

ارزیابی کمی ریسک مواجهه شغلی با ترکیبات آلی فرار در صنایع شیمیایی وابسته به نفت

سمیرا رحیم نژاد^۱، عبدالرحمن بهرامی^۲، محمد جواد عساری^۳، علیرضا سلطانیان^۴، رزاق رحیم پور^۱، سید امیررضانگهبان^۱ فرشید قربانی شهنای*

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۲ استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۳ مربی گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۴ استادیار گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۵ دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

نشانی نویسنده مسئول: همدان، دانشگاه علوم پزشکی، فرشید قربانی شهنای

E-mail: fghorbani@umsha.ac.ir

وصول: ۹۳/۴/۲۲، اصلاح: ۹۳/۵/۱۳، پذیرش: ۹۳/۶/۶

چکیده

زمینه و هدف: مواجهه فردی با ترکیبات آلی فرار، می تواند اثرات سوئی بر سلامت در محدوده ای اثرات غیر سرطانزا تا سرطانزا ایجاد کند. هدف از مطالعه ای حاضر، ارزیابی کمی ریسک مواجهه شغلی با ترکیبات آلی فرار در صنایع شیمیایی وابسته به نفت می باشد.

مواد و روش ها: در این مطالعه مقطعی با استفاده از متد استاندارد NIOSH ۱۵۰۱ و ۲۵۴۹ نمونه برداری و آنالیز هیدروکربن ها، در صنایع شیمیایی وابسته به نفت انجام شد و پس از شناسایی هیدروکربن ها، ارزیابی کمی ریسک با استفاده از روش سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) صورت گرفت. برای هیدروکربن های غیر سرطانزا نسبت خطر (HQ) و برای هیدروکربن های سرطانزا شاخص ریسک سرطان طول عمر (LCR) محاسبه شد. آنالیز آماری با استفاده از نسخه ۱۶ نرم افزار SPSS انجام شد.

یافته ها: ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) بنزن در ۱۳ مجتمع مورد بررسی، قطعی و در ۸ مجتمع ریسک بنزن، احتمالی بود و در تمام مجتمع های مورد مطالعه، ریسک بنزن بیشتر از حد توصیه شده ی سازمان جهانی بهداشت WHO بود. ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) تری کلرواتیلن در یک مجتمع و اتیل بنزن در ۲ مجتمع قطعی بود. نسبت خطر زایلن، کلروبنزن، متیل اتیل کتون وان هگزان در چند مجتمع، بیشتر از حد توصیه شده توسط WHO (مقدار فرانس ۱) بود. بین ریسک هیدروکربن های سرطانزا با سن و سابقه ی کاری، به ترتیب ارتباط معناداری با ضریب همبستگی ۰/۳۳۶ و ۰/۴۰۹ مشاهده شد. ($P < ۰/۰۰۱$)

نتیجه گیری: روش ارزیابی ریسک پیشنهادی یک روش جامع بوده و از نتایج آن می توان جهت انجام اقدامات اصلاحی و کنترلی و اولویت بندی منابع برای کاهش سطح ریسک استفاده کرد.

واژه های کلیدی: ارزیابی ریسک، ترکیبات آلی فرار، مواجهه شغلی، صنایع شیمیایی و نفت

مقدمه

در صنایع شیمیایی وابسته به نفت، به دنبال تجزیه-ی نفت، محصولات شیمیایی متفاوتی از جمله ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Compounds) تولید می-گردد. ترکیبات VOCs دربرگیرنده‌ی دسته‌ی بزرگی از هیدروکربن‌ها می‌باشد که به دلیل دارا بودن فشار بخار بالا، می‌توانند تحت دما و فشار اتمسفر، تبخیر شوند. در نتیجه به دلیل فرار بودن این ترکیبات، بسیاری از افراد در محیط‌های صنعتی و غیرصنعتی در مواجهه با این ترکیبات می‌باشند و در همین راستا مواجهه تنفسی، مهم‌ترین راه تماس انسان با این گروه از ترکیبات شیمیایی محسوب می‌گردد (۱-۳).

از مواجهات شغلی با ترکیبات VOCs می‌توان به مواجهه کارگران شاغل در صنایع پتروشیمی، ذوب ضایعات و لاستیک‌سازی و از مواجهات غیرصنعتی می‌توان به مواجهه عموم افراد با دود سیگار، آلاینده‌های خروجی از آگزوز خودروها و محصولات جانبی احتراق اشاره کرد (۴-۵).

به طور کلی، اثرات سوء سلامت ناشی از مواجهه‌ی مزمن با ترکیبات آلی فرار را می‌توان به دو دسته‌ی سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا تقسیم‌بندی کرد. از اثرات سوء غیر سرطان‌زا، می‌توان به اثرات حساسیت‌زایی، تحریک‌کنندگی، اختلالات کبدی، کلیوی، عصبی و همچنین تنفسی اشاره کرد. سرطان‌های ریه، خون (لوسمی)، کبد، کلیه و مجاری صفراوی از جمله سرطان‌هایی هستند که می‌توانند به دنبال مواجهه‌ی انسان با ترکیبات VOCs ایجاد گردند (۶-۷).

آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer (IARC)) بنزن را به عنوان سرطان‌زای قطعی (گروه ۱) تقسیم‌بندی کرده است (۸). برخی دیگر از ترکیبات VOCs به عنوان ترکیبات مشکوک به سرطان‌زایی در انسان شناخته شده اند. به عنوان مثال: تری‌کلرواتیلن،

اپی‌کلروهیدرین، تتراکلرواتیلن در دسته‌ی سرطان‌زای احتمالی (گروه 2A IARC) و اتیل بنزن و استیرن در دسته‌ی سرطان‌زای ممکن برای انسان طبقه‌بندی می-شوند (گروه 2B IARC) (۸). سایر VOCs شامل تترا هیدروفوران، ان‌هگزان، متیل‌اتیل‌کتون، تولوئن، کلروبنزن، پارازایلن، متازایلن، ارتوزایلن و فنول به عنوان سرطان‌زا برای انسان طبقه‌بندی نمی‌شوند (گروه 3 IARC) (۸).

امروزه بسیاری از سازمان‌های بین‌المللی از جمله سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization (WHO)) آمریکا (United States Environmental Protection Agency (US EPA)) و اداره‌ی غذا و دارو ایالات متحده (United States Food and Drug Administration (USFDA))، استفاده از ارزیابی کمی ریسک را به عنوان مبنای قانون‌گذاری در مورد ترکیبات شیمیایی در نظر می‌گیرند.

به منظور برآورد ریسک هیدروکربن‌های سرطان‌زا، از ریسک سرطان طول عمر (Life Time Cancer Risk) استفاده می‌گردد که به عنوان شاخص احتمال افزایش ابتلا به سرطان ناشی از مواجهه‌ی خاص معرفی می‌شود (۶). علاوه بر این، به منظور برآورد ریسک مواجهه با هیدروکربن‌های غیر سرطان‌زا از رابطه‌ی نسبت خطر (Hazard Quotient) استفاده می‌گردد. رابطه‌ی نسبت خطر، بیانگر نسبت مواجهه با یک ماده به سطحی از آن ماده است که هیچ عوارض مضرری ایجاد نگردد (۹).

