مقاله پژوهشی

مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هشتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۳۹۱ تا ۴۰۰

ارزیابی خطر نیمه کمی و کمی سلامت ناشی از مواجهه استنشاقی کارگران جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر تهران با بنزن

مریم زارع جدی[۱]، مسعود یونسیان[۳،۲]، رضا احمدخانیها[۴]، هما کاشانی[۵]، نوشین راستکاری[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۱۹

چکیده:

زمینه و هدف: *یکی از عوامل آلودگی هوای محیط ترکیبات آلی فرار (VOCs) هستند. در بین گازهای غیر متان، ترکیبات آروماتیک مانند بنزن قرار دارند که به عنوان ترکیب قطعا سرطان‌زا برای انسان شناخته شده است (گروه ۱). با توجه به مضرات مواجهه با بنزن و کاربرد گسترده آن در صنایع و مشاغل مختلف، هدف از انجام این مطالعه ارزیابی احتمال خطر نیمه کمی و کمی مواجهه استنشاقی با بنزن در کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر تهران است.*

روش بررسی: *این مطالعه مقطعی در سه مرحله به شرح ذیل انجام شد. در مرحله اول بنزن هوای استنشاقی در دو گروه از افراد جامعه شامل ۱) کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری ۲) افراد عادی بدون مواجهه شغلی به عنوان گروه کنترل اندازه‌گیری شد. مرحله دوم شامل براورد میزان مواجهه هر دو گروه شرکت‌کننده در مطالعه و در ادامه ارزیابی خطر نیمه کمی حاصل از این مواجهه بود. در مرحله سوم به منظور ارزیابی خطر کمی، خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه مزمن با بنزن در طول زندگی محاسبه گردید.*

یافته‌ها: *میانگین غلظت بنزن در هوای استنشاقی کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت گیری حدود $۱۵۲۷\pm۲۴۶/۴\ \mu g/m^3$ و نزدیک به سطح مجاز بود ($۱۶۰۰\mu g/m^3$). در روش ارزیابی احتمال خطر نیمه کمی، ضریب ریسک محاسبه شده برای این میزان مواجهه شغلی با بنزن برابر با ۴/۵ بود که در پنجمین سطح ریسک (محدوده بسیار خطرناک) قرار دارد. با براورد مواجهه مزمن کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری با بنزن مشخص گردید که خطر سرطان در افراد مواجهه یافته ۲۷/۵ برابر افراد عادی بدون مواجهه است و در ارزیابی احتمال خطر کمی ریسک سرطان اضافی مشخص گردید که از هر ۱۰۰۰ نفر ۳ نفر از افراد شاغل در جایگاه سوخت‌گیری شانس ابتلا به سرطان را دارند که این عدد بسیار بیشتر از خطر قابل قبول سرطان‌زایی ($۱۰^{-۶}$: یک در یک میلیون نفر) است.*

نتیجه‌گیری: *نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که میزان مواجهه شغلی با بنزن بالا و در محدوده خطرناک قرار دارد و ارزیابی احتمال خطر نیمه کمی و کمی نشان داد که ریسک ابتلا به سرطان در اثر مواجهه استنشاقی افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری به طور بالقوه بسیار زیاد است (۳۰۰۰ برابر ریسک قابل قبول سرطان‌زایی). بنابراین انجام اقدامات کنترلی جهت کاهش مواجهه با این ماده شیمیایی خطرناک و سرطان‌زا الزامی است.*

واژگان کلیدی: *ارزیابی خطر، بنزن، احتمال سرطان‌زایی، ارزیابی مواجهه*

۱- پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- (نویسنده مسئول): مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران nr_rastkari@yahoo.com
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴- گروه اکولوژی انسانی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۵- گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

