

ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی مواجهه با ترکیبات آلی فرار (BTEX) با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو در یک صنعت فولاد

فریبرز امیدی^۱ - رضا علی فلاح زاده^۲ - فاطمه دهقانی^۲ - بهرام هراتی^۲ - سعید براتی چمگردانی^۴ - وحید غریبی^{۵*}

gharibivahid@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳

مکیده

مقدمه: کارگران صنایع تولید فولاد به طور گسترده با ترکیبات آلی فرار مواجهه دارند. با توجه به اثرات بهداشتی این ترکیبات، هدف از این مطالعه تعیین میزان مواجهه شغلی با ترکیبات BTEX و هم چنین ارزیابی ریسک سرطان زایی ناشی از بنزن و غیر سرطان زایی این ترکیبات در یک صنعت فولاد بوده است.

روش کار: این مطالعه مقطعی در واحد تولید کک یک صنعت تولید فولاد انجام شد. پس از جمع آوری نمونه های فردی از منطقه تنفسی کارگران و تجزیه ی آن با دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به آشکار ساز یونش شعله ای (GC-FID) مطابق روش شماره ۱۵۰۱ انسیتوی ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH 1501)، میزان مواجهه با ترکیبات BTEX به صورت کمی تعیین شد. در مرحله ی بعد، با استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو ریسک سرطان زایی برای بنزن و ریسک غیر سرطان زایی برای ترکیبات BTEX محاسبه گردید.

یافته ها: نتایج آنالیز نمونه ها نشان داد که مقدار غلظت بنزن در بخش های انرژی و بیوشیمی و تصفیه بنزول بیش تر از حد مجاز مواجهه شغلی می باشد. در بین واحدهای مطالعه شده، بخش تصفیه بنزول به عنوان آلوده ترین بخش، دارای بالاترین غلظت از ترکیبات BTEX بود. ریسک غیر سرطان زایی برای کلیه ترکیبات BTEX در تمام بخش های مورد مطالعه کوچک تر از یک به دست آمد. مقدار ریسک سرطان زایی برای بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی، تصفیه بنزول و کوره آزمایشی بالاتر از حداکثر مقدار قابل قبول تعیین شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) می باشد.

نتیجه گیری: با توجه به بالا بودن غلظت بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی و تصفیه بنزول و هم چنین بالا بودن ریسک سرطان زایی آن، بهبود سیستم های کنترلی موجود و به کار گیری سیستم های کنترلی فنی و مهندسی پیشرفته برای کنترل میزان مواجهه شغلی الزامی است.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک بهداشتی، BTEX، صنعت فولاد، روش شبیه سازی مونت کارلو

- ۱- کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات عوامل محیطی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
- ۲- کارشناس ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
- ۳- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۵- کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران

مقدمه

در تولید فولاد فرآیند های مختلفی نقش دارند. این فرآیندها شامل کوره کک، سینترینگ^۱، کوره انفجاری، کوره اکسیژن^۲، کوره قوس الکتریکی، ریخته گری و نورد می باشد (۱). در بین فرآیندها و واحدهای ذکر شده، واحد تولید کک به عنوان یکی از اصلی ترین واحدهای آلوده کننده می باشد. این آلاینده ها زمانی ایجاد می شوند که ذغال به داخل کوره کک تغذیه شده و در دماهای بالا حرارت داده می شود. مطالعات قبلی نشان می دهد که هیدروکربن های آلی منتشر شده از کوره های کک از آلاینده های اصلی این واحد می باشند. بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن از ترکیبات آلی فرار اصلی منتشر شده از واحد تولید کک می باشند (۲، ۳). تقریباً در بیش تر مطالعاتی که به منظور شناسایی کیفی ترکیبات آلی فرار در صنایع فولاد انجام شده است، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در بین سایر آلاینده های شناسایی شده اند (۱، ۴). سازمان جهانی بهداشت (WHO) این گروه از ترکیبات آلی فرار را در دسته ی آلاینده های خطرناک هوا تقسیم بندی کرده است (۵). آژانس بین المللی تحقیق بر روی سرطان (IARC) و هم چنین آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) بنزن را به عنوان سرطان زای قطعی انسانی تقسیم بندی کرده است (۶، ۷). هم چنین مواجهه طولانی مدت با بنزن باعث تاثیر بر روی سیستم های خون ساز، عصبی و تولید مثل می شود. علاوه بر این، مواجهه طولانی مدت با تولوئن و اتیل بنزن با اثرات نامطلوب بر روی سیستم عصبی مرکزی، دستگاه تولید مثل و کلیه ها ارتباط دارد (۸).

