور قابل توجهی پایین تر از گروه کنترل بود. در حالی که سایر پارامترهای خون شناسی در محدوده طبیعی بودند. (Santiago et al., 2019)

جدول ۱۱: مقدار متوسط دریافتی روزانه (ADI) ترکیبات BTEX توسط کارگران شاغل در جایگاه های VRU

آلاینده	جایگاه وحید	جایگاه همدانیان/باهنر	جایگاه فرایبورگ/هزار جریب	جایگاه آبشار/گلستان	جایگاه ایمان/استقلال	جایگاه کارگر / ارغوانیه
بنزن	2.80×10^{-6}	1.58×10^{-12}	2.86×10^{-6}	2.64×10^{-6}	2.60×10^{-6}	2.80×10^{-6}
تولوئن	1.38×10^{-6}	1.40×10^{-6}	1.39×10^{-6}	5.59×10^{-7}	1.27×10^{-6}	1.35×10^{-6}
زایلن	1.02×10^{-5}	1.03×10^{-5}	1.12×10^{-5}	1.12×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.22×10^{-5}
اتیل بنزن	1.38×10^{-6}	1.39×10^{-6}	1.41×10^{-6}	1.26×10^{-6}	1.29×10^{-6}	1.38×10^{-6}

جدول ۱۲: مقدار ریسک غیر سرطان زایی (HQ) ترکیبات BTEX برای شاغلین جایگاه های VRU

آلاینده	جایگاه وحید	جایگاه همدانیان/باهنر	جایگاه فرایبورگ/هزار جریب	جایگاه آبشار/گلستان	جایگاه ایمان/استقلال	جایگاه کارگر / ارغوانیه
بنزن	1×10^{-4}	5.26×10^{-11}	9.53×10^{-5}	8.8×10^{-5}	8.66×10^{-5}	1×10^{-4}
تولوئن	2.76×10^{-7}	2.8×10^{-7}	2.78×10^{-7}	1.11×10^{-7}	2.57×10^{-7}	2.7×10^{-7}
زایلن	1.02×10^{-4}	1.03×10^{-4}	1.12×10^{-4}	1.12×10^{-4}	1.02×10^{-4}	1.22×10^{-5}
اتیل بنزن	1.38×10^{-6}	1.39×10^{-6}	1.41×10^{-6}	1.26×10^{-6}	1.29×10^{-6}	1.38×10^{-6}

مقدار HQ در کلیه ی مقادیر کوچکتر از ۱ می باشد.

جدول ۱۳: ریسک سرطان زایی طول عمر مواجهه با بنزن (ELCR) برای کارگران شاغل در جایگاه های VRU

آلاینده	جایگاه وحید	جایگاه همدانیان/باهنر	جایگاه فرایبورگ/هزار جریب	جایگاه آبشار/گلستان	جایگاه ایمان/استقلال	جایگاه کارگر / ارغوانیه
بنزن	4.06×10^{-8}	4.11×10^{-8}	4.14×10^{-8}	3.82×10^{-8}	3.77×10^{-8}	4.06×10^{-8}

مقدار ریسک سرطان زایی در کلیه موارد پایین تر از حداکثر مقدار قابل قبول تعیین شده توسط EPA (10^{-4}) می باشد.

بحث

نتایج نشان دادند ریسک غیر سرطان زایی ترکیبات بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن در کلیه ی ایستگاه ها و در تمام جایگاه های اندازه گیری شده کمتر از حد مجاز مواجهه بود. علاوه بر این ریسک سرطان زایی بنزن در کلیه ی جایگاه ها و ایستگاه های اندازه گیری شده از حد مجاز مواجهه کشوری کمتر بود. در مطالعه ی Al-Harbi و همکاران در سال ۲۰۲۰، خطر ابتلا به سرطان در کارگران در معرض غلظت بالای بنزن و اتیل بنزن مشاهده شد. (Al-Harbi et al., 2020) در مطالعه GETU در سال ۲۰۲۰، میانگین پارامترهای خونی کارگران پرکننده بنزین در مقایسه با گروه کنترل افزایش قابل توجهی داشت. (Getu et al., 2020) مطالعه ی Latif و همکاران در سال ۲۰۱۹، نشان داد مقادیر HQ در همه ایستگاه ها کمتر از ۱ بود که نشان داد خطر غیر سرطان زایی بسیار ناچیز است و نمی تواند سلامتی انسان را تهدید کند. مقدار LTCR بر اساس استنشاق بنزن، در مرکز شهر کوالالامپور نشان دهنده خطر سرطان زایی احتمالی بود. (Latif et al., 2019) در مطالعه ی Garg و همکاران در سال ۲۰۱۹، ریسک سرطان زایی بنزن بالاتر از حد آستانه بود و ریسک غیرسرطانی دیگر ترکیبات کمتر از حد مجاز مشاهده شد. (Garg et