مقدمه

فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین علت انتشـار آلاینده‌ها به محیط زیست هسـتند و این مسـئله پیامدهای مختلفی را به زندگی انسان‌ها تحمیل می نماید. یکی از اصلی‌ترین پیامدها، مواجهه گروه‌های مختلف جامعه با انواع آلاینده‌های محیطی است که در دهه‌های اخیر به یکی از دغدغه‌های اصلی جوامع بشـری تبدیل شده اسـت. مواجهه انسان با انواع آلاینده‌های محیطی اثرات بهداشـتی متعـددی را دربردارد. الگـوی مواجهه افراد بـا آلاینده های محیطی بسـیار متفاوت و وابسـته به فرهنگ و عملکـرد آنها در جامعه اسـت. بر این اسـاس، مواجهه با آلاینده‌هـای محیطی به طـور عمده به دو صورت شـغلی و غیر شـغلی طبقه‌بندی می‌شوند. مواد شـیمیایی از اصلی‌ترین آلاینده‌های محیطی هسـتند و سـالیانه ۱۰۰۰ تـا ۲۰۰۰ ماده شـیمیایی ساخته شده توسط بشر وارد محیط زیست و چرخه زندگی انسان‌ها می‌شـود. افراد بیشماری در سراسر جهان در مشـاغل مختلف با مواد شـیمیایی متنوعی در تماس هستند. در محیط‌های شـغلی، ترکیبات آلی فرار یکی از عوامل اصلی آلوده‌کننـده هوا بوده و به علت سـرعت تبخیر بالا و انتشـار سـریع در محیـط پیرامون، باعث مواجهه بسـیاری از افراد و متعاقب آن اثرات جبران ناپذیر بر سـلامت آنان در مشـاغل گوناگـون می‌گردنـد (۱، ۲). بنـزن، از جملـه ترکیبات آلی فرار است که دارای سـرعت تبخیر بالایی بوده و در بین این ترکیبات از اهمیت بیشـتری برخوردار اسـت. بنزن از اجزای اصلی تشـکیل‌دهنده بنزیـن بوده و به عنـوان خطرناک‌ترین ماده موجود در بنزین شـناخته شده است. علاوه بر این، بنزن از اصلی‌ترین حلال‌های مورد اسـتفاده در صنایع در سراسـر جهان اسـت و به عنوان یک واسطه شیمیایی به طور گسترده در تولیدات پلاستیکی کاربرد دارد(۳). کاربرد گسترده از این ترکیب سـبب شده است که همیشـه در رابطه با اثرات بالقوه سـوء بهداشـتی مواجهه با بنزن در هـوا نگرانی‌هایی وجود داشته باشد به ویژه اینکه شواهد واضح و مبرهنی در رابطه با مواجهه با مقادیر کمتر از ppm ۱بنزن و اثرات هپاتوتوکسیک (سـمیت کبدی) وجـود دارد (۴، ۵) و علاوه بر این گزارش شـده است که مواجهه با بنزن در سـطوح نسبتا پایین ریسک ابتلا بـه سـندرم میلودیسپلاسـتیک (Myelodysplastic Syndromes - MDS) را نیز افزایش می‌دهد (۶). مواجهه کوتاه مدت با این ماده باعث اثراتی مانند تحریک و حسـاس شدن پوست و مشکلات سیسـتم اعصاب مرکزی (خستگی، سردرد، سرگیجه و از دست دادن تعادل) می‌گردد (۷). بیماری خونی، آسـیب سیسـتم ایمنی، اختلالات قاعدگی و تغییرات انـدازه تخمدان‌ها برخی از عوارض مواجهه بلند مدت با این ترکیب اسـت (۸) بـه طوری‌که طبق برآورد سـازمان جهانی بهداشت، ۶ نفر از هر یک میلیون نفر در صورت مواجهه با ۱ میلی گرم بر متر مکعب بنزن در معرض خطر ابتلا به سـرطان خون در طول عمر خود قرار می‌گیرند (۹). آژانس بین المللی تحقیقات سرطان وابسته به سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت از محیط زیسـت آمریکا بنزن را در دسـته ترکیبات صددرصد سـرطان‌زا برای انسـان (گروه ۱) قـرار داده‌اند و آژانس بین المللی تحقیقات سـرطان بر پایـه مطالعات مورد شـاهدی و کوهورت در جمعیت‌های انسانی، بنزن را مسبب ایجاد لوسـمی حاد میلوژنز Acute myeloid leukemia (AML) معرفی کرده اسـت (۱۰). سـازمان حفاظت محیط زیسـت آمریـکا نیز بنزن را بـه عنوان آلاینـده خطرناک هوا Hazardous air pollutants (HAPs) طبقه‌بندی کرده است (۱۱).

از جمله افرادی که در سطوح بالایی با ترکیبات بنزن در تماس هسـتند، افراد شـاغل در جایگاه‌های توزیع سـوخت هستند. ایـن افـراد در هنگام تخلیه بنزیـن از تانکر بـه داخل مخازن جایگاه‌هـای توزیع سـوخت، تمیز کـردن حوضچه مخازن و همچنیـن بازدید دسـتگاه‌ها و تجهیزات بـه دلیل عدم رعایت اصول ایمنی شـغلی از یک سو و در مجاورت پمپ‌ها به دلیل بی‌توجهی مصرف‌کنندگان در هنگام سـوخت‌گیری و سر ریز شـدن بنزین از باک اتومبیل از سـوی دیگر، به ویژه از طریق استنشاقی با سـطوح بالایی از بنزن در تماس هستند. علاوه بر عوامل مذکور، موقعیت جغرافیایی مکان سـوخت‌گیری و نیز تجهیـزات موجود در این جایگاه‌ها نیـز نقش مهمی در میزان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

مواجهه افراد با ترکیبات شیمیایی دارند به طوریکه بر اساس گزارش اتحادیه اروپا، میزان مواجهه با بنزن در جایگاه‌های مجهز به سیستم بازیافت بخارات نسبت به جایگاه‌های فاقد این سیستم کمتر است (۱۲).