مواجهه گسترده در صنعت با ترکیبات آلی فرار و هم چنین افزایش نگرانی در مورد اثرات نامطلوب بهداشتی این ترکیبات سبب شده تا ارزیابی ریسک به عنوان یک ابزار مفید و با رویکردی پیش گیرانه به منظور اهداف نظارتی مورد استفاده قرار گیرد. به طور خلاصه، "ارزیابی ریسک را به عنوان تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوه مواجهه انسانی با خطرات محیطی تعریف می کنند" (۹). برای برآورد ریسک، تعیین مواجهه افراد و ترکیب داده های به دست آمده مواجهه و دوز-پاسخ مواد شیمیایی ضروری است. روش های مختلفی برای برآورد مواجهه افراد با مواد شیمیایی وجود دارد که اندازه گیری مستقیم تراکم آلاینده ها در منطقه تنفسی افراد معتبرترین روش برای ارزیابی مواجهه است (۱۰). در طی سال های گذشته مطالعات متعددی جهت برآورد ریسک مواجهه با آلاینده های هوای انجام شده است. نتایج مطالعه دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ بیان گر بالابودن ریسک سرطان زایی بنزن و اتیل بنزن و هم چنین ریسک غیر سرطان زایی بنزن و زایلن بود (۱۱). مطالعه Ramírez و همکاران نشان داد که ریسک سرطان زایی ترکیبات آلی فرار بالاتر از مقدار توصیه شده است (۱۲). در مطالعه ای که به منظور ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات آلی در سه مدرسه ابتدایی انجام شد، ریسک قابل توجهی برای فرمالدهید به دست آمد (۱۳). نتایج اکثر مطالعات مشابه دیگری که به منظور برآورد ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با آلاینده ها در محیط های مختلف انجام شده است، بیان گر ریسک قابل توجهی می باشد (۱۴، ۱۵).

با توجه به مطالب فوق، ارزیابی ریسک یک ابزار ضروری برای پیش بینی اثرات نامطلوب بهداشتی مواجهه با ترکیبات شیمیایی می باشد. بنابراین، این

1- Sintering
2- Basic oxygen furnace

مطالعه با هدف اندازه گیری مواجهه شغلی با ترکیبات BTEX در واحد کک یک صنعت تولید فولاد و هم چنین ارزیابی ریسک سرطان زایی بنزن و غیر سرطان زایی ترکیبات BTEX با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو انجام شد.

شیشه ای ۱ میلی لیتری دارای درپوش PTFE برای ساخت محلول های استاندارد و از سرنگ ۱ میکرولیتری ساخت شرکت هامیلتون (Hamilton) برای تزریق نمونه ها به دستگاه بهره برداری گردید.

روش نمونه برداری و آنالیز نمونه ها

نمونه برداری از ترکیبات BTEX از هوای منطقه تنفسی شاغلین واحد تولید کک از طریق تشکیل گروه های دارای مواجهه همسان (SEGs) انجام شد. در مجموع، برای تعیین میزان مواجهه شاغلین واحد تولید کک، ۵۰ نمونه فردی از هوای منطقه تنفسی شاغلین بخش های مختلف این واحد اخذ شد. به همین منظور، در ابتدا با استفاده از پمپ نمونه برداری فردی کالیبره شده و جاذب ذغال فعال به عنوان مدیای جمع آوری کننده، نمونه برداری از ترکیبات آلی فرار از منطقه تنفسی کارگران شاغل در واحد تولید کک انجام شد. دبی نمونه برداری ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه و نمونه برداری در طول کل شیفت کاری بین ساعت ۸ صبح تا ۱۶ انجام شد و برای جلوگیری از اشباع جاذب، مدت زمان نمونه برداری برای هر جاذب بین ۲ تا ۳ ساعت در نظر گرفته شد. پس از اتمام نمونه برداری، هر دو طرف لوله های جاذب با درپوش های پلاستیکی مهر و موم شد و نمونه ها بلافاصله در کیسه یخ (Cool box) نگه داری و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. مطابق روش ۱۵۰۱ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت حرفه ای (NIOSH 1501)، با اضافه کردن 1mL دی سولفید کربن به قسمت جلویی و عقبی هر کدام از لوله های جاذب ذغال فعال، که قبلا داخل ویال های جداگانه شیشه ای ۱ میلی لیتری ریخته شده بودند، استخراج انجام شد. پس از اضافه کردن دی سولفید کربن به ویال ها،

روش کار

محل مطالعه و جمعیت در معرض مواجهه

این مطالعه مقطعی در سال ۱۳۹۶ بر روی ۳۷۲ نفر از کارکنان واحد تولید کک یک صنعت تولید فولاد انجام شد. واحد کک دارای بخش های مختلفی است که مهم ترین آن ها شامل انرژی و بیوشیمی، کوره آزمایشی، تصفیه ی بنزول، باتری و بازیافت مواد می باشد.

مواد و تجهیزات

مواد شیمیایی مورد نیاز شامل استانداردهای بنزن، تولون، زایلن و اتیل بنزن و هم چنین دی سولفید کربن (۹۹/۵٪) از شرکت سیگما-آلدریچ (Sigma-Aldrich) تهیه گردید. جهت نمونه برداری از پمپ نمونه برداری فردی کالیبره شده ساخت شرکت SKC و ذغال فعال ۱۵۰ میلی گرمی با منشا پوست نارگیل (SKC Inc., PA, USA) استفاده شد. هم چنین آنالیز نمونه ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل CP-3008Varian مجهز به آشکار ساز یونش شعله ای (GC-FID) دارای ستون موئین (Chrompack capillary column CP-Sil 13 CB) با طول ۲۸ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر انجام گردید و از گازهای هلیوم، هیدروژن و اکسیژن به ترتیب به عنوان گاز های حامل، سوزنده و سوزاننده استفاده شد. هم چنین از میکروپیت، ویال های