بود، همچنین میانگین شاخص مواجهه بیولوژیکی هیچ یک از متابولیت های ادراری از مقادیر پیشنهاد شده بیشتر نبود، بنابراین میزان مواجهه افراد شاغل در پتروشیمی، با بنزن و تولوئن قابل توجه و حتی در برخی موارد از حدود توصیه شده بالاتر بود. همچنین مشخص گردید که نوع فعالیت شغلی کارکنان تأثیر به سزایی بر میزان مواجهه آنها با بنزن و تولوئن دارد. (Shahmohammadi & Zeverdegani, 2018)

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که غلظت ترکیبات BTEX کمتر از حد مجاز مواجهه می باشد و پرسنل شاغل در جایگاه های توزیع سوخت بنزین دارای سیستم VRU، در سطوح پایینی از مواجهه با ترکیبات آلی فرار موجود در بنزین قرار دارند. در کلیه جایگاه ها ریسک سرطانزایی برای بنزن کمتر از حد مجاز (10^{-3}) و ریسک غیرسرطانزایی BTEX ($HQ < 1$) بود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر از دستاوردهای پایان نامه کارشناسی ارشد آزاده حسن پور به شماره ۱۵۰۴۰۴۲۵۹۸۲۰۰۳ در گروه مهندسی شیمی اچ اس ای دانشگاه آزاد نجف آباد می باشد. لذا از تمامی افرادی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

داد، زندگی در نزدیکی کاربری های شلوغ و مناطق پرتراffیک باعث افزایش قرار گیری در معرض ترکیبات BTEX می شود، همچنین قرار گیری در معرض بنزن برای ساکنان ارومیه خطر سرطان زایی دارد، ولی مقادیر HQ در کلیه موارد کمتر از یک به دست آمد (Mohammadi et al., 2020). مطالعه ی ملکی و همکاران در سال ۱۳۹۹، نشان داد که مناطق دارای تراffیک سنگین و نزدیک به کارخانه و سایت های صنعتی، بالاترین غلظت BTEX را دارد که با افزایش فاصله از منابع انتشار کاهش می یابد. مقدار متوسط LTCR برای بنزن کمتر از حد مجاز مواجهه محاسبه شد. ضریب (HQ) برای ترکیبات BTEX کمتر از ۱ بود که هیچگونه اثر غیر سرطان زایی بر سلامت انسان نداشت. (Maleki et al., 2020) در مطالعه ی ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۳۹۹، تأثیر مواجهه تنفسی کارگران با آلاینده های BTEX بر شاخص های اسپرومتری در کارگران سکوهای بارگیری فرآورده های نفتی بررسی شد و نتایج نشان داد که میانگین میزان مواجهه کارگران با بنزن بالاتر از حد مجاز مواجهه شغلی و میانگین مواجهه با اتیل بنزن، تولوئن و زایلین پایین تر از حد مجاز مواجهه شغلی بوده است. همچنین نتایج حاصل از تست اسپرومتری افت شاخص های عملکردی ریه شامل FEV1، FVC، FEV1/FVC را نشان داد (ذوالفقاری et al., 2020). در مطالعه ی شاه محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۷، میانگین غلظت آلاینده های BTEX از حد مجاز مواجهه کشوری کمتر