با توجه به مضرات بهداشتی مواجهه با بنزن و از آنجا که این ترکیب به عنوان ماده قطعا سرطان‌زا برای انسان به شمار می‌آید در جهت صیانت از سلامت افراد جامعه، لازم است که مواجهه افراد با مواد شیمیایی و خطرات ناشی از این مواجهه مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به جستجوهای انجام شده با وجود مطالعات فراوان در زمینه اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با بنزن، مطالعات ارزیابی خطر بر اساس مواجهه واقعی در زمینه برآورد خطر ناشی از مواجهه مزمن و روزانه کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری با بنزن محدود و غالبا براساس مدل سازی‌های آماری است. بنابراین با توجه به شرایط نامناسب و پر مخاطره جایگاه‌های سوخت‌گیری و احتمال مواجهه کارگران شاغل در این جایگاه‌ها با غلظت‌های بالای بنزن در هوا، این مطالعه با هدف ارزیابی خطر سلامتی ناشی از مواجهه کارگران جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر تهران با بنزن به دو صورت نیمه کمی و کمی به منظور براورد احتمال خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه کارگران با بنزن و مقایسه نتایج این دو روش ارزیابی خطر انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری بنزن در هوای استنشاقی

این مطالعه مقطعی در ۴ جایگاه‌های توزیع سوخت بنزین تک منظوره شهر تهران و در تابستان ۱۳۹۳ انجام پذیرفت. جهت مطالعه جمعیتی ۸۰ نفر از افراد جامعه در ۲ گروه یکی بعنوان گروه در معرض مواجهه بالا با آلاینده بنزن (کارگران پمپ بنزین) و یک گروه بعنوان گروه کنترل (بدون مواجهه شغلی) مورد مطالعه قرار گرفتند. گروه کنترل را ۴۰ نفر از افراد عادی جامعه یعنی افرادی که شیفت کاری خود را بدور از ترافیک شهر در دفاتر اداری می‌گذرانند تشکیل دادند و ۴۰ کارگر شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری تک منظوره به عنوان افراد دارای مواجهه بالا وارد مطالعه شدند. افراد هر دو گروه در محدوده سنی ۴۰-۲۰ سال قرار داشتند و همگی مذکر و غیر سیگاری بودند که با مراجعه به جایگاه‌های سوخت‌گیری به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و نمونه‌گیری از افراد شاغل در جایگاه سوخت‌گیری در یک روز کاری یکسان انجام گرفت. کلیه افراد شرکت کننده ۸ ساعت در روز و ۶ روز در هفته کار می‌کردند. با استفاده از پمپ‌های مخصوص، نمونه هوای تنفسی در طول شیفت کاری جمع‌آوری گردید و میزان بنزن استنشاق شده توسط روش به کار گرفته در مطالعه Rastkari و همکاران (۲۰۱۵) اندازه‌گیری شد (۱۳).

ارزیابی خطر نیمه کمی

به منظور انجام ارزیابی خطر نیمه کمی ناشی از مواجهه کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری و افراد عادی بدون مواجهه شغلی با بنزن از روش ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور (۱۴) برای ارزیابی خطر بهداشتی مواجهه با عوامل زیان‌آور شیمیایی استفاده گردید که مراحل آن به شرح ذیل است:

۱- شناسایی مواد مخاطره‌آمیز

۲- تعیین ضریب مخاطره یا درجه خطر (HR: Hazard rate)

۳- تعیین ضریب یا درجه مواجهه (ER: Exposure Rating)

۴- تعیین ضریب خطر (RL: Risk Level)

۵- تعیین سطح ریسک (RR: Risk Rating)

تعیین ضریب مخاطره یا درجه خطر با توجه به مشخص بودن ماده شیمیایی مورد بررسی (بنزن) در جایگاه‌های سوخت‌گیری با توجه به میزان سمیت یا مخاطرات ناشی از این ماده توسط جدول ۱ تعیین گردید. در این جدول ماده مخاطره‌آمیز از طریق اثرات سمی یا عوارض زیان‌آور ماده شیمیایی دسته‌بندی می‌شوند (جدول شماره ۱).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