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

در این فرمول، ADI، مقدار متوسط دریافتی آلاینده از طریق تنفس $mg \cdot kg^{-1} \cdot day^{-1}$ ، CA غلظت آلاینده $mg \cdot m^{-3}$ ، IR مقدار تنفس در ۸ ساعت کاری ($m^3 \cdot workinghours^{-1}$) که برابر $20 \cdot m^3 \cdot day^{-1}$ برای بزرگسالان می باشد، ET زمان تماس $hour \cdot day^{-1}$ که در این مطالعه برابر ۸ ساعت می باشد، EF دوره یا فرکانس تماس $day \cdot year^{-1}$ و ED تعداد سال های تماس $year$ می باشد. پس از محاسبه ی ADI، ریسک سرطان زایی از طریق فرمول زیر محاسبه شد (۱۷):

$$ELCR = ADI \times CSF$$

که در این مطالعه ELCR (Excess Lifetime Cancer Risk) خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی، CSR (Cancer slope factor) عامل شیب سرطان از طریق استنشاق می باشد که مقدار آن برای بنزن توسط IRIS (Integrated Risk Information System) برابر $0.29 \cdot mg \cdot kg^{-1} \cdot day^{-1}$ اعلام شده است. این عامل برای دیگر ترکیبات (تولون، زایلین و اتیل بنزن) تعیین مقدار نشده است، لذا ریسک سرطان زایی تنها برای بنزن محاسبه گردید. مقدار ریسک سرطان زایی قابل قبول تعیین شده توسط EPA برای مشاغل مقدار کم تر از 10^{-4} می باشد (۱۶).

محاسبه ریسک غیر سرطان زایی: در مرحله

بعد با استفاده از رابطه زیر مقدار ریسک غیر سرطان زایی (Non-cancer Risk) محاسبه گردید (۱۸).

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

در این رابطه RfC (Reference concentration) معادل مقدار رفرنس ($mg \cdot kg^{-1} \cdot day^{-1}$) می باشد که توسط US EPA تعیین شده است (۱۹). در صورتی

برای کمک به استخراج بهتر ترکیبات BTEX حداقل ۳۰ دقیقه زمان در نظر گرفته شد. پس از مرحله استخراج، نمونه ها به دستگاه کروماتوگرافی مجهز به آشکار ساز یونش شعله ای تزریق گردید. دبی گاز حامل ۲ میلی لیتر بر دقیقه تنظیم شد. حجم تزریق برابر با ۱ میکرولیتر و میزان تقسیم (Split ratio) برابر با ۵ در نظر گرفته شد. دمای اولیه ستون ۵۰ درجه سانتی گراد بود که پس از ۲ دقیقه و با مقدار ۲۰ درجه سانتی گراد در دقیقه تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت و به مدت ۱ دقیقه این دما حفظ شد. دمای محل تزریق نمونه در ۲۵۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون از محلول های استاندارد ترکیبات BTEX استفاده گردید. بدین منظور محلول استاندارد مادر ($g/ml \mu$) ۱۰۰ از ترکیبات بنزن، تولون، زایلین و اتیل بنزن در حلال دی سولفید کربن آماده سازی گردید و استاندارد های کاربردی) در محدود غلظتی 0.1 – 15 $\mu g/ml$ (از طریق رقیق کردن محلول استاندارد مادر تهیه و به دستگاه تزریق شد.

ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی

در میان ترکیبات BTEX، بنزن به عنوان سرطان زای قطعی انسانی دسته ی A مطابق با تقسیم بندی EPA و IARC تقسیم بندی شده است. از این رو، ارزیابی ریسک سرطان زایی برای بنزن و ارزیابی ریسک غیرسرطان زایی برای کلیه ی ترکیبات BTEX انجام شد. برای بررسی ریسک بهداشتی مربوط به تماس با ترکیبات BTEX متوسط مقدار متوسط دریافتی روزانه یا Average ADI (Daily Intake) از طریق تنفس مستقیم با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۱۶):

جدول (۱) - متغیرهای مورد استفاده جهت مدل سازی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی

| متغیر | تعریف | واحد | روش اندازه گیری | مقدار | رفرنس |
|-------|-------------------------------------|--|--|--|-------|
| CA | غلظت آلاینده | mg m ⁻³ | نمونه برداری | جدول ۲ | |
| IR | مقدار تنفس | m ³ working hours ⁻¹ | مطالعات گذشته 20m ³ d ⁻¹ برای بزرگ سالان | ۰/۱۶ ± ۶/۶۴ | (۱۶) |
| ET | مدت تماس | hours day ⁻¹ (working hours) | پرسش نامه | ۸ | |
| EF | فرکانس تماس | days year ⁻¹ | پرسش نامه | ۱۰ ± ۳۰۰ | |
| ED | طول تماس | years | پرسش نامه | ۳۰ | |
| AT | متوسط زمان | days | (ED×EF) | ۹۰۰۰ | (۱۹) |
| BW | وزن | kg | پرسش نامه | ۱۳ ± ۷۰ | |
| CSF | عامل شیب سرطان | mg kg ⁻¹ day ⁻¹ | سیستم جامع اطلاعات ریسک (IRIS) | ۰/۰۲۹ برای بنزن | (۲۰) |
| RfC | مقدار رفرنس دریافتی از طریق تنفس | mg m ⁻³ | سیستم جامع اطلاعات ریسک (IRIS) | ۰/۰۳ برای بنزن ۵ برای تولوئن ۱ برای اتیل بنزن ۰/۱ برای گزین | (۲۰) |

استفاده از تنها یک به عنوان نماینده ی یک متغیر، از دامنه ای از اعداد مربوط به متغیر استفاده می شود و محاسبه به تعداد زیاد تکرار می گردد و در نهایت نتایج با درجه اطمینان های مختلف بین ۱ تا ۹۹ درصد برای کاربر نشان داده می شود. در این مطالعه از نرم افزار کریستال بال (Crystal Ball software, version 11.1.1.1, Oracle, Inc., USA) برای شبیه سازی با ۱۰۰۰۰ آزمایش انجام شد.