منابع

- ذوالفقاری، احمد؛ زارعی، مستغاثی پور حمیده & سخویدی، ز. (۲۰۲۰). مقایسه و بررسی تأثیر مواجهه تنفسی کارگران با آلاینده BTEX بر شاخص های اسپرومتری در دو سال متوالی در کارگران سکوهای بارگیری فرآورده های نفتی. فصلنامه طب کار، ۱۱(۱)، ۶۹-۷۵.
- Al-Harbi, M., Alhajri, I., AlAwadhi, A. A., & Whalen, J. K. (2020). Health symptoms associated with occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds. *Atmospheric Environment*, 241, 117847. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117847>
- Bruyn, G. W. (1987). Toluene: Environmental health criteria 52. *Journal of the Neurological Sciences*, 79(1-2), 241. [https://doi.org/10.1016/0022-510x\(87\)90282-6](https://doi.org/10.1016/0022-510x(87)90282-6)
- Dehghani, F., Golbabaie, F., Zakerian, S. A., Omidi, F., & Mansournia, M. A. (2018). Health risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) in a painting unit of an automotive industry. *Journal of Health and Safety At Work*, 8(1), 55+.
- Garg, A., Gupta, N. C., & Tyagi, S. K. (2019). Study of seasonal and spatial variability among benzene, toluene, and p-Xylene (BTP-X) in ambient air of Delhi, India. *Pollution*, 5(1), 135-146. <https://doi.org/10.22059/poll.2018.260934.469>
- Getu, S., Shiferaw, E., & Melku, M. (2020). Assessment of hematological parameters of petrol filling workers at petrol stations in Gondar town, Northwest Ethiopia: a comparative cross-sectional study. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 25(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00886-1>
- Heibati, B., Godri Pollitt, K. J., Charati, J. Y., Ducatman, A., Shokrzadeh, M., Karimi, A., & Mohammadyan, M. (2018). Biomonitoring-based exposure assessment of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene among workers at petroleum distribution facilities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 149(October 2017), 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.070>
- Jaars, K., Vestenius, M., van Zyl, P. G., Beukes, J. P., Hellén, H., Vakkari, V., Venter, M., Josipovic, M., & Hakola, H. (2018). Receptor modelling and risk assessment of volatile organic compounds measured at a regional background site in South Africa. *Atmospheric Environment*, 172(October 2017), 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.047>
- Kakooei, H., Golhosseini, M. J., Shahtaheri, S. J., Azari, M. R., & Azam, K. (2013). Evaluation of Volatile Organic Compounds Levels inside Taxis Passing through Main Streets of Tehran. *International Journal of Occupational Hygiene*, 5(4), 152-158.
- Latif, M. T., Abd Hamid, H. H., Ahamad, F., Khan, M. F., Mohd Nadzir, M. S., Othman, M., Sahani, M., Abdul Wahab, M. I., Mohamad, N., Uning, R., Poh, S. C., Fadzil, M. F., Sentian, J., & Tahir, N. M. (2019). BTEX compositions and its potential health impacts in Malaysia. *Chemosphere*, 237, 124451. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124451>

- Loprieno, N. (1975). International Agency for Research on Cancer (IARC) monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man: "Relevance of data on mutagenicity." *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 31(3), 201. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90092-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90092-8)
- Maleki, R., Asadgol, Z., Kermani, M., Jonidi Jafari, A., Arfaeinia, H., & Gholami, M. (2020). Monitoring BTEX compounds and asbestos fibers in the ambient air of Tehran, Iran: Seasonal variations, spatial distribution, potential sources, and risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1781836>
- Masekameni, M. D., Moolla, R., Gulumian, M., & Brouwer, D. (2019). Risk assessment of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene concentrations from the combustion of coal in a controlled laboratory environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 95. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010095>
- Mohammadi, A., Ghassoun, Y., Löwner, M. O., Behmanesh, M., Faraji, M., Nemati, S., Toolabi, A., Abdollahnejad, A., Panahi, H., Heydari, H., & Miri, M. (2020). Spatial analysis and risk assessment of urban BTEX compounds in Urmia, Iran. *Chemosphere*, 246, 125769. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125769>
- Rahimi Moghadam, S., Afshari, M., Ganjali, A., & Moosazadeh, M. (2020). Effect of occupational exposure to petrol and gasoline components on liver and renal biochemical parameters among gas station attendants, a review and meta-analysis. *Reviews on Environmental Health*, 0(0). <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0107>
- Santiago, F., Lima, S., Antunes, S., Silvestre, R. T., Scherrer, L. R., Alves, G., Ribeiro-Carvalho, M. de M., & Ornellas, M. H. (2019). Immunophenotypic evaluation as a tool for monitoring risks for blood malignancies in gas station workers. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 20(7), 2109–2115. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2019.20.7.2109>
- Shahmohammadi, D., & Zeverdegani, S. K. (2018). Investigation of the Relationship between Inhaled Benzene , Toluene , Ethylbenzene , and Xylene Concentrations and the Urine Metabolites Levels in People Working at a Petrochemical Complex. 5(2), 46–54. <https://doi.org/10.21859/johe-5.2.46>
- Yari, S., Asadi, A. F., & Varmazyar, S. (2016). Assessment of semi-quantitative health risks of exposure to harmful chemical agents in the context of carcinogenesis in the latex glove manufacturing industry. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17(S3), 205–211. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2016.17.S3.205>