جدول ۱- تعیین درجه خطر از طریق اثرات سمی یا عوارض زیان‌آور

درجه خطر	توصیف اثرات مواد شیمیایی در تقسیم‌بندی مخاطرات مواد شیمیایی	مثال
۱	- موادی که هیچ گونه اثر بهداشتی شناخته شده‌ای ندارند و به عنوان ماده سمی یا زیان‌آور طبقه‌بندی نشده‌اند. - موادی که جزء ترکیبات سرطان‌زا برای انسان یا حیوان طبقه‌بندی نشده اند (گروه A5 در *ACGIH)	کلرید سدیم، بوتان، استات بوتیل، کربنات کلسیم
۲	- موادی که اثرات برگشت‌پذیر روی پوست، چشم و غشاء مخاطی دارند ولی اثراتشان آنقدر شدید نیست که بتواند اختلال جدی در انسان ایجاد کند. - موادی که ACGIH آنها را در طبقه A4 سرطان‌زاها قرار داده است.	استون، بوتان، اسید استیک (۱۰ درصد)، املاح باریوم و...
۳	- موادی که احتمالا برای انسان یا حیوان سرطانزا یا موتاژن هستند ولی اطلاعات کافی در این مورد وجود ندارد. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A3 سرطان‌زاها قرار داده است. - موادی که **IARC آنها را در گروه B2 قرار داده است. - مواد خورنده و حساس‌کننده سیستم تنفسی	تولوئن، گزیلن، اتیل بنزن، آمونیاک، بوتانول، استالدئید، آنیلین، آنتیموان
۴	- موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A2 سرطان‌زاها قرار داده است. - موادی که IARC آنها را در گروه A2 قرار داده است. - مواد خیلی خورنده (۲<PH> ۰ یا ۱۴ <PH< ۱۱/۵)	فرمالدئید، کادمیوم، متیلن کلراید، اتیلن اکساید آکریلونیتریل
۵	- موادی که اثر سرطان‌زایی، موتاژنی (جهش زایی) و تراتوژنی (ناقص الخلقه‌زایی) آنها شناخته شده است. - موادی که سازمان ACGIH آنها را در طبقه A1 سرطان‌زاها قرار داده است. - موادی که IARC آنها را در گروه A1 قرار داده است. - مواد شیمیایی خیلی سمی	بنزن، بنزیدین، سرب، آرسنیک، برلیوم، برومین، ونیل کلراید، جیوه

*ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists
**IARC: International Agency for Research on Cancer

به منظور تعیین درجه مواجهه (ER) با استفاده از سطح مواجهه واقعی (نتایج اندازه‌گیری آلاینده در هوا)، در ابتدا میانگین وزنی-زمانی هفتگی مواجهه با استفاده از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$E = (F \times D \times C)/W$$

که در آن:

E= میزان مواجهه هفتگی ($\mu g/m^3$)

F= تعداد دفعات مواجهه در هفته (روز در هفته)

C= غلظت آلاینده ($\mu g/m^3$)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

W= میانگین ساعت کاری در هفته (۴۰ ساعت/ هفته)

D= میانگین زمان هر مواجهه (ساعت/ روز)

پس از محاسبه میانگین مواجهه هفتگی (E) بر حسب $\mu g/m^3$، درجه مواجهه با استفاده از جدول ۲ مشخص گردید.

جدول ۲- تعیین درجه مواجهه

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

PEL (Permissible Exposure Limit): مقادیر مجاز برای مواجهه بلند مدت

تعیین سطح خطر (RL: Risk Level)

نمره خطر یا سطح خطر با توجه به ضریب مخاطره ماده شیمیایی (HR) و درجه مواجهه (ER) با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردید:

$$\text{Risk Level} = \sqrt{HR \times ER}$$

بعد از محاسبه سطح ریسک، رتبه‌بندی ریسک (Risk Rating) با استفاده از جدول ۳ انجام شد.

جدول ۳- ماتریس ارزیابی خطر مربوط به آلاینده‌های شیمیایی

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

خطر ناچیز خطر کم خطر متوسط

خطر بالا خطر بسیار بالا (بحرانی)

ارزیابی کمی ریسک سرطان اضافی در طول عمر

در ادامه به منظور برآورد احتمال خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه مزمن با بنزن در طول عمر از طریق فرمول ذیل میزان مواجهه مزمن در طول عمر (LADD: Lifetime Average Daily Dose) افراد با بنزن محاسبه گردید.

$$LADD = \frac{C \times ED \times EF \times IR}{BW \times AT}$$

که در آن :

C (Contaminant concentration)= میانگین غلظت آلاینده در هوای تنفسی بر حسب ($\mu g/m^3$)

ED (Exposure duration) = مدت زمان مواجهه (سال)

EF (Exposure frequency)= فراوانی مواجهه (روز/سال)

IR (Inhalation rate) = میزان تنفس روزانه ($۲۰ m^3/day$)

BW (Body weight) = وزن بدن فرد بالغ (به طور متوسط ۷۰ kg)

AT (Averaging time) = زمان متوسط مواجهه (روز: برای ترکیبات سرطان‌زا ۳۶۵ روز ×۷۰ سال)

در ادامه پس از براورد مواجهه مزمن در طول عمر، ریسک سرطان اضافی ناشی از این مواجهه با استفاده از فرمول ذیل براورد گردید:

Excess lifetime Cancer Risk (ELCR) = LADD × Cancer Slope Factor

فاکتور خطر تنفسی (Inhalation slope factor (ISF)) برای بنزن توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا $(mg/kg/day)^{-1}$ ۰/۰۲۷۳ تعیین شده است (۱۵).