در مطالعه‌ای که توسط Colman Lerner و همکاران در سال ۲۰۱۲ با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک بهداشتی هیدروکربن‌ها در محیط‌های شغلی در بوینس آیرس آرژانتین انجام شد، پس از انجام نمونه‌برداری به صورت پسیو از آزمایشگاه تجزیه‌ی مواد شیمیایی، مرکز تعمیر و نقاشی خودرو، اطراف فروشگاه مواد غذایی و مراکز فتوکپی، تعیین مقدار آلاینده‌ها به وسیله‌ی GC_FID انجام شد، در نهایت ۲۳ ترکیب فرار یافته شد. نتایج نشان داد

نوع اول ۵ درصد، محاسبه گردید. در این مطالعه، سعی گردید که تعداد نمونه‌های لازم در هر مجتمع برحسب مساحت، تعداد کارگران و تعداد مشاغل هر مجتمع به صورت سهمیه‌ای تقسیم گردد. نمونه‌ها به وسیله‌ی جاذب زغال فعال با منشأ پوست نارگیل (۱۵۰ میلی گرم) ساخت شرکت SKC که توسط گیره به یقه کارگر (تقریباً در ناحیه‌ی تنفسی) وصل شد، با استفاده از پمپ نمونه برداری فردی (کالیبره شده توسط روماتر در محل نمونه برداری) با دبی ۲۰۰ میلی لیتر بردقیقه جمع‌آوری شد. با توجه به ظرفیت جاذب و برای جلوگیری از اشباع آن برای هر فرد از ۲ لوله‌ی جاذب زغال فعال استفاده شد که هر کدام از جاذب‌ها به مدت ۴ ساعت به پمپ وصل گردید که مجموع مدت زمان نمونه برداری برای هر فرد، ۸ ساعت به طول انجامید. برای هر مجتمع یک نمونه شاهد در نظر گرفته و کلیه‌ی مراحل آماده‌سازی و تجزیه بر روی آن انجام شد. آماده‌سازی نمونه‌های جمع‌آوری شده، به روش بازیافت شیمیایی و با استفاده از محلول CS₂ انجام شد. ۱ میکرو لیتر از محلول آماده‌سازی شده، توسط سرنگ ۱ میکرو لیتری ساخت شرکت Hamilton برداشته و به دستگاه GC-MS مدل CP3800 ساخت شرکت Varian تزریق گردید. دمای محل تزریق دستگاه ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و دمای اولیه‌ی ستون ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود که به مدت ۱۲ دقیقه در این دما نگهداری شد و زمان خاموشی آشکارساز ۱/۹ تا ۳/۵ دقیقه و کل زمان تجزیه ۲۵ دقیقه به طول انجامید. مشخصات ستون مورد استفاده برای تفکیک هیدروکربن‌ها در مدت زمان ۲۵ دقیقه یک ستون مویین ۲۵ متری (SGE:25MM×0/22) بود (۱۲). به منظور تهیه‌ی غلظت آلاینده‌ها منحنی کالیبراسیون ترسیم گردید، به این ترتیب که پس از ساخت محلول استاندارد مادر حاوی ترکیبات محتمل موجود در هوای نمونه برداری شده براساس مطالعات گذشته، استانداردهای کاربردی در غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۵، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر تهیه گردید و ۱ میکرو لیتر از آن به دستگاه تزریق شد.

که میزان سرطان طول عمر (LCR) بنزن و تری کلرواتیلن در مراکز تعمیرات و نقاشی خودرو بیشتر از سایر مکان‌ها بود (۱۰).

LEE و همکاران براساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۶ در تایوان با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک هیدروکربن‌ها در مراکز فتوکپی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که مقدار LCR بنزن در چندین مرکز فتوکپی بیشتر از مقدار توصیه‌شده‌ی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا می‌باشد و همچنین نسبت خطر HQ در همه‌ی مراکز برای ترکیبات تولوئن و اتیل بنزن، زایلن و استیرن پایین تر از مقدار رفرنس ۱، توصیه‌شده توسط WHO بوده است (۱۱).

باتوجه به مطالب مذکور، مبنی بر اهمیت ارزیابی ریسک هیدروکربن‌ها و وجود الزامات قانونی مبتنی بر کنترل مخاطرات در محیط کاری و همچنین به منظور حفظ و صیانت از نیروی کار و پیشگیری از ایجاد اثرات نامطلوب بهداشتی ناشی از هیدروکربن‌ها در شاغلین، این مطالعه باهدف ارزیابی کمی ریسک مواجهه‌ی شغلی با ترکیبات آلی فرار در صنایع شیمیایی وابسته به نفت براساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست امریکا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه تحلیلی به صورت مقطعی در ۲۱ مجتمع مستقر در یک منطقه‌ی صنعتی وابسته به نفت انجام شد. پایش مواجهه فردی با هیدروکربن‌ها در فصل زمستان و در طول شیفت ۸ ساعته براساس متد استاندارد NIOSH ۱۵۰۱ و ۲۵۴۹ انجام گردید و در مجموع از هوای استنشاقی ۱۶۹ نفر در مشاغل سایت من، نمونه‌گیری، بهره برداری، فنی، کارگرسایت و مامور گشت نمونه برداری به عمل آمد (۱۲). روش نمونه‌گیری به صورت تصادفی ساده بود و حجم نمونه‌ها با توجه به انحراف معیار و حداکثر خطای مجاز در مطالعات گذشته و بادر نظر گرفتن خطای

باتوجه به زمان ماند پیک های به دست آمده، نوع آلاینده و از طریق مساحت پیک و منحنی کالیبراسون غلظت آلاینده تعیین گردید. در مطالعه‌ی پایلوتی که در مجتمع‌ها انجام شد، مشخص گردید که اگر برای هر فرد از ۲ جاذب استفاده شود و هرکدام از این جاذب‌ها به مدت ۴ ساعت به پمپ وصل شود، پدیده‌ی ترک آلاینده اتفاق نمی‌افتد و همچنین در نمونه‌هایی که مساحت پیک بالایی داشتند و نسبت به نمونه‌های مشابه در همان واحدکاری غلظت بالاتری داشتند، پدیده‌ی ترک آلاینده (Break through) بررسی شد که در این مطالعه در نمونه‌های بررسی شده، Break through مشاهده نشد. محاسبه‌ی ریسک سرطان نیاز به برآورد میانگین غلظت هیدروکربن‌های فرار و فاکتور تشدید این ترکیبات دارد. ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) در ارتباط با بنزن (گروه ۱ سرطان‌زای قطعی)، اپی‌کلروهیدرین و تری‌کلرو اتیلن (گروه 2A) استیرین و اتیل بنزن (2B) در مناطق مورد مطالعه از حاصل ضرب فاکتور تشدید (SF) در مقدار جذب روزانه به صورت مزمن (Chronic Daily Intake) برای هر ترکیب محاسبه گردید (۱۰). فاکتور تشدید (slope factor)، محدوده‌ی قابل قبولی است که در آن احتمال ایجاد پاسخ به‌ازای مصرف یک واحد ماده‌ی شیمیایی در طول عمر، وجود دارد که واحد آن میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می باشد. CDI برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز براساس فرمول ذیل محاسبه شد (۱۳):

$$CDI = \frac{(C \times IR \times ED \times EF \times LE)}{(BW \times ATL \times NY)}$$

که در آن C میانگین غلظت آلاینده برحسب میلی‌گرم بر متر مکعب، IR نرخ تنفس برحسب متر مکعب بر ساعت، ED مدت زمان مواجهه بر حسب ساعت در هفته، EF فرکانس مواجهه برحسب هفته در سال، LE سابقه‌ی فرد برحسب سال، BW وزن بدن برحسب کیلوگرم، ATL متوسط طول عمر فرد، NY تعداد روزهای سال می‌باشد. اطلاعات مربوط به سابقه‌ی فرد، مدت زمان مواجهه و فرکانس مواجهه از طریق پرسش‌نامه برای