Health risk assessment of BTEX concentration of Gasoline Stations with vapor collection system on Workers in Isfahan

Azadeh Hasanpour¹, Farham Aminsharei^{2*}

1- Department of Chemical-Safety Engineering, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2* - Human Environment and Sustainable Development Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

*Email Address: aminsharei.fa@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to measure the concentration of BTEX compounds in gas stations with VRU, to compare the health of personnel working in gas stations with and without VRU system, to evaluate the health risk and carcinogenic and non-carcinogenic risk of BTEX in Isfahan. According to NIOSH1501 instructions, active sampling method was used, samples were collected by individual sampling pump and activated carbon adsorbent was used and finally the samples were collected for 75 minutes. BTEX compounds were extracted with carbon disulfide solvent and assayed by ion flame gas chromatography. BTEX values were lower than the maximum exposure in all fuel stations. Significance level in blood parameters less than 0.05, benzene carcinogenic risk in all cases and sites was lower than the allowable value and non-carcinogenic risk less than 1 was calculated.

Keywords

"Health Risk Assessment", "VRU Gas Station", "BTEX".

Goals:

The important issue that is examined in the present study is the current situation of fuel supply stations in Iran, the role of these stations on environmental pollution, health risk assessment of BTEX concentration and finally engineering and management measures. The idea is to reduce environmental risks in this process. Therefore, it was necessary to conduct this research to evaluate the risk in these positions and compare it with the positions that do not have this system, and briefly evaluate the strengths and weaknesses of each and use it to improve these systems as much as possible. Based on the above, health risk assessment of BTEX concentrations and staff exposure, measurement of BTEX concentrations in gas stations with VRU, calculation of carcinogenic or non-carcinogenic BTEX in gas station personnel and comparison of health of personnel working in gas stations With VRU system and without it in Isfahan is one of the objectives of the present study.

Method:

According to the guidelines provided by the Department of Occupational Health of Singapore, the degree of exposure to BTEX compounds can be determined based on the actual exposure of this study in 18 stations out of 11 stations with gasoline vapor recycling system (VRU) in Isfahan. After determining the stations, the health risk of BTEX compounds was assessed at the site. For this purpose, the method provided by the Department of Occupational Health of Singapore was used. Initially, a working group was formed consisting of the CEO of the company, the head of the study sites, an occupational health and safety expert, and the person in charge of monitoring. Preliminary evaluations showed that each single platform has 3 work shifts in which only 1 person (pump chi) is working in each shift. Then, according to the specificity of the studied chemicals (BTEX compounds in gasoline), the degree of danger of each of the mentioned compounds was determined. According to the method provided by the Department of Occupational Health of Singapore, the degree of risk was determined by lethal dose LD50 of chemicals or by using the toxic effects of chemicals. The hazard level (HR) of benzene is 5 according to the ACGIH classification in group A1 of carcinogens and the hazard grade of toluene, xylene or benzene is 3 and they are substances that are in group A3 according to ACGIH classification. After determining the degree of risk, the degree of exposure (ER) to BTEX compounds, based on actual exposure (based on the results of concentration measurements) (BTEX) was obtained by calculating the average weekly exposure from the following equation:

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \quad (1)$$

E: Weekly exposure in ppm (or mg / m³)

F: Number of encounters per week

D: Average exposure time in hours

M: exposure rate (same as the exposure concentration of the person resulting from air sampling (in ppm or mg / m³)

W: Average working hours per week (40 hours)

After calculating the average weekly exposure (E), the degree of exposure is determined. In the next step, the level of risk or risk score was determined according to the degree of danger (HR) and the degree of exposure to the chemical (ER) and using Equation (2).

$$RiskLevel = \sqrt{HR \times ER} \quad (2)$$

Then, for each of the BTEX compounds studied and for ranking each material in order to design control measures, risk rating was obtained using the risk rating table. Finally, using the risk rating matrix with its guide, it was determined that the lowest risk is related to the white area, which is insignificant and negligible, and the highest risk is related to the red zone and is very high risk.

- Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of BTEX compounds:
- Calculate carcinogenic risk:

In the present study, carcinogenic risk assessment for benzene and non-carcinogenic health risk assessment for all four BTEX compounds were performed using EPA method. Cancer risk was calculated using a single risk factor and non-cancer risk with reference concentrations. After determining the concentration of compounds in the air of the desired gas stations, the amount of chronic daily absorption was calculated to determine the assessment of cancer risk and non-cancer risk. Among BTEX compounds, benzene is classified as the definitive human category A carcinogen according to the IARC and EPA classifications. Therefore, carcinogenic risk assessment was performed for benzene and non-carcinogenic risk assessment was performed for all BTEX compounds. To assess the health risk associated with exposure to BTEX compounds, the average daily intake (ADI) through direct respiration was calculated using the following formula.

$$ADI = (CA \times IR \times ET \times ED \times EF / BW \times AT \times 365) \quad (3)$$

$$ELCR = ADI \times CSF \quad (4)$$

- Non-carcinogenic risk calculation:

In the next step, the amount of non-cancer risk was calculated using the following equation.

$$\text{Non-cancer Hazard Quotient (HQ)} = ADI / RfC \quad (5)$$

In this respect, the RfC concentration is equivalent to the reference value (mg.kg-1.day-1) as determined by the US EPA. If the HQ is > 1, the risk of non-carcinogenicity is high and unacceptable.

Non-cancerous risk is expressed as HQ, the value of which is calculated using equation (6):

$$HQ = \frac{ADI}{RfC} \quad (6)$$

CA: Air pollutant concentration (mg / m³)

ELCR: Lifetime risk of cancer

ADI: Chronic daily intake (mg / kg / day)

ET: Daily call duration (8 hours per day)

ED: Call duration (35 years)

IR: Breathing amount in 8 working hours (18.7m³ / day)

AT: Medium duration (carcinogenic: 70, non-carcinogenic 35)

CSF: Cancer slope factor (mg / kg / day)

SF Benzene: 0.029mg / kg / day

BW: Body weight (70 Kg)

RfC: Reference amount received by respiration (mg / m³) Table (6)

HQ: Non-cancerous risk

The samples of the present study were exposed to the air next to the fuel pumps and to the air of the working area of the working people. Model activated carbon adsorbent tubes (01-226) were used and samples were collected for 75 minutes. Before sampling, calibration with rotameter and electronic calibrator (Bios Defender-510) was used to regulate the flow of SKC pumps and sampling pumps were calibrated with a flow rate of 100 ml per minute. BTEX was then extracted with carbon disulfide solvent and assayed by Agilent6890 / FID (Gas chromatography-flame ionization detector) GC.

Conclusion:

The results of the present study showed that the concentration of BTEX compounds is less than the allowable exposure level and the personnel working in gasoline distribution stations with VRU system are in low levels of exposure to volatile organic compounds in gasoline. In all stations, the carcinogenic risk for benzene was lower than the allowable limit (10⁻⁴) and the non-carcinogenic risk of BTEX was (HQ < 1).

Keywords

"Health Risk Assessment", "VRU Gas Station", "BTEX".