یافته‌ها

میانگین و محدوده غلظت بنزن در هوای استنشاقی کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری و افراد عادی به عنوان گروه کنترل در جدول ۴ گزارش شده است. سازمان (American Conference of Governmental ACGIH Industrial Hygienists) سطح مجاز مواجهه شغلی با بنزن در محیط کار را ۰/۵ ppm یا $۱۶۰۰ \mu g/m^3$

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

(8-hour -TWA) گزارش کرده است که عبارت است از متوسط غلظت مجاز ماده شیمیایی در ۸ ساعت کار روزانه و ۴۰ ساعت کار در هفته به طوری که مواجهه مستمر و روز به روز با این مقدار تقریبا در کلیه کارگران باعث ایجاد عارضه نامطلوبی نگردد (۱۶). همان طور که ملاحظه می‌شود میانگین غلظت بنزن در جایگاه‌های سوخت‌گیری نزدیک به حدود مجاز پیشنهاد شده، به دست آمده است.

جدول ۴- غلظت بنزن موجود در هوای استنشاقی کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری و گروه کنترل در یک شیفت کاری ($\mu g/m^3$)

گروه مورد مطالعه	تعداد	انحراف معیار ± میانگین	محدوده غلظت
افراد شاغل در جایگاه سوخت‌گیری	۴۰	۱۵۲۷±۲۴۶/۴	۴۰۱/۳-۲۹۷۸
گروه کنترل	۴۰	۵۷/۶±۰/۸	۱۲/۶-۱۵۳

به منظور براورد خطر نیمه کمی ناشی از مواجهه با بنزن در کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری اولین گام تعیین درجه خطر ماده مورد نظر است. در رابطه با بنزن طبق اطلاعات سم‌شناسی درج شده در جدول ۱ بر اساس روش ارائه شده توسط واحد ایمنی و بهداشت وزارت کار سنگاپور و دز کشنده برابر با ۹۴۰۰ mg/m^3، درجه خطر بنزن برابر با ۵ (بسیار خطرناک) است (HR=5). در گام بعدی میانگین مواجهه هفتگی با بنزن در کارگران شاغل در جایگاه های سوخت برای ۶ روز کاری و ۸ ساعت کار در روز برابر با ۱۸۳۲/۴ $\mu g/m^3$ براورد گردید. به منظور تعیین درجه خطر، مقادیر بدست آمده با حدود مجاز مواجهه مقایسه گردید و بر اساس جدول ۲ مشخص گردید که درجه مواجهه افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری و افراد عادی به ترتیب برابر با ۱/۱۴۶ (گروه ۴= خطر بالا) و ۰/۰۴۳ (گروه ۱= خطر کم) است.

با ادغام نتایج بدست آمده از مرحله تعیین درجه خطر و نیز تعیین درجه مواجهه سطح ریسک محاسبه شده برای کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری برابر با ۴/۴۷ بود که طبق جدول ماتریس رتبه‌بندی ریسک در محدوده مواجهه با خطر بسیار بالا و بحرانی قرار دارند. سطح ریسک محاسبه شده برای افراد عادی نیز در محدوده با خطر کم (۲/۲) قرار داشت. به منظور براورد احتمال خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه با بنزن میزان مواجهه مزمن با بنزن محاسبه گردید. بر این اساس میزان مواجهه مزمن روزانه با بنزن ۱۱۹/۵۳ $\mu g/kg/day$ تخمین زده شد. باتوجه به عدد حاصله ریسک سرطان اضافی ناشی از این مقدار مواجهه روزانه با بنزن برای افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری برابر با $3/3 \times 10^{-3}$ بود درحالی‌که برای افراد عادی جامعه ریسک اضافی سرطان برابر با $1/2 \times 10^{-4}$ محاسبه گردید (جدول ۵).

جدول ۵- ارزیابی ریسک نیمه کمی و کمی مواجهه استنشاقی کارگران شاغل و افراد عادی (کنترل) در جایگاه‌های سوخت با بنزن

ارزیابی نیمه کمی خطر مواجهه با بنزن	افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت	میانگین مواجهه در هفته ($\mu g/m^3$)	۱۸۳۲/۴
		ضریب ریسک	۴/۵
	افراد عادی (بدون مواجهه شغلی)	میانگین مواجهه در هفته ($\mu g/m^3$)	۶۹/۱۲
		ضریب ریسک	۲/۲
ارزیابی کمی احتمال خطرسرطان‌زایی مواجهه با بنزن	افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت	مواجهه مزمن روزانه بر حسب وزن بدن($\mu g/kg/day$)	۱۱۹/۵
		ریسک کمی سرطان	$3/3 \times 10^{-3}$
	افراد عادی (بدون مواجهه شغلی)	مواجهه مزمن روزانه بر حسب وزن بدن($\mu g/kg/day$)	۴/۵۱
		ریسک کمی سرطان	$1/2 \times 10^{-4}$