هر فرد جمع‌آوری شد. IR نرخ تنفس برابر با ۰/۸۷۵ متر مکعب بر ساعت و میانگین وزن بدن ۷۰ کیلوگرم، متوسط طول عمر ۷۰ سال و تعداد روزهای سال ۳۶۵ روز در نظر گرفته شد (۱۳). غلظت ترکیبات با استفاده از متد استاندارد NIOSH ۱۵۰۱ و ۲۵۴۹ نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تعیین مقدار شد (۱۲). فاکتور تشدید توصیه‌شده برای بنزن ۰/۰۲۷۳ (The Risk Assessment Information System) اتیل بنزن ۰/۰۰۸۷ (California Office of Environmental Health Hazard Assessment)، استیرین ۰/۰۰۰۵۷ (United States Environmental Protection Agency)، اپی‌کلروهیدرین ۰/۰۰۹۹ (OEHHA)، تری‌کلرواتیلن ۰/۰۰۷ (OEHHA) میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد. سازمان جهانی بهداشت LCR رادر محدوده‌ی بین 10^{-5} تا 10^{-6} و کمتر از این مقدار را پذیرفته‌است. ریسک ترکیبات غیرسرطان‌زا در این مطالعه، با استفاده از غلظت تنفسی مرجع (Inhalation Reference Concentration) برحسب میلی‌گرم بر متر مکعب تخمین زده شد. RFC به‌عنوان غلظتی از یک ماده تعریف می‌شود که اگر انسان از طریق استنشاق در معرض این غلظت قرارگیرد، به‌احتمال زیاد اثرات قابل ملاحظه بهداشتی غیرسرطان‌زا برای انسان در طول عمر ایجاد نمی‌شود (۱۴). HQ از تقسیم غلظت آلاینده بر RFC همان آلاینده محاسبه می‌شود (۱۵). مقدار RFC برای متیل‌اتیل‌کتون گروه ۳ سرطان‌زایی IARC برابر با ۰/۷ میلی‌گرم بر متر مکعب (IRIS)، تولوئن گروه ۳ سرطان‌زایی IARC برابر با ۵ میلی‌گرم بر متر مکعب (IRIS)، کلروبنزن برابر با ۱ میلی‌گرم بر متر مکعب (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) ارتوزایلن گروه ۳ سرطان‌زایی IARC برابر با ۰/۲۱۷ میلی‌گرم بر متر مکعب (ATSR)، فنول گروه ۳ سرطان‌زایی IARC برابر با ۲/۱ میلی‌گرم بر متر مکعب (IRIS)، متانول برابر با ۲۰ میلی‌گرم بر متر مکعب (IRIS) و برای ان‌هگزان برابر با ۰/۷ میلی‌گرم بر متر مکعب (IRIS) می‌باشد. $HQ > 1$

نشان‌دهنده‌ی این است که غلظت VOC بیشتر از غلظت معیار بوده و می‌تواند باعث ایجاد نگرانی در سلامت عمومی جمعیت مورد مطالعه گردد. $HQ \leq 1$ بیانگر این است که غلظت VOC از غلظت حد آستانه (RFC) برای ایجاد اثرات مضر کمتر بوده و انتظار می‌رود هیچ آسیبی برای افراد ایجاد نکند.

$$HQ = CC/RfC$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نسخه‌ی ۱۶ نرم‌افزار SPSS و با استفاده از آمار توصیفی، ضریب همبستگی اسپیرمن، آماره‌ی آزمون کروسکال والیس و آماره‌ی آزمون ناپارامتری من ویتنی در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها

۳.۱. ارزیابی مواجهه

جدول ۱ میانگین، انحراف معیار و حد مجاز مواجهه ۸ ساعته‌ی کشوری (OEL) غلظت هیدروکربن‌ها را برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب برای تخمین میزان ریسک نشان می‌دهد. اگرچه میانگین غلظت بنزن در تمام مجتمع‌ها از حد مجاز مواجهه‌ی کشوری، کمتر می‌باشد، اما در مجتمع پنج (۳۰ درصد)، مجتمع شش (۱۵ درصد)، مجتمع ده (۱۷ درصد)، مجتمع دوازده (۲۰ درصد)، مجتمع سیزده (۱۸ درصد)، مجتمع چهارده (۳۷ درصد)، مجتمع هجده (۴۰ درصد) مواجهه افراد با بنزن از حد مجاز مواجهه، بیشتر می‌باشد. غلظت متانول، فنول، ارتو-متازیلن، پارازیلن، کلروبنزن، متیل‌اتیل‌کتون، ان‌هگزان، تولوئن، اتیل بنزن، تری‌کلرواتیلن و استیرن در تمام افراد از حد مجاز مواجهه‌ی کشوری، کمتر بود. با وجود این که میانگین غلظت اپی‌کلروهیدرین در تمام مجتمع‌ها از حد مجاز مواجهه کمتر بود، اما ۱۸ درصد افراد در مجتمع پنج، ۲۸ درصد افراد مجتمع شش، ۵۰ درصد افراد مجتمع هفت، ۱۵ درصد افراد مجتمع هفده و ۱۷ درصد افراد مجتمع بیست و یک با اپی‌کلروهیدرین بیشتر از حد مجاز،

مواجهه داشتند.

۳.۲. ارزیابی ریسک هیدروکربن‌های سرطان‌زا

جدول ۲ میانگین، حداکثر، حداقل، صدک ۲۵، ۵۰ (میان‌ه) و صدک ۷۵ ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) هیدروکربن‌های سرطان‌زا را نشان می‌دهد. از آنجا که برخی شاخص‌ها دارای واریانس نسبتاً بزرگ بوده و توزیع کاملاً متقارنی نداشتند، برای درک بهتر نتایج و تعیین درصد افرادی که در محدوده‌ی ایمن قرار دارند، از شاخص‌های متعدد برای مقایسه با حد قابل قبول سازمان جهانی بهداشت استفاده شد. ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) در گستره‌ی بین 10^{-5} تا 10^{-6} او کمتر از این مقدار توصیه‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت WHO به‌عنوان مرجع در این مطالعه در نظر گرفته شد (۶). بر طبق مطالعات گذشته، مقدار LCR بیشتر از 10^{-4} به‌عنوان ریسک قطعی (Definite Risk)، LCR بین 10^{-4} تا 10^{-5} ریسک احتمالی (Probable Risk) و LCR بین 10^{-5} تا 10^{-6} به‌عنوان ریسک امکان‌پذیر (Possible Risk) دسته‌بندی شد (۱۶-۱۷). در این مطالعه، ۱۶۷ نفر با بنزن مواجهه داشتند. در مقایسه‌ی ریسک بنزن با حد توصیه‌شده‌ی سازمان جهانی بهداشت، فقط حداقل ریسک بنزن در محدوده‌ی قابل قبول (10^{-5} تا 10^{-6} او کمتر از این مقدار) قرار داشت و این باعث ایجاد نگرانی درباره‌ی مواجهه افراد با بنزن می‌باشد. ۸۴ نفر با اپی‌کلروهیدرین مواجهه داشتند در مقایسه‌ی ریسک اپی‌کلروهیدرین با حد توصیه‌شده‌ی سازمان جهانی بهداشت، حداکثر و صدک ۲۵ در حد قابل پذیرش و میانگین، میان‌ه، صدک ۷۵ و حداکثر ریسک اپی‌کلروهیدرین بیشتر از حد توصیه‌شده‌ی سازمان جهانی بهداشت بود. ۵۴ نفر با اتیل بنزن مواجهه داشتند. در مقایسه‌ی ریسک اتیل بنزن با حد توصیه‌شده‌ی سازمان جهانی بهداشت، میان‌ه، صدک ۷۵ و حداکثر ریسک اتیل بنزن، بیشتر بود. ۹ نفر از پرسنل در مواجهه با تری‌کلرواتیلن بودند. در مقایسه‌ی ریسک تری‌کلرواتیلن با حد توصیه‌شده‌ی سازمان جهانی بهداشت، میانگین،