یافته ها

میزان مواجهه فردی شاغلین با ترکیبات BTEX میزان مواجهه فردی با ترکیبات BTEX در بخش های مختلف انرژی و بیوشیمی، کوره آزمایشی، تصفیه ی بنزول، بازیافت مواد و باتری در جدول (۲) بر حسب میلی گرم بر مترمکعب و پی پی ام ارایه شده است.

که $HQ \leq 1$ باشد، خطر غیرسرطان زایی قابل توجهی افراد را تهدید نمی کند اما در صورتی که $HQ > 1$ باشد مقدار ریسک غیر سرطان زایی بالا و غیر قابل قبول است. مقادیر مربوطه جهت مدل سازی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی در جدول (۱) ارائه شده است.

شبیه سازی مونت-کارلو

در محاسبه ریسک سلامتی برای یک جمعیت در معرض مواجهه با یک یا چند عامل خطر بالقوه، وقتی که تنها از یک عدد (single-point values) برای برآورد ریسک مربوطه استفاده شود، احتمال تداخل و خطا و در نهایت عدم اطمینان از نتایج کسب شده حاصل می شود. لذا در این مطالعه جهت به حداقل رساندن عدم اطمینان، از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است. در این روش به جای

ترکیبات BTEX توسط کارگران در بخش های مختلف را نشان می دهد.

با استفاده از مقدار دریافتی روزانه (ADI)، مقدار ریسک غیرسرطان زایی که با شاخص HQ (Hazard quotient) بیان می شود، برای ترکیبات BTEX در شاغلین بخش های مختلف محاسبه گردید. همان طور که داده های جدول (۴) نشان می دهد، ریسک غیر سرطان زایی برای کلیه ترکیبات BTEX در تمام بخش های مورد مطالعه کوچک تر از یک می باشد.

ریسک سرطان زایی طول عمر مواجهه با بنزن با استفاده از روش ارزیابی شده US EPA و از طریق روش شبیه سازی مونت کارلو برآورد گردید. جدول (۵) و شکل

همان طور که جدول (۲) نشان می دهد سطح غلظت ترکیبات BTEX در بخش تصفیه بنزول نسبت به سایر بخش های مورد بررسی بیش تر می باشد. این بخش با بیش ترین غلظت بنزن، تولوئن و زایلین به عنوان آلوده ترین بخش می باشد. در میان بخش های مورد مطالعه، بخش بازیافت مواد کم ترین غلظت ترکیبات BTEX را دارا بود.

ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی

در این مطالعه ارزیابی ریسک سرطان زایی بنزن و غیر سرطان زایی ترکیبات BTEX مطابق با روش EPA انجام شد. جدول (۳) مقدار دریافتی روزانه متوسط برای

جدول (۲) - غلظت ترکیبات BTEX در منطقه تنفسی شاغلین برحسب پی پی ام (میلی گرم بر مترمکعب)

| N* | زایلین | | اتیل بنزن | | تولوئن | | بنزن | | بخش |
|-----|--------|----------------|-----------|----------------|--------|-----------------|------|----------------|-----------------|
| | SE | میانگین | SE | میانگین | SE | میانگین | SE | میانگین | |
| ۸۵ | ۰/۱۲ | ۰/۲۳ (۱/۰) | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ (۰/۱۳) | ۰/۰۹ | ۰/۲۵ (۰/۹۴) | ۰/۳۵ | ۰/۸۲ (۲/۶۲) | انرژی و بیوشیمی |
| ۱۰ | ۰/۰۹ | ۰/۳۲ (۱/۳۹) | ۰/۱۷ | ۰/۳۲ (۱/۳۹) | ۰/۰۵ | ۰/۳۲ (۱/۲۱) | ۰/۱۴ | ۰/۴۳ (۱/۳۷) | کوره آزمایشی |
| ۲۵ | ۰/۲۲ | ۱/۳۸ (۵/۹۹) | ۰/۰۴ | ۰/۰۶ (۰/۲۶) | ۰/۰۸ | ۴/۰۸ (۱۵/۳۸) | ۰/۱۱ | ۲/۱۷ (۶/۹۳) | تصفیه بنزول |
| ۷۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ (۰/۳) | ۰/۰۱ | ۰/۰۴ (۰/۱۷) | ۰/۰۵ | ۰/۱ (۰/۳۸) | ۰/۱۵ | ۰/۳۱ (۰/۹۹) | بازیافت مواد |
| ۱۷۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۸ (۰/۳۵) | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ (۰/۲۲) | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ (۰/۵۷) | ۰/۲۵ | ۰/۳۲ (۱/۰۲) | باتری |

*تعداد شاغلین هر بخش

جدول (۳) - مقدار دریافتی روزانه متوسط (ADI) ترکیبات BTEX توسط کارگران در بخش های مختلف

| واحد مورد بررسی | | | | | | | | | | آلاینده |
|-----------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| باتری | | بازیافت مواد | | تصفیه بنزول | | کوره آزمایشی | | انرژی و بیوشیمی | | |
| 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | |
| ۳/۱۹×۳-۱۰ | ۲/۲۰×۳-۱۰ | ۳/۱۴×۳-۱۰ | ۲/۱۲×۳-۱۰ | ۲/۳۰×۲-۱۰ | ۱/۵۱×۲-۱۰ | ۴/۳۶×۳-۱۰ | ۲/۹۳×۳-۱۰ | ۸/۳۳×۳-۱۰ | ۵/۷۱×۳-۱۰ | بنزن |
| ۱/۸۱×۳-۱۰ | ۱/۲۵×۳-۱۰ | ۱/۲۰×۳-۱۰ | ۸/۱۸×۴-۱۰ | ۴/۹۶×۲-۱۰ | ۳/۳۵×۲-۱۰ | ۳/۷۲×۳-۱۰ | ۲/۵۹×۳-۱۰ | ۲/۸۸×۳-۱۰ | ۲/۰۱×۳-۱۰ | تولوئن |
| ۶/۷۸×۴-۱۰ | ۴/۷۲×۴-۱۰ | ۵/۲۷×۴-۱۰ | ۳/۶۴×۴-۱۰ | ۸/۲۲×۴-۱۰ | ۵/۶۱×۴-۱۰ | ۴/۳۶×۳-۱۰ | ۳/۰۰×۳-۱۰ | ۴/۱۲×۴-۱۰ | ۲/۸۲×۴-۱۰ | اتیل بنزن |
| ۱/۱۵×۳-۱۰ | ۷/۸۴×۴-۱۰ | ۹/۲۸×۴-۱۰ | ۶/۴۱×۴-۱۰ | ۱/۹۱×۲-۱۰ | ۱/۳۰×۲-۱۰ | ۴/۴۰×۳-۱۰ | ۲/۹۶×۳-۱۰ | ۳/۲۸×۳-۱۰ | ۲/۱۹×۳-۱۰ | زایلین |

جدول (۴) - مقدار ریسک غیرسرطان زایی (HQ) ترکیبات BTEX برای شاغلین بخش های مختلف

| واحد مورد بررسی | | | | | | | | | | آلاینده |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| باتری | | باز یافت مواد | | تصفیه بنزول | | کوره آزمایشی | | انرژی و بیوشیمی | | |
| 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | |
| ۱/۰۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۳۳×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۰۵×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۰۸×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۳۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۵/۰۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۴۵×۱۰ ^{-۱۰} | ۹/۷۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۷۸×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۹۰×۱۰ ^{-۱۰} | بنزن |
| ۳/۸۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۵۳×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۴۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۶۴×۱۰ ^{-۱۰} | ۹/۹۱×۱۰ ^{-۱۰} | ۶/۷۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۴۳×۱۰ ^{-۱۰} | ۵/۱۹×۱۰ ^{-۱۰} | ۵/۷۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۰۳×۱۰ ^{-۱۰} | تولون |
| ۶/۷۸×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۷۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۵/۳۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۳/۶۴×۱۰ ^{-۱۰} | ۸/۳۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۵/۶۱×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۳۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۳/۰۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۱۳×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۸۲×۱۰ ^{-۱۰} | اتیل بنزن |
| ۱/۱۵×۱۰ ^{-۱۰} | ۷/۸۴×۱۰ ^{-۱۰} | ۹/۲۸×۱۰ ^{-۱۰} | ۶/۴۱×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۹۱×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۳۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۴۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۹۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۳/۲۸×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۱۹×۱۰ ^{-۱۰} | زایلن |

مقدار HQ در تمام موارد کوچک تر از ۱ می باشد.

جدول (۵) - ریسک سرطان زایی طول عمر مواجهه با بنزن (ELCR) برای کارگران شاغل در بخش های مختلف

| واحد مورد بررسی | | | | | | | | | | آلاینده |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|
| باتری | | باز یافت مواد | | تصفیه بنزول | | کوره آزمایشی | | انرژی و بیوشیمی | | |
| 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | 95th | متوسط | |
| ۹/۲۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۶/۳۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۹/۰۹×۱۰ ^{-۱۰} | ۶/۱۶×۱۰ ^{-۱۰} | ۶/۳۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۴/۳۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۲۷×۱۰ ^{-۱۰} | ۸/۵۰×۱۰ ^{-۱۰} | ۲/۴۲×۱۰ ^{-۱۰} | ۱/۶۶×۱۰ ^{-۱۰} | بنزن |

* مقدار ریسک سرطان زایی بالاتر از حداکثر مقدار قابل قبول تعیین شده توسط EPA (۱۰^{-۶}) می باشد.

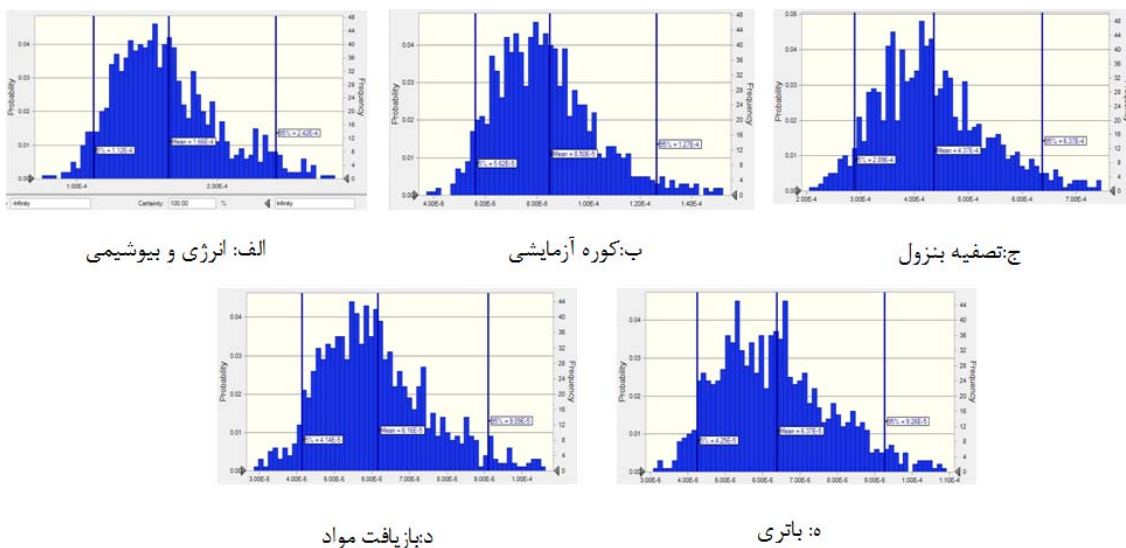
شغلی ارایه شده کشوری بود (متوسط وزنی-زمانی حد مجاز مواجهه شغلی برای ترکیبات BTEX به ترتیب برابر با ۰/۵، ۲۰، ۲۰ و ۱۰۰ پی پی ام می باشد). سطح غلظتی تولون، اتیل بنزن و زایلن در دیگر بخش های مورد مطالعه پایین تر از حد مجاز مواجهه شغلی به دست آمد. به طور کلی غلظت ترکیبات BTEX در واحد تصفیه ی بنزول به طور قابل توجهی بالاتر از دیگر بخش ها بود. علاوه بر این، بخش باز یافت مواد در مقایسه با سایر بخش های مورد مطالعه، کم ترین سطح مواجهه با ترکیبات BTEX را به خود اختصاص داد.

همان گونه که جدول (۴) نشان می دهد در تمام بخش های مورد مطالعه در این مطالعه، مقدار ریسک غیر سرطان زایی برای کلیه ی ترکیبات BTEX پایین تر از مقدار مجاز توصیه شده می باشد. به این مفهوم که مواجهه شغلی در یک دوره سی ساله با غلظت اندازه گیری شده در این مطالعه احتمالاً ریسک قابل توجهی برای شاغلین در معرض مواجهه با این ترکیبات ایجاد نمی کند. این نتایج با یافته های مطالعه Chang

(۱) مقادیر ریسک سرطان زایی بنزن در بخش های مختلف واحد کک را نشان می دهند. همان طور که جدول (۵) و نیز شکل (۱) نشان می دهد، مقدار ریسک سرطان زایی بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی و تصفیه بنزول بالاتر از حداکثر مقدار قابل قبول تعیین شده توسط US EPA می باشد.

بحث

کارخانه تولید فولاد دارای چندین فرآیند جداگانه می باشد. در این مطالعه واحد تولید کک به دلیل تنوع زیاد فعالیت ها و فرآیندهای آن به عنوان یکی از آلوده ترین بخش ها برای انجام این مطالعه انتخاب شد. در ابتدا مواجهه شغلی با ترکیبات BTEX با استفاده از روش NIOSH 1501 تعیین شد و سپس ریسک سرطان زایی بنزن و غیر سرطان زایی BTEX با استفاده از روش US EPA محاسبه شد. نتایج آنالیز ترکیبات BTEX نشان داد که غلظت بنزن در بخش های انرژی و بیوشیمی و تصفیه ی بنزول بالاتر از حد مجاز مواجهه



شکل (۱) - پیش بینی احتمال بروز خطر ابتلا به سرطان در واحدهای مختلف

در میان کارکنان شرکت توزیع پخش فرآورده های نفتی پرداختند. نتیجه مطالعه آن ها بیان گر ریسک بالای کارکنان بارگیری تانکر نسبت به سایر بخش ها بود (۱۹). هم چنین مطالعه ی دیگری که توسط He و همکاران با هدف تعیین نوع ترکیبات آلی فرار و ارزیابی ریسک مواجهه با آن ها در کارگاه های مختلف بازیافت ضایعات پلاستیکی جامد انجام شد، بیان گر ریسک سرطان زایی بالایی برای ساکنین نزدیک این کارگاه ها بود (۲۴). مطالعه Kumar و همکاران که با هدف تعیین نوع ترکیبات آلی فرار و ارزیابی ریسک آن ها در خانه های مسکونی و خوابگاه های یک موسسه علمی انجام شد، بیان گر ریسک سرطان زایی بسیار بالایی (بالتر از 10^{-6}) در هر دو محیط مورد مطالعه بود (۲۵). در مطالعه رحیم نژاد و همکاران که به منظور ارزیابی ریسک بهداشتی هیدروکربن های سرطانزا در هوای محیط کار یک صنعت وابسته به نفت انجام گردید، ریسک سرطان زایی بنزن بیش از حدود مجاز توصیه شده برآورد شد (۲۶). هم چنین نتایج مطالعه ی قربانی و همکاران که در یک مجتمع پتروشیمی در ایران با هدف برآورد

و همکاران در تضاد است. Chang و همکاران ریسک غیر سرطان زایی ناشی از مواجهه با بنزن در واحد کک یک کارخانه تولید فولاد را غیر قابل قبول برآورد کردند. علت این اختلاف، احتمالاً با روش به کار رفته در ارزیابی ریسک ارتباط دارد. در مطالعه حاضر ارزیابی ریسک با استفاده از روش شبیه سازی مونت- کارلو انجام شده است که نسبت به روش به کار رفته در مطالعه Chang دقیق تر است (۲۲). مطابق با یافته های جدول (۵) و شکل (۱)، ریسک سرطان زایی بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی، کوره آزمایشی و تصفیه بنزول بالاتر از مقادیر توصیه شده توسط EPA (10⁻⁴) و NIOSH می باشد (۲۱ و ۱۶). علت بالا بودن ریسک سرطان زایی در این واحدها، غلظت بالای بنزن می باشد که باعث آلوده شدن این واحدها شده است. این نتایج با یافته های مطالعه دهقانی و همکاران هم خوانی دارد (۲۳). در سال های اخیر مطالعات مختلفی برای تعیین ریسک بهداشتی مواجهه با ترکیبات شیمیایی انجام شده است. هیبیتی و همکاران در مطالعه ای در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات BTEX

ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی ترکیبات آلی فرار انجام شده بود، بیان کننده ریسک متوسط سرطان زایی بالای بنزن بود (بیش تر از 10^{-4}). (۲۷). علاوه بر مطالعات ذکر شده، نتایج مطالعات دیگری که در صنایع مشابه انجام شده اند نشان دهنده ریسک بالای سرطان زایی در اثر مواجهه شغلی با ترکیبات آلی فرار است (۲۸) و (۲۹). نتایج حاصل از این مطالعات بیان گر ریسک بالای سرطان زایی بنزن و پتانسیل ایجاد سرطان در افراد در معرض مواجهه می باشد. هم چنین نتایج این مطالعات با نتایج مطالعه حاضر هم خوانی دارد و به نظر می رسد مواجهه شغلی با این ترکیبات هنوز به عنوان یک مساله اساسی در صنعت مطرح می باشد و به کار گیری اقدامات کنترلی موثر برای کنترل مواجهه شغلی با این ترکیبات ضروری است.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد که غلظت بنزن در بخش های انرژی و بیوشیمی و تصفیه ی بنزول بالا

تر از حد مجاز مواجهه شغلی کشوری می باشد. علاوه بر این، ریسک سرطان زایی بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی، تصفیه بنزول و کوره آزمایشی بالاتر از حداکثر مقدار قابل قبول تعیین شده توسط US EPA (10^{-6}) می باشد. بنابراین، اقدامات کنترلی مدیریتی و فنی-مهندسی کنونی به طور موثری نمی توانند میزان مواجهه شغلی با این ترکیبات را کنترل کنند. لذا استفاده از سیستم های کنترلی مدرن و موثر و هم چنین پایش متابولیت های این ترکیبات در مایعات بیولوژیکی توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شاهرود به کد ۹۶۱۰۰ می باشد که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شاهرود اجرا شده است. لذا نویسندگان از مساعدت مالی و همکاری دانشگاه علوم پزشکی شاهرود در اجرای این پروژه کمال تشکر و سپاس گزاری را به عمل می آورند.

REFERENCES

1. Tsai J-H, Lin K-H, Chen C-Y, Lai N, Ma S-Y, Chiang H-L. Volatile organic compound constituents from an integrated iron and steel facility. *Journal of hazardous materials*. 2008;157(2-3):569-78.
2. Olmez GM, Dilek FB, Karanfil T, Yetis U. The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*. 2016;130:195-201.
3. Lagoudi A, Lois E, Fragioudakis K, Karavanas A, Loizidou M. Design of an inventory system for the volatile organic compounds emitted by various activities. *Environmental science & technology*. 2001;35(10):1982-8.
4. Shi J, Deng H, Bai Z, Kong S, Wang X, Hao J, et al. Emission and profile characteristic of volatile organic compounds emitted from coke production, iron smelt, heating station and power plant in Liaoning Province, China. *Science of The Total Environment*. 2015;515:101-8.
5. Golhosseini M, Kakooei H, Shahtaheri S, Rezazadeh-Azari

- M, Azam K. Evaluation of volatile organic compounds levels inside taxis passing through main streets of Tehran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2015;5(4):152-8.
6. Vlaanderen J, Lan Q, Kromhout H, Rothman N, Vermeulen R. Occupational benzene exposure and the risk of lymphoma subtypes: a meta-analysis of cohort studies incorporating three study quality dimensions. *Environmental health perspectives*. 2011;119(2):159.
7. Loprieno N. 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*. 1975;31(3):201.
8. Walser T, Juraske R, Demou E, Hellweg S. Indoor exposure to toluene from printed matter matters: complementary views from life cycle assessment and risk assessment. *Environmental science & technology*. 2013;48(1):689-97.
9. Council NR. Risk assessment in the federal government:

- managing the process: National Academies Press; 1983.
10. Aghaei H, Kakooei H, Shahtaheri S, Omidi F, Arefian S, Azam K. Evaluating Poly-Aromatic Hydrocarbons in respiratory zone of the asphalt workers in Tehran city. *Health and Safety at Work*. 2014; 3 (4): 31-40.
 11. Dehghani F, Golbabaie F, Abolfazl Zakerian S, Omidi F, Mansournia MA. Health risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) in a painting unit of an automotive industry. *Health and Safety at Work*. 2018;8(1):55-64.
 12. Ramirez N, Cuadras A, Rovira E, Borrull F, Marcé RM. Chronic risk assessment of exposure to volatile organic compounds in the atmosphere near the largest Mediterranean industrial site. *Environment international*. 2012;39(1):200-9.
 13. Sofuoglu SC, Aslan G, Inal F, Sofuoglu A. An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2011;214(1):36-46.
 14. Fallahzadeh RA, Khosravi R, Dehdashti B, Ghahramani E, Omidi F, Adli A, et al. Spatial distribution variation and probabilistic risk assessment of exposure to chromium in ground water supplies; a case study in the east of Iran. *Food and Chemical Toxicology*. 2018.
 15. Fallahzadeh RA, Miri M, Taghavi M, Gholizadeh A, Anbarani R, Hosseini-Bandegharai A, et al. Spatial variation and probabilistic risk assessment of exposure to fluoride in drinking water. *Food and Chemical Toxicology*. 2018;113:314-21.
 16. Mousavian NA, Mansouri N, Nezhadkurki F. Estimation of heavy metal exposure in workplace and health risk exposure assessment in steel industries in Iran. *Measurement*. 2017;102: 286-290
 17. Sadvoska V. Health risk assessment of heavy metals adsorbed in particulates. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012;68:2151-8.
 18. Leung AO, Duzgoren-Aydin NS, Cheung K, Wong MH. Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environmental science & technology*. 2008;42(7):2674-80.
 19. Heibati B, Pollitt KJG, Karimi A, Charati JY, Ducatman A, Shokrzadeh M, et al. BTEX exposure assessment and quantitative risk assessment among petroleum product distributors. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2017;144:445-9.
 20. US EPA. Integrated Risk Information System (IRIS) Online Database. 2009; Available from: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm>.
 21. McGarity TO, Steinzor RI, Shapiro SA, et al. Workers at risk: regulatory dysfunction at OSHA. Washington (DC): Center for Progressive Reform; 2010.
 22. Chang E-E, Wei-Chi W, Li-Xuan Z, et al. Health risk assessment of exposure to selected volatile organic compounds emitted from an integrated iron and steel plant. *Inhalation Toxicology*. 2010;22:117-125.
 23. Dehghani F, Omidi F, Heravizadeh O, Barati Chamgordani S, Gharibi V, Sotoudeh Manesh A. Occupational Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds Emitted from Coke Production Unit of a Steel Plant. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2018; 1-15. DOI:10.1080/10803548.2018.1443593.
 24. He Z, Li G, Chen J, Huang Y, An T, Zhang C. Pollution characteristics and health risk assessment of volatile organic compounds emitted from different plastic solid waste recycling workshops. *Environment International*. 2015;77:85-94.
 25. Kumar A, Singh B, Punia M, Singh D, Kumar K, Jain V. Determination of volatile organic compounds and associated health risk assessment in residential homes and hostels within an academic institute, New Delhi. *Indoor Air*. 2014;24(5):474-83.
 26. Rahimnejad S, Bahrami A, Ghorbani Shanh F, Rahimpour R. Comparison of health risk assessment carcinogenic hydrocarbons in Workplace air in an oil-dependent industry by the Environmental Protection Agency (EPA) and the Department of Human Resources Malaysia. *Iran Occupational Health*. 2017;14(5):122-13.
 27. Shanh FG, Rahimnejad S, Bahrami A, Farhadian M. Risk Assessment of Workers' Exposure to Volatile Organic Compounds in the Air of a Petrochemical Complex in Iran. *Indian journal of occupational and environmental medicine*. 2017;21(3):121.
 28. Guo H, Lee SC, Chan LY, et al. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environmental Research*. 2004;94(1):57-66.
 29. Hosseini S, Rezazadeh-Azari M, Taiefteh-Rahimian R, Tavakkol E. Occupational Risk Assessment of Benzene in Rubber Tire Manufacturing Workers. *International Journal of Occupational Hygiene* 2014; 6 (4): 220-226.

Carcinogenic and non- carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry

Fariborz Omid¹, Reza Ali Fallahzadeh², Fateme Dehghani³, Bahram Harati³, Saied Barati Chamgordani⁴, Vahid Gharibi^{5,*}

¹ M.Sc., Research Center for Environmental Determinants of Health (RCEDH), Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

² M.Sc., Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³ M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ Department of Occupational Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

⁵ Environmental and Occupational Health Research Center, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran

Abstract

Introduction: Workers in steel manufacturing companies are extensively exposed to the volatile organic compounds (VOCs). Considering the health effects of these compounds, the purpose of this study was to determine occupational exposure to the BTEX compounds and also evaluation of carcinogenic risk due to benzene and non- carcinogenic risk for BTEX compounds in a steel industry.

Material and Method: This cross-sectional study was conducted in the coke production unit of the steel making industry. After collecting personal samples from breathing zone of the workers and analyzing of the samples the levels of exposure to the BTEX were quantitatively determined using Gas chromatography equipped with Flame Ionization Detector (GC-FID), according to the NIOSH 1501 standard method. Then, cancer risk due to benzene and non-cancer risks from BTEX compounds were calculated using Monte-Carlo technique.

Result: The analysis of personal samples indicated that benzene concentration in energy and biochemistry and benzol refinement sections of the plant were higher than occupational exposure limits (OELs). Among the studied sections, benzol refinement as the most polluted section had the highest concentration of BTEX compounds. Non-cancer risk due to BTEX compounds in all studied sections was lower than one. Benzene cancer risk in energy and biochemistry, benzol refinement and experimental furnace sections was higher than maximum recommended value by EPA.

Conclusion: Due to the high concentration of benzene in energy and biochemistry and benzene refinement sections as well as the resultant carcinogenic risk, improvement of existing control systems and the use of modern engineering systems are necessary to control occupational exposure.

Key words: Health Risk Assessment; BTEX; Steel Industry; Monte Carlo Simulation Technique

* Corresponding Author Email: gharibivahid@gmail.com