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میانگین غلظت بنزن در جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر تهران ۴/۵٪ با حد مجاز پیشنهاد شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور (۰/۵ ppm) فاصله دارد. البته میزان مواجهه با بنزن در ۹ نفر از افراد شرکت‌کننده در مطالعه بیش از حد مجاز بود. مطالعات محدودی در زمینه اندازه‌گیری بنزن در جایگاه‌های سوخت‌گیری انجام شده است. بر اساس نتایج حاصل از تنها مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ در ۳۵ ایستگاه پمپ بنزین در شهر یزد انجام شده است میانگین غلظت بنزن برابر با ۱۹۲۰ $\mu g/m^3$ گزارش شده که در مقایسه با نتایج مطالعه حاصل بیشتر بوده و ۲۰٪ نیز از حد مجاز اعلام شده (۰/۵ ppm) تجاوز نمود (۱۷).

با توجه به مقادیر بنزن بدست آمده در هوای تنفسی افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری و افراد عادی بدون مواجهه شغلی با بنزن، ارزیابی خطر نیمه کمی و کمی انجام شد. در ارزیابی خطر نیمه کمی در نهایت سطح خطر موجود گزارش می‌شود که در این مطالعه براساس نتایج حاصل از ارزیابی نیمه کمی ریسک محیط‌های شغلی مشخص گردید که رتبه ریسک افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری از نظر مواجهه با بنزن در محدوده بسیار خطرناک و بحرانی (ضریب ریسک ۴/۵) قراردارد. این مسئله می‌تواند ناشی از چندین عامل مختلف از جمله تهویه نامناسب جایگاه، عدم نصب سیستم بازیافت بخارات بنزین در هنگام سوخت‌گیری و یا غیر فعال بودن آنها، عدم رعایت اصول ایمنی شغلی و نیز کیفیت نامناسب بنزن به دلیل بالا بودن غلظت بنزن در سوخت باشد که تمامی این عوامل می‌توانند در افزایش میزان مواجهه با بنزن و سایر ترکیبات آلی فرار موجود در بنزین نقش مهمی داشته باشند. در مطالعه‌ای که توسط Golbabaie و همکاران در سال ۲۰۱۲ درصنایع پتروشیمی انجام شد از میان ۴۰ ماده شیمیایی مورد مطالعه بنزن به عنوان مخاطره‌آمیزترین ماده شیمیایی معرفی گردید و با کسب ضریب ریسک ۵-۴/۵ در سطح ریسک بسیار خطرناک و بحرانی قرار داشت (۱۸). با توجه به اینکه سطح ریسک محاسبه شده برای افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری در محدوده بسیار خطرناک قرار داشت به منظور ارزیابی اثرات سلامتی ناشی از این مواجهه و به دلیل اینکه بنزن در دسته ترکیبات قطعا سرطان‌زا برای انسان قرار دارند ریسک کمی سرطان‌زایی بنزن نیز محاسبه گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ریسک ابتلا به سرطان در افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری ۲۷/۵ برابر افراد عادی جامعه است و به طور تقریبی از هر ۱۰۰۰ نفر ۳ نفر از افراد شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری شانس ابتلا به سرطان را دارند. مطالعات اپیدمیولوژیک صورت گرفته نیز میزان بالایی از مرگ و میر ناشی از سرطان در شاغلین جایگاه‌های سوخت‌گیری را گزارش کرده‌اند. این در حالی است که هیچ حد ایمنی برای بنزن از نظر سرطان‌زایی نمی‌توان گزارش کرد زیرا در غلظت‌های پایین مواجهه با بنزن نیز ریسک ابتلا به سرطان وجود دارد و با افزایش میزان مواجهه، ریسک ابتلا به سرطان افزایش می‌یابد. برای این دسته از ترکیبات توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا حد تقریبا ایمن در نظر گرفته می‌شود که در محدوده 10^{-4} تا 10^{-6} است. همانطور که در جدول ۵ گزارش شده است ریسک سرطان اضافی در اثر مواجهه با بنزن در مواجهه شغلی بسیار بیشتر از محدوده تقریبا ایمن است در حالی‌که در افراد عادی تا حدودی از حد بالای این محدوده (10^{-4}) بیشتر است.