جدول ۱: میانگین، انحراف معیار و حد مجاز مواجهه کشوری ترکیبات آلی فرار در مجتمع های محل نمونه برداری بر حسب میلی گرم بر متر مکعب

میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
مجتمع ۱	۰/۵۶۲	۰/۳۲۶	۰/۱۰۶	۰/۰۴	۲/۸۸	۰/۱۹۳	-	-	۰/۲۴۵	۰/۱۲			
مجتمع ۲	۰/۲۴۸	۰/۱۳۹	۰/۱۴۷	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۱۹۷	-	-	۰/۲۴۰	۰/۲۴			
مجتمع ۳	۰/۴۲۴	۰/۵۲۶	-	-	-	۰/۰۹۰	-	-	-	-			
مجتمع ۴	۰/۳۵۰	۰/۴۵۹	۰/۰۹۸	-	۰/۸۶	۰/۱۳۳	-	-	۰/۱۴۴	۰/۴۳			
مجتمع ۵	۰/۷۳۲	۲۰/۴	۰/۲۰۱	۳/۰۴	۲۵/۵۹	۰/۲۴۹	۱۲/۹۸	۰/۰۹۳	۲۵/۰۳	۰/۰۵۷			
مجتمع ۶	۰/۵۸۱	۰/۶۲	۰/۳۲۶	۲/۰۲	۱/۸۷	۰/۳۱۴	۱/۱۲۴	۰/۴۴	۱/۰۲	۰/۲۸			
مجتمع ۷	۰/۲۳۶	۰/۸۱۸	۰/۰۶۷	۱/۶۴	۱/۳۲	۰/۱۱۸	۱/۶۲	-	۰/۵۶۶	-			
مجتمع ۸	۰/۲۳۶	۰/۰۲۳	۰/۱۰۴	۰/۰۱	-	۰/۰۰۹	-	-	-	-			
مجتمع ۹	۰/۴۵۱	۰/۵۶۱	۰/۱۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴۸	۰/۱۰۵	-	-	۰/۰۶۲	-			
مجتمع ۱۰	۰/۴۸۶	۰/۵۳۵	۰/۱۷۱	۰/۲۲	۳/۲۴	۰/۳۰۸	۰/۰۸۴	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۰۹			
مجتمع ۱۱	۰/۳۳۷	۰/۲۶۷	۰/۰۹۴	۰/۰۳	۱/۵۱	۰/۱۳۴	۰/۲۹۰	-	۰/۲۹۹	-			
مجتمع ۱۲	۰/۵۹۴	۰/۶۷۱	۰/۱۶۱	۰/۳۰	۲/۶۱	۰/۲۲۸	۰/۱۱۸	۰/۲۴	۰/۰۳۴	۰/۹۰			
مجتمع ۱۳	۰/۳۷۷	۰/۶۲۵	۱/۰۰۶	-	۲/۲۰	۰/۲۴۰	۰/۱۵۵	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۲۱			
مجتمع ۱۴	۰/۵۲۱	۱/۲۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۸۷	۰/۲۵۸	۰/۱۹۳	۰/۵۴	۲/۵۲	۱/۲۳			
مجتمع ۱۵	۰/۳۰۶	۰/۲۱۶	۰/۱۲۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۲۵	۰/۲۲۴	۰/۱۳	۰/۰۲۷	-			
مجتمع ۱۶	۰/۴۶۹	۰/۴۰۱	۰/۶۳۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۴۰	۰/۱۱۵	۰/۱۸	۰/۱۶۸	-			
مجتمع ۱۷	۰/۳۹۷	۰/۳۳۱	۰/۸۵۱	۱/۴۵	۱/۰۴	۰/۱۸۷	۰/۱۳۹	۰/۲۴	۰/۲۴	۱/۱۱			
مجتمع ۱۸	۱/۳۲۳	۱/۱۸	۰/۳۳۴	۰/۱۰	۰/۵۹	۰/۵۱۱	۰/۱۵۲	۰/۷۴	۰/۰۷۱	۰/۰۲۵			
مجتمع ۱۹	۰/۶۲۲	۰/۲۹۰	۰/۲۴۷	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۵۱	۰/۱۱۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۱/۳۶			
مجتمع ۲۰	۰/۳۴۸	۰/۳۱۴	۰/۰۸۵	۰/۵۰	۰/۳۹	۰/۳۲۳	-	-	۰/۰۱۳	-			
مجتمع ۲۱	۰/۷۳۷	۰/۳۳۱	۰/۴۳۲	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۸۷۷	۰/۱۱۹	۰/۳۵	۰/۰۶۵	۰/۰۳۳			
حد مجاز مواجهه	۱/۶	۱/۸۹	۷۵	۸۷	۴۶۲	۴۳۴							

مقایسه با حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت قابل پذیرش، ۳۸/۵ درصد غیر قابل پذیرش و ۵۰/۳ درصد افراد بدون مواجهه با اپی کلروهیدرین گزارش شدند. بالاترین میانگین ریسک اپی کلروهیدرین مربوط به مجتمع سیزده (۱۰^{-۴} × ۱۰^{-۱۸}) با ریسک قطعی می باشد، در این مجتمع، ۱۰۰ درصد ریسک اپی کلروهیدرین از حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت بیشتر می باشد. بالاترین ریسک اپی کلروهیدرین، مربوط به مشاغل فنی می باشد که ۶۳ درصد افرادی که این شغل را دارند، ریسک آنها غیر قابل پذیرش بود. در کل مجتمع ها، ۱۳/۶ درصد ریسک اتیل بنزن در مقایسه با حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت قابل پذیرش، ۱۸/۳ درصد ریسک اتیل بنزن غیر قابل پذیرش و ۶۸ درصد افراد بدون مواجهه با اتیل

میانه، صدک ۷۵ و حداکثر ریسک تری کلرواتیلن بیشتر بود. در نهایت، ۴ نفر با استیرن مواجهه داشتند که در مقایسه‌ی ریسک استیرن با حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت، میانگین، صدک ۷۵ و حداکثر ریسک استیرن، بیشتر بود. جدول ۳ ریسک سرطان زایی طول عمر (LCR) را برای هیدروکربن های سرطانزا به تفکیک مجتمع محل نمونه برداری نشان می دهد. در این مطالعه، ۹۷/۶ درصد افراد، دارای ریسک بنزن بالاتری از حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت بودند و ۱/۲ درصد افراد ریسک بنزن کمتر از حد توصیه شده و ۱/۲ درصد افراد بدون مواجهه با بنزن بودند و در تمام مجتمع ها، میانگین ریسک بنزن از حد توصیه شده‌ی سازمان جهانی بهداشت بیشتر بود. به طور کلی، ۱۱/۲ درصد ریسک اپی کلروهیدرین در

ادامه جدول ۱: میانگین، انحراف معیار و حد مجاز مواجهه کشوری ترکیبات آلی فرار در مجتمع های محل نمونه برداری بر حسب میلی گرم بر متر مکعب

مجتمع	پارازایلین		منیل اتیل کتون		کلروبنزن		تری کلرواتیلن		فنول		ان هکزان		استیرن	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
مجتمع ۱	۰/۰۷۲	۰/۰۰۴	۱/۵۶۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۲	۰/۱۱۲	۰/۰۳	۰/۲۴۴	۰/۲۴	۰	۰	۰/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۳	۰/۰۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۴۱۲	۰	۰	۰
مجتمع ۴	۰/۱۰۴	۰/۰۶۷	۰	۰	۰/۳۱۷	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۵	۰/۱۸۳	۰/۰۹۲	۰/۱۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۶	۰/۱۳۵	۰/۰۶۹	۰/۳۳۸	۱/۰۱	۱/۳۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۷	۱/۱۸۵	۰	۱/۵۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۷	۰/۷۶	۰/۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۸	۰/۱۳۴	۰	۰/۱۲۶	۰	۰/۱۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۹	۰/۰۴۷	۰	۰/۱۴۴	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰/۲	۰	۰	۰	۲۳/۵	۷/۳۱
مجتمع ۱۰	۰/۱۰۵	۰/۰۲۲	۰/۲۷۹	۰/۰۲	۰/۴۰۳	۱/۹۷	۰	۰	۰/۰۸	۰/۲۷	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۱	۰/۱۰۱	۰/۰۱۶	۰	۰	۰/۲۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۲	۰/۱۰۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳۶	۰	۰	۰	۰/۵۵	۰/۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۳	۰/۱۸۶	۰/۰۳۳	۰	۰	۰/۳۹۱	۰	۰	۰	۰	۲/۱۲	۲/۵۲	۰	۰/۰۶	۰
مجتمع ۱۴	۰/۱۵۶	۱/۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۵	۰/۰۶۷	۰/۰۰۲	۰/۲۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۱	۰/۶۷۵	۰	۰	۰
مجتمع ۱۶	۰/۰۹۳	۰/۰۰۶	۰/۴۳۵	۰	۰/۲۵۶	۰/۱۳	۰	۰	۰	۰/۵۲	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۷	۰/۱۸۷	۰/۰۲۷	۰/۸۸۵	۱/۴۶	۰/۴۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۸	۰/۲۶۶	۰/۰۰۷	۰/۴۵۹	۰/۱۷	۰/۲۴۳	۰/۰۳۵	۳/۸۷	۱/۵۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۱۹	۰/۱۲۳	۰/۰۳۸	۰/۳۱۹	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۲۰	۰/۰۷۳	۰/۰۰۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجتمع ۲۱	۰/۱۰۱	۰/۰۰۶	۰/۲۸۰	۰/۰۹	۰/۱۵۱	۰	۰/۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حد مجاز مواجهه	۴۳۴	۵۹۰	۴۶	۵۴	۱۹	۱۷۶	۸۵							

تری کلرواتیلن مربوط به مجتمع هجده (۹/۵۱×۱۰^{-۵}) با ریسک احتمالی بود که از حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت بیشتر بود. در این مجتمع، ۱۰۰ درصد افرادی که با تری کلرواتیلن مواجهه داشتند ریسک بالاتری نسبت به مقدار توصیه شده سازمان جهانی بهداشت داشتند. بالاترین ریسک تری کلرواتیلن مربوط به مشاغل فنی و نمونه گیر بود که ۱۰۰ درصد افرادی که این مشاغل را انجام می دادند ریسک بالاتری از حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت را داشتند. در کل مجتمع ها، ۱/۸ درصد افراد دارای ریسک استیرن قابل پذیرش در مقایسه با حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت، ۰/۶ درصد افراد

بنزن بودند. بالاترین ریسک اتیل بنزن مربوط به مجتمع پنج (۹/۹۴×۱۰^{-۴}) با ریسک قطعی بود، در این مجتمع، ۱۰۰ درصد ریسک اتیل بنزن از حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت بیشتر بود. بالاترین ریسک اتیل بنزن مربوط به مشاغل کارگر سایت و مامور گشت بود که ۱۰۰ درصد افرادی که این مشاغل را دارند ریسک اتیل بنزن آنها از حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت بیشتر بود. در کل مجتمع ها، ۱/۸ درصد ریسک تری کلرواتیلن در مقایسه با حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت قابل پذیرش، ۳/۶ درصد غیر قابل پذیرش ۹۴/۷ درصد افراد بدون مواجهه با تری کلرواتیلن بودند. بالاترین ریسک

جدول ۲: ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) و نسبت خطر (HQ) هیدروکربن ها به تفکیک سرطانزایی و غیر سرطانزایی

LCR هیدروکربن های سرطانزا					
استیرن	اتیل بنزن	تری کلرواتیلن	ایپی کلروهیدرین	بنزن	حداقل
8×10^{-7}	8×10^{-7}	$2/5 \times 10^{-6}$	3×10^{-7}	$2/6 \times 10^{-6}$	صدک ۲۵
3×10^{-6}	5×10^{-6}	$7/33 \times 10^{-6}$	$1/0.46 \times 10^{-5}$	$5/94 \times 10^{-5}$	صدک ۵۰
$7/24 \times 10^{-6}$	$1/39 \times 10^{-5}$	$1/42 \times 10^{-5}$	$1/98 \times 10^{-5}$	$1/13 \times 10^{-4}$	میانگین
$8/96 \times 10^{-5}$	$5/11 \times 10^{-5}$	$6/59 \times 10^{-5}$	$4/92 \times 10^{-5}$	$2/83 \times 10^{-4}$	صدک ۷۵
$2/59 \times 10^{-4}$	$3/68 \times 10^{-5}$	$5/61 \times 10^{-5}$	$3/98 \times 10^{-5}$	$2/36 \times 10^{-4}$	حداکثر
$3/43 \times 10^{-4}$	10^{-3}	$4/21 \times 10^{-4}$	$7/31 \times 10^{-4}$	$1/4 \times 10^{-3}$	

ادامه جدول ۲: ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) و نسبت خطر (HQ) هیدروکربن ها به تفکیک سرطانزایی و غیر سرطانزایی

HQ هیدروکربن های غیر سرطانزا							
فنول	متانول	تولوئن	کلروبنزن	پارازایلن	ان هگزان	ارتومتازایلن	متیل اتیل کتون
$0/0.128$	$0/0.016$	$0/0.1$	$0/0.5$	$0/16$	$0/58$	$0/38$	$0/0.674$
$0/0.36$	$0/0.036$	$0/0.26$	$0/15$	$0/36$	$0/64$	$0/6$	$0/25$
$0/10$	$0/0.06$	$0/0.57$	$0/38$	$0/58$	$1/10$	$0/8$	$0/63$
$0/12$	$0/0.46$	$0/28$	$1/0.57$	$1/32$	$2/0.89$	$1/84$	$1/12$
$0/19$	$0/0.12$	$0/16$	$1/39$	$1/0.6$	$1/85$	$1/92$	$1/27$
$0/32$	$2/80$	$15/61$	$6/0.3$	$14/24$	$7/0.6$	$11/6$	$3/97$

جدول ۳: ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) هیدروکربن های سرطانزا به تفکیک محل نمونه برداری

استیرن	تری کلرواتیلن	اتیل بنزن	ایپی کلروهیدرین	بنزن	مجموع
-	-	-	$8/66 \times 10^{-6}$	$1/34 \times 10^{-4}$	مجموع ۱
-	$1/66 \times 10^{-5}$	$1/7 \times 10^{-5}$	$1/0.4 \times 10^{-5}$	$5/1 \times 10^{-5}$	مجموع ۲
-	-	-	-	$1/25 \times 10^{-4}$	مجموع ۳
-	-	$1/14 \times 10^{-4}$	$1/34 \times 10^{-5}$	$1/32 \times 10^{-4}$	مجموع ۴
-	-	$9/94 \times 10^{-4}$	$1/74 \times 10^{-5}$	$1/76 \times 10^{-4}$	مجموع ۵
-	-	$7/9 \times 10^{-6}$	$2/31 \times 10^{-5}$	$1/99 \times 10^{-4}$	مجموع ۶
-	$1/0.3 \times 10^{-5}$	$8/51 \times 10^{-5}$	$4/94 \times 10^{-6}$	$4/77 \times 10^{-5}$	مجموع ۷
-	-	-	$6/48 \times 10^{-6}$	$4/24 \times 10^{-5}$	مجموع ۸
$1/95 \times 10^{-5}$	-	-	$4/63 \times 10^{-6}$	$5/77 \times 10^{-5}$	مجموع ۹
-	-	$8/34 \times 10^{-6}$	$1/92 \times 10^{-5}$	$1/51 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۰
-	-	$2/0.4 \times 10^{-5}$	$7/5 \times 10^{-6}$	$7/42 \times 10^{-5}$	مجموع ۱۱
-	$1/5 \times 10^{-5}$	$9/22 \times 10^{-6}$	$1/41 \times 10^{-5}$	$1/65 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۲
$3/67 \times 10^{-7}$	-	$1/38 \times 10^{-5}$	$1/0.18 \times 10^{-4}$	$1/0.53 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۳
-	-	$2/74 \times 10^{-5}$	$1/3 \times 10^{-5}$	$2/32 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۴
-	-	$2/42 \times 10^{-5}$	$1/47 \times 10^{-5}$	$1/0.39 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۵
-	-	$5/44 \times 10^{-6}$	$3/37 \times 10^{-5}$	$6/92 \times 10^{-5}$	مجموع ۱۶
-	-	$1/0.7 \times 10^{-5}$	$7/41 \times 10^{-5}$	$9/57 \times 10^{-5}$	مجموع ۱۷
-	$9/51 \times 10^{-5}$	$1/17 \times 10^{-5}$	$2/92 \times 10^{-5}$	$3/18 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۸
-	-	$1/12 \times 10^{-5}$	$2/86 \times 10^{-5}$	$1/98 \times 10^{-4}$	مجموع ۱۹
-	-	-	$3/4 \times 10^{-6}$	$3/84 \times 10^{-5}$	مجموع ۲۰
-	$2/94 \times 10^{-5}$	$7/0.5 \times 10^{-6}$	$3/15 \times 10^{-5}$	$1/48 \times 10^{-4}$	مجموع ۲۱

دارای ریسک استیرن غیر قابل پذیرش و ۹۷/۶ درصد افراد بدون مواجهه بودند. بالاترین ریسک استیرن مربوط به مجتمع نه ($1/95 \times 10^{-5}$) با ریسک احتمالی بود. در این مجتمع ۶۰ درصد ریسک استیرن غیر قابل پذیرش و ۴۰ درصد ریسک استیرن قابل پذیرش بود، بالاترین

دارای ریسک استیرن غیر قابل پذیرش و ۹۷/۶ درصد افراد بدون مواجهه بودند. بالاترین ریسک استیرن مربوط به مجتمع نه ($1/95 \times 10^{-5}$) با ریسک احتمالی بود. در این مجتمع ۶۰ درصد ریسک استیرن غیر قابل پذیرش و ۴۰ درصد ریسک استیرن قابل پذیرش بود، بالاترین

۳.۳. ارزیابی ریسک هیدروکربن های غیر سرطانزا

جدول ۴ نسبت خطر (HQ) هیدروکربن های غیر سرطانزا به تفکیک مجتمع محل نمونه برداری

مجتمع	تولوئن	پاراایلین	متانول	ارتو- متاایلین	متیل اتیل کتون	کلروبنزن	ان هگزان	فنول
مجتمع ۱	۰/۰۳۸۶	۰/۳۳۵	۲/۷۲×۱۰ ^{-۳}	۱/۱۳	۲/۲۲	-	-	-
مجتمع ۲	۰/۰۳۹۴	۰/۵۱۶	۴/۲۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۵	۰/۳۴۸	-	-	-
مجتمع ۳	۰/۰۱۸	۰/۲۵۸	۲/۶۸×۱۰ ^{-۳}	-	-	-	۰/۵۸۸	-
مجتمع ۴	۰/۰۲۶۶	۰/۴۶	۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۶۶	-	۰/۳۱۷	-	۰/۰۴۳
مجتمع ۵	۰/۰۴۹۸	۰/۸۴۳	۴/۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۵۴۸	۰/۲۱	-	-	-
مجتمع ۶	۰/۰۶۲۸	۰/۶۲۲	۸/۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۷۹۷	۱/۵۵	۱/۳۹۴	-	-
مجتمع ۷	۰/۰۲۳۸	۵/۴۳۷	۰/۰۲۸	۱/۹۷	۰/۱۳	۰/۰۹۷	-	-
مجتمع ۸	۰/۰۲	۰/۶۱۷	-	-	۰/۱۸	۰/۱۲۸۹	-	-
مجتمع ۹	۰/۰۲۱	۰/۲۱۶	۳×۱۰ ^{-۳}	-	۰/۲	-	-	۰/۰۹۵
مجتمع ۱۰	۰/۰۶۱۶	۰/۴۶	۵/۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۸۳	۰/۳۹۸	۰/۴۰۳	-	۰/۰۴۱
مجتمع ۱۱	۰/۰۲۶۸	۰/۴۶	۴/۴۵×۱۰ ^{-۳}	۱/۳۷	-	۰/۲۳۹	-	-
مجتمع ۱۲	۰/۰۴۵۶	۰/۴۷	۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۸۲	۱/۵۴۸	-	-	-
مجتمع ۱۳	۰/۰۴۸	۰/۸۵۷	۵/۷۵×۱۰ ^{-۳}	۱/۰۰۴	-	۰/۳۹۱	۳/۶	-
مجتمع ۱۴	۰/۰۵۱۶	۰/۷۲	۶×۱۰ ^{-۳}	۵/۲۵	-	-	-	-
مجتمع ۱۵	۰/۰۲۵	۰/۳۰۸	۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۷۲	۰/۳۲	-	۰/۹۶	-
مجتمع ۱۶	۰/۱۲۸	۰/۴۲۸	۸×۱۰ ^{-۳}	۰/۷۷۸	۰/۶۳۵	۰/۲۵۶	۰/۷۴۴	-
مجتمع ۱۷	۰/۰۳۷	۰/۸۶	۰/۰۱۵	۱/۱۴۷	۱/۲۶	۰/۴۱۴	-	-
مجتمع ۱۸	۰/۱۰۲	۱/۲۲	۰/۰۱۴	۰/۹۲	۰/۶۵۵	۰/۲۴۳	-	-
مجتمع ۱۹	۰/۰۵	۰/۵۶۶	۷×۱۰ ^{-۳}	۱/۰۱۳	۰/۴۵۵	-	-	-
مجتمع ۲۰	۰/۰۶۴	۰/۳۳۶	۳/۹۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۷۱۸	-	-	-	-
مجتمع ۲۱	۰/۱۷۵	۰/۴۶۵	۵/۸۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۷	۰/۴	۰/۱۵۱	-	-

جدول ۲ میانگین، حداکثر، حداقل، صدک ۲۵، ۵۰ (میان) و صدک ۷۵ نسبت خطر (HQ) هیدروکربن های غیر سرطانزا را نشان می دهد. در این مطالعه، صدک ۲۵ و میان‌ه‌ی نسبت خطر (HQ) تمام هیدروکربن های غیر سرطانزا کمتر از مقدار رفرنس ۱، توصیه شده توسط WHO بود. همچنین میانگین نسبت خطر (HQ) متانول، فنول، تولوئن کمتر از مقدار رفرنس ۱، توصیه شده توسط WHO بود، اما میانگین نسبت خطر (HQ) متیل اتیل کتون، کلروبنزن، اورتو- متا زایلین، پاراایلین و ان هگزان بیشتر از مقدار رفرنس ۱، توصیه شده توسط WHO بود. این نتایج، نشان دهنده‌ی این است که غلظت هیدروکربن های غیر سرطانزا کمتر از حدی است که باعث نگرانی شود. جدول ۴ نسبت خطر (HQ) هیدروکربن های غیر سرطانزا را به تفکیک مجتمع محل نمونه برداری نشان می دهد.

در این پژوهش، مشخص شد که به دنبال افزایش سن و سابقه‌ی کاری میزان ریسک هیدروکربن های سرطانزا افزایش می یابد، به طوری که ضریب همبستگی اسپیرمن، سن با ریسک هیدروکربن های سرطانزا $R=0/336$ با $Pvalue < 0/001$ و ضریب همبستگی اسپیرمن سابقه‌ی کاری با ریسک هیدروکربن های سرطانزا برابر $R=0/409$ با $Pvalue < 0/001$ می باشد، ولی همبستگی سن و سابقه‌ی کاری با ریسک هیدروکربن های غیر سرطانزا معنادار نشد ($Pvalue > 0/05$). همچنین با استفاده از آماره‌ی آزمون کروسکال _ والیس رابطه‌ی نوع شغل با ریسک هیدروکربن ها بررسی شد که این ارتباط در هیدروکربن های سرطانزا معنادار ($Pvalue = 0/028$) و در مورد هیدروکربن های غیر سرطانزا معنادار نشد ($Pvalue = 0/699$). با توجه به نرمال نبودن داده ها برای

مقایسه‌ی مشاغل از آزمون ناپارامتری من ویتنی استفاده شد. نتایج نشان داد که ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) در مشاغل سایت من از مشاغل فنی بیشتر می باشد ($P_{\text{value}} = 0/002$) و در سایر مشاغل این مقایسه معنادار نشد.

بحث

این مطالعه، با هدف ارزیابی کمی ریسک مواجهه‌ی شغلی با ترکیبات آلی فرار در صنایع شیمیایی وابسته به نفت براساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شد. از ۲۱ مجتمع مورد مطالعه، در ۱۳ مجتمع ریسک بنزن قطعی (بیشتر از 10^{-4}) و در ۸ مجتمع ریسک مواجهه با بنزن احتمالی (10^{-5} تا 10^{-6}) بوده است که یکی از دلایل اصلی بالابودن ریسک بنزن درجه‌ی خطر بالای این هیدروکربن می باشد که باعث می شود فاکتور تشدید (Slope Factor) بالایی را داشته باشد. از آنجا که بنزن سرطان‌زای قطعی انسان می باشد و در گروه ۱ آژانس بین المللی تحقیقات سرطان دسته‌بندی می شود، درجه‌ی خطر بالایی دارد و مواجهه‌ی ناچیز با این هیدروکربن، می تواند آثار جبران ناپذیری بر سلامت افراد بگذارد. به همین دلیل حد مجاز مواجهه با این آلاینده، نیز بسیار پایین و در حد $0/5 \text{ ppm}$ می باشد. اگرچه در مجتمع نوزده در فرایند کاری از بنزن استفاده نمی شود و جزء مواد اولیه‌ی این مجتمع نیز محسوب نمی گردد، باوجود این دلیل ریسک قطعی بنزن، محل جغرافیایی این مجتمع و هم-جواری آن با سایر مجتمع‌ها و آلودگی که از مجتمع‌های مجاور وارد آن می شود، می باشد. علاوه بر غلظت مواجهه، مدت زمان مواجهه، فرکانس مواجهه و سابقه‌ی کار بالا در این مجتمع‌ها باعث ریسک قطعی بنزن می شود. در بیشتر این مجتمع‌ها، مدت زمان مواجهه از ۴۰ ساعت در هفته بیشتر می باشد و چون میزان ریسک با مدت زمان مواجهه و فرکانس مواجهه رابطه‌ی مستقیم دارد، باعث می شود ریسک هیدروکربن‌ها افزایش یابد. در

مطالعه‌ای که توسط Colman Lerner و همکاران در سال ۲۰۱۲ در آرژانتین انجام گردید، مشخص شد که ریسک بنزن در مشاغل تعمیرات، قطعی و در آزمایشگاه ریسک بنزن احتمالی بود (۱۰). همچنین در مطالعه‌ای که توسط Tanasorn Tunsaringkarn و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ایستگاه‌های پمپ بنزین در تایلند صورت گرفت، ریسک بنزن قطعی بود (۱۸). در مجتمع سیزده ریسک اپی کلروهیدرین قطعی بوده است. در این مجتمع، تنها یک نفر با اپی کلروهیدرین مواجهه داشت که غلظت مواجهه در این مجتمع نسبت به بقیه‌ی مجتمع‌ها بالا و مدت زمان مواجهه ۴۲ ساعت در هفته و فرکانس مواجهه ۳۹ هفته در سال و دارای سیزده سال سابقه بود که تمام این عوامل باعث ریسک قطعی اپی کلروهیدرین شد. همچنین درجه‌ی خطر و فاکتور تشدید اپی کلروهیدرین بعد از بنزن، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. ریسک اتیل بنزن در مجتمع‌های چهار و پنج، قطعی و در بقیه‌ی مجتمع‌ها ممکن و احتمالی می باشد. در مجتمع چهار، مدت زمان مواجهه و فرکانس مواجهه بسیار بالا و همچنین دارای سیزده سال سابقه‌ی کار می باشد. همه این عوامل، باعث ریسک قطعی اتیل بنزن می باشد. مجتمع پنج در مقایسه با سایر مجتمع‌ها بیشترین میانگین غلظت اتیل بنزن را به خود اختصاص داده است. مدت زمان مواجهه در این مجتمع، ۴۱ ساعت در هفته و فرکانس مواجهه ۳۸ هفته در سال و دارای یازده و نیم سال سابقه می باشد. همه‌ی این عوامل، باعث بالا رفتن ریسک اتیل بنزن در حد قطعی در این مجتمع شده است. نتایج مطالعه nadal و همکاران نشان داد که ریسک اتیل بنزن در اتاقک جداسازی قطعی، در اتاقک دریافت و تونل کمپوست ریسک احتمالی و در اتاقک هضم بی‌هوازی، ریسک ممکن بود (۱۹). در مطالعه‌ی حاضر، ریسک تری کلرواتیلن در تمام مجتمع‌هایی که افراد با این ماده مواجهه داشتند، در حد احتمالی و ممکن بود که با نتایج مطالعه‌ی nadal و همکاران انطباق داشت و در تمام مشاغل ریسک در حد

در منبع تولید و اقدامات کنترل مدیریتی مانند کاهش ساعت مواجهه از طریق افزایش تعداد کارگران را پیشنهاد داد. در جهت کاهش انتشار هیدروکربن‌ها با توجه به وجود منابع انتشاری زیاد در فرایند تولید، می‌توان با استفاده از بازرسی‌های منظم و برنامه‌ریزی شده و نگهداری مناسب انتشار هیدروکربن‌ها را به حداقل رساند و در این راستا، نشتی را با وسایل قرائت مستقیم مشخص کرد و در نهایت، جهت کنترل هیدروکربن‌ها در این مجتمع‌ها، می‌توان از روش‌های بازیافت کربنی، سوزاندن با شعله‌ی باز و سوزاندن در کوره‌های کاتالیستی استفاده کرد. این روش ارزیابی ریسک، یک روش جامع می‌باشد. زیرا بسیاری از فاکتورهایی را که در میزان ریسک یک ماده‌ی شیمیایی، از جمله: مدت زمان مواجهه، فرکانس مواجهه، سابقه‌ی فرد، نرخ تنفس، وزن بدن و غلظت آلاینده تاثیر دارد، در نظر می‌گیرد. از نتایج این ارزیابی، می‌توان برای اولویت‌بندی منابع جهت کاهش ریسک و اقدامات کنترل مهندسی و مدیریتی استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشکده‌ی بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان جهت تامین منابع مالی و تجهیزات مورد نیاز، ابراز می‌نمایند.

احتمالی و ممکن بود (۱۹). افراد ۲ مجتمع با استیرین مواجهه داشتند که ریسک این ۲ مجتمع (نه و سیزده) احتمالی و پایین بود. استیرین درجه‌ی خطر و فاکتور تشدید پایینی را دارد. نتایج مطالعه‌ی Gue و همکاران نشان داد که ریسک استیرین در محیط داخل احتمالی و ممکن بود (۱۳). نسبت خطر تولوئن در تمام مجتمع‌ها کمتر از یک بود که با نتایج مطالعه‌ی Lee و همکاران در مراکز فتوکپی انطباق داشت (۱۱). در این مطالعه، نسبت خطر ارتو-متازایلن، پارازایلن و ان‌هگزان در بعضی از مجتمع‌ها بیشتر از مقدار رفرنس ۱ بود، ولی در مطالعه‌ی Ramirez و همکاران نسبت خطر این دو ماده کمتر از ۱ بود (۱۶). در این مطالعه، ریسک کلروبنزن در تمام مجتمع‌ها، به جز مجتمع شش، کمتر از مقدار رفرنس ۱ بود و در مطالعه‌ی majumdar و همکارانش نیز ریسک کلروبنزن کمتر از ۱ بود (۲۰). در این مطالعه با افزایش سن و سابقه‌ی کاری ریسک هیدروکربن‌های سرطان‌زا افزایش یافت، ولی در هیدروکربن‌های غیر سرطان‌زا میزان ریسک افزایش نیافت. به این علت که نرخ ریسک در هیدروکربن‌های سرطان‌زا بسیار پایین و در حد 10^{-6} می‌باشد و در این هیدروکربن‌ها، حد مجاز مواجهه نیز بسیار پایین می‌باشد. در نتیجه در هیدروکربن‌های سرطان‌زا، رابطه‌ی سن و سابقه‌ی کاری با ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) معنادار شد. در جهت کاهش ریسک بنزن، از آنجا که امکان حذف بنزن از طریق جایگزینی با یک ماده‌ی کم خطرتر وجود ندارد، می‌توان اقدامات کنترل مهندسی برای کنترل

References

1. Environmental Protection Agency. Volatile Organic Compounds (VOCs). USA: Environmental Protection Agency. ۲۰۱۲ [updated ۲۱/۰۸/۲۰۱۲; cited ۲۱/۰۵/۲۰۱۲]; Available from: <http://www.epa.gov/iaq/voc2.html>.
2. Thammakhet C, Muneesawang V, Thavarungkul P, Kanatharana P. Cost effective passive sampling device for volatile organic compounds monitoring. *Atmospheric Environment*, ۲۰۰۶; ۴۰(24): 4589-96.
3. Caro J, Gallego M. Environmental and biological monitoring of volatile organic compounds in the workplace. *Chemosphere*, ۲۰۰۹; ۷۷(۳): 426-33.
4. Chang TY, Huang KH, Liu CS, Shie RH, Chao KP, Hsu WH, Bao BY. Exposure to volatile organic compounds and kidney dysfunction in thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) workers. *J hazard Mater* 2010; 178(1-3): 934-40.
5. Sarma SN, Kim YJ, Ryu JC. Gene expression profiles of human promyelocytic leukemia cell lines exposed

- to volatile organic compounds. *Toxicology*, ۲۰۱۰; ۲۷۱(۳): 122-30.
6. WHO (World Health Organization). Air quality guidelines for Europe. Regional Office for Europe, Copenhagen, Copenhagen. ۳th ed; ۲۰۰۰. [updated Accessed February ۲۸, ۲۰۱۱]; Available from: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/۷۴۷۳۲/۰۰۰۵/E۷۱۹۲۲.pdf.
 7. Rumchev K, Brown H, Spickett J. Volatile organic compounds: do they present a risk to our health? *Rev Environ Health*, ۲۰۰۷; ۲۲(۱): 39-55.
 8. IARC (International Agency for Research on Cancer). List of classifications by alphabetical order. [updated May ۱۴, ۲۰۱۱]; Available from: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>.
 9. Robson MG, Toscano WA. Risk assessment for environmental health: John Wiley & Sons; 2007.
 10. Colman Lerner JE, Sanchez EY, Sambeth JE, Porta AA. Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina. *Atmospheric Environment*, ۲۰۱۲; ۵۵: 440-7.
 11. Lee CW, Dai YT, Chien CH, Hsu DJ. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers. *Environ Res*, ۲۰۰۶; ۱۰۰(۲): 139-49.
 12. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods Provides Analytical Tools that Help Keep Workers Safe, 2011 [cited ۲۳ ۲۰۱۳ April]; Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-113/>
 13. Guo H, Lee SC, Chan LY, Li WM. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environ Res*, ۲۰۰۴; ۹۴(۱): 57-66.
 14. US EPA. Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentrations and Application of Inhalation Dosimetry. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA/۰۶۶/۹۰-۸/۶۰۰ F. U.S.
 15. Payne-Sturges DC, Burke TA, Breysse P, Diener-West M, Buckley TJ. Personal exposure meets risk assessment: a comparison of measured and modeled exposures and risks in an urban community. *Environ Health Perspect*, ۲۰۰۴; ۱۱۲(۵): 589-98.
 16. Ramírez 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. *Environ Int*, ۲۰۱۲; ۳۹(۱): 200-9.
 17. Sexton K, Linder SH, Marko D, Bethel H, Lupo PJ. Comparative Assessment of Air Pollution-Related Health Risks in Houston. *Environ Health Perspect*, ۲۰۰۷; 115(10): 1388-93.
 18. Tunsaringkarn T, Prueksatit T, Kitwattanavong M, Siri Wong W, Sematong S, Zapuang K, Rungsiyothin A. Cancer risk analysis of benzene, formaldehyde and acetaldehyde on gasoline station workers. *Journal of Environmental Engineering and Ecological Science*, 2012.
 19. Nadal M, Inza I, Schuhmacher M, Figueras MJ, Domingo JL. Health risks of the occupational exposure to microbiological and chemical pollutants in a municipal waste organic fraction treatment plant. *Int J Hyg Environ Health*, ۲۰۰۹; ۲۱۲(۶): 661-9.
 20. Majumdar D, Dutta C, Mukherjee AK, Sen S. Source apportionment of VOCs at the petrol pumps in Kolkata, India; exposure of workers and assessment of associated health risk. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, ۲۰۰۸; ۱۲(۸): 524-30.

Quantitative risk assessment of occupational exposure to Volatile Organic Compounds in the oil-dependent chemical industry

Samira Rahimnejad.,

MSc Student of Occupational Health Eng., School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

Abdolrahman Bahrami.,

Professor of Occupational Health Eng., School of Public Health Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

Mohammadjavad Assari.,

Tutor of Occupational Health Eng., School of Public Health Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

Alireza Sultanian.,

Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Razzagh Rahimpoor.,

MSc Student of Occupational Health Eng., School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

Amirreza Negahban.,

MSc Student of Occupational Health Eng., School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

FarshidGhorbani Shahna.,

Assist. Prof of Occupational Health Eng., School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan ,Iran

Received:13/07/2014, Revised:04/08/2014, Accepted:28/08/2014

Corresponding Author:

FarshidGhorbani Shahna.,
Hamadan University of Medical
Science, Hamadan ,Iran
fghorbani@umsha.ac.ir

Abstract

Background and Purpose: Personal exposure to volatile organic compounds can cause variety of adverse health effects, containing a large range from non-cancer effects up to cancer. The purpose of this study was quantitative risk assessment of occupational exposure to Volatile Organic Compounds in the oil-dependent chemical industry.

Materials and Methods: In this cross sectional study NIOSH 1501& 2549 methods were applied for sampling and analyzing the amount of hydrocarbons in the oil-dependents of chemical and after detecting hydrocarbons, the quantitative risk assessment was calculated by United States Environmental Protection Agency method. Also the Hazard Quotient parameter for non-cancer VOCs and Life time Cancer Risk for cancer VOCs were calculated. The collected data were analyzed by SPSS