در زمینه ارزیابی ریسک سرطان اضافی در کارگران شاغل در جایگاه‌های سوخت‌گیری در ایران مطالعه‌ای یافت نشد ولی مطالعه‌ای مشابه در سال ۲۰۱۵ در کارمندان ایستگاه اتوبوس‌رانی در افریقای جنوبی که جز کشورهای درحال توسعه است توسط Moolla و همکاران انجام شد و نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به طور متوسط ریسک اضافی ابتلا به سرطان با توجه به میانگین مواجهه مزمن روزانه با بنزن ($1/38\times10^{-3}$ mg/kg/day) برابر با $3/78\times10^{-4}$ است. این بدین معنی است که به طور تقریبی از هر ۱۰۰۰۰ نفر ۴ نفر از کارکنان شاغل در ایستگاه اتوبوس‌رانی شانس ابتلا به سرطان را دارد. در این مطالعه ریسک ابتلا به سرطان در همه کارکنان اتوبوسرانی بیش از حد تقریبا ایمن اعلام شده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا بود (۱۹). سایر مطالعات موجود در زمینه ارزیابی ریسک سرطان‌زایی بنزن گزارش کرده‌اند که ریسک سرطان در گروه‌های مواجهه یافته با بنزن به در اغلب موارد از حد 10^{-6} تجاوز می‌کند که این مسئله می‌تواند به دلیل کاربرد گسترده بنزن در صنایع باشد (۲۰-۲۳). در این رابطه Gue و همکاران گزارش کرده‌اند که مواجهه تنفسی با بنزن در حدود بیش از ۴۰٪ از ریسک‌های سرطان در محیط‌های داخلی را به خود اختصاص می‌دهد (۲۴). علاوه بر این نتایج حاصل از مطالعات نشان داده‌اند که بر اثر مواجهه مداوم و مستمر با بنزن ریسک سرطان‌زایی و نیز ریسک عوارض غیر سرطان‌زایی به طور تصاعدی افزایش می‌یابد، به ویژه برای پرسنلی که حدودا ۳۰ سال در آن حرفه مشغول فعالیت هستند (۱۹). بر اساس مطالعه‌ای که توسط Karakitsios و همکاران در سال ۲۰۰۷ در یونان انجام شد مشخص گردید که ریسک ابتلا به سرطان در جمعیت عمومی که محل زندگی آنها نزدیک جایگاه‌های سوخت‌گیری است از ۳٪ به ۲۱٪ افزایش پیدا می‌کند (۲۵). بنابراین از آنجا که اغلب پایگاه‌های سوخت‌گیری در سطح شهر پراکنده هستند و اطراف آنها خانه‌های مسکونی وجود دارد توجه به مسائل ایمنی در جایگاه‌های سوخت‌گیری علاوه بر تامین سلامت کارمندان و کارگران به منظور صیانت از سلامت سایر شهروندان از اهمیت بسزایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این مسئله است که اگرچه میانگین مواجهه شغلی با بنزن کمتر از حد مجاز شغلی است ولی براورد اثرات بلند مدت ناشی از این مواجهه استنشاقی با بنزن نشان می‌دهد که این میزان مواجهه با ترکیب بسیار خطرناک بنزن در حد ایمن نبوده و ریسک ابتلا به سرطان را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. لذا توجه به ایمنی جایگاه‌های سوخت‌گیری بسیار حائز اهمیت بوده و نیازمند انجام اقدامات کنترلی مناسب در راستای کاهش میزان مواجهه افراد جامعه با این ماده شیمیایی بسیار مخاطره‌آمیز و سرطان‌زا است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران در سال ۱۳۹۰ با کد ۱۹۸۱۹ است. بدین وسیله از پژوهشکده محیط زیست برای تامین هزینه‌های این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Badjagbo K, Loranger S, Moore S, Tardif R, Sauve S. BTEX exposures among automobile mechanics and painters and their associated health risks. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2010;16(2):301-16.
2. Soldatos AP, Bakeas EB, Siskos PA. Occupational exposure to BTEX of workers in car parkings and gasoline service stations in Athens, Greece. Fresenius Environmental Bulletin. 2003;12:1064-70.
3. Wilbur S, Wohlers D, Paikoff S, Keith L, Faroon O. ATSDR evaluation of health effects of benzene and relevance to public health. Toxicology and Industrial Health. 2008;24(5-6):263-398.
4. Qu Q, Shore R, Li G, Jin X, Chi Chen L, Cohen B, et al. Hematological changes among Chinese workers with a broad range of benzene exposures. American Journal of Industrial Medicine. 2002;42(4):275-85.
5. Lan Q, Zhang L, Li G, Vermeulen R, Weinberg RS, Dosemeci M, et al. Hematotoxicity in workers exposed to low levels of benzene. Science. 2004;306(5702):1774-76.
6. Schnatter AR, Glass DC, Tang G, Irons RD, Rushton L. Myelodysplastic syndrome and benzene exposure among petroleum workers: an international pooled analysis. Journal of the National Cancer Institute. 2012;104(22):1724-37.
7. Bahadar H, Mostafalou S, Abdollahi M. Current understandings and perspectives on non-cancer health effects of benzene: A global concern. Toxicology and Applied Pharmacology. 2014;276(2):83-94.
8. Bassig BA, Friesen MC, Vermeulen R, Shu X-O, Purdue MP, Stewart PA, et al. Occupational exposure

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

to benzene and non-Hodgkin lymphoma in a population-based cohort: the shanghai women's health study. Environmental Health Perspectives. 2015; 123(10):971-77.
9. Krzyzanowski M, Cohen A. Update of WHO air quality guidelines. Air Quality, Atmosphere & Health. 2008;1(1):7-13.
10. IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100f, Benzene. France: International Agency for Research on Cancer; 2012.
11. USEPA. The Clean Air Act amendments of 1990, list of hazardous air pollutants. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1990.
12. Federal Institute for Occupational Safety and Health Notifiation Unit. European Union risk assessment report, Benzene. Dortmund, Germany: Federal Institute for Occupational Safety and Health Notifiation Unit; 2008.
13. Rastkari N, Izadpanah F, Yunesian M. Exposure to benzene in gas station workers: environmental and biological monitoring. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(2):163-70 (in Persian).
14. Tang TK, Siang LH, Koh D. The development and regulation of occupational exposure limits in Singapore. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2006;46(2):136-41.
15. Edokpolo B, Yu QJ, Connell D. Health Risk Assessment for Exposure to Benzene in Petroleum Refinery Environments. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015;12(1):595-610.
16. ACGIH. Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial; 2011.
17. Mosaddegh Mehrjerdi MH, Tahmasebi N, Barkhordari Firoozabadi A, Fallahzadeh H, Esmaielian S, Soltanizadeh K. The investigation of exposure to benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) with Solid Phase Microextr action Method in gas station in Yazd Province. Iranian South Medical Journal. 2014;16(6):419-27 (in Persian).
18. Golbabaie F, Eskandari D, Rezazade Azari M, Jahangiri M, Rahimi M, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. Iran Occupational Health Journal. 2012;9(3):11-21 (in Persian).
19. Moolla R, Curtis CJ, Knight J. Occupational exposure of diesel station workers to BTEX compounds at a bus depot. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015;12(4):4101-15.
20. Lerner JC, Sanchez E, Sambeth J, Porta A. Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina. Atmospheric Environment. 2012;55:440-47.
21. 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. Science of the Total Environment. 2014;473:537-48.
22. Huang L, Mo J, Sundell J, Fan Z, Zhang Y. Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing. PLoS One. 2013;8(11):e79553.
23. Wiwanitkit V. Estimating cancer risk due to benzene exposure in some urban areas in Bangkok. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2008;22(1):135-37.
24. Guo H, Lee S, Chan L, Li W. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. Environmental Research. 2004;94(1):57-66.
25. Karakitsios SP, Delis VK, Kassomenos PA, Pilidis GA. Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations: Estimation of the associated health risk. Atmospheric Environment. 2007;41(9):1889-902.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]

Semi-Quantitative and Quantitative Health Risk Assessment of Gas Station Workers Exposure to Benzene

M. Zare Jeddi[1], M. Yunesian[2,3], R. Ahmadkhaniha[4], H. Kashani[5], N. Rastkari[2,*]

[1]Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[2]Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[3]Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[4]Department of Human Ecology, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[5] Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 19 August 2015; Accepted: 10 November 2015

ABSTRACT

Background and Objective: One of the air pollutants is volatile organic compounds (VOCs). Benzene, as a part of petrol, is a VOC, known to be carcinogenic to human beings (Group 1) and it has widespread application in various industries and professions. Hence, the aim of the present study was semi-quantitative and quantitative health risk assessment of petrol bank workers exposure to benzene via inhalation in the Tehran, Iran.

Material and method: For these purpose, this descriptive cross-sectional study was conducted in three stages. First stage consisted of measurement of benzene in two groups of participants: (1) petrol bank workers and (2) non-exposed people as control group. The second stage included the evaluation of worker's exposure to benzene and semi-quantitative risk assessment, and the third stage was estimating the lifetime cancer risk caused by exposure to benzene.

Results: Benzene mean concentration was near the threshold limit value (1600 $\mu g/m^3$) and the mean benzene personal air level was 1527±246.4 $\mu g/m^3$ in the petrol bank areas. With regard to semi-quantitative risk assessment method**,** benzene introduced as the most hazardous chemical with risk ratio of 4.5 has 5th rank in risk levels (Extremely dangerous). Lifetime cancer risk estimation showed that in petrol bank workers the excess lifetime cancer risk was 27.5 times higher than unexposed group and the chance of cancer was one in a 1000 petrol bank workers.

Conclusion: This study indicates that petrol bank workers in Tehran have a potentially high cancer risk through inhalation exposure. Thus, preventative actions regarding to this hazardous and carcinogenic chemical must be started as soon as possible.

Keyword: Risk Assessment, Benzene, Carcinogenicity, Exposure

***Corresponding Author:** *nr_rastkari@yahoo.com*
***Mob:** *+982188978395*

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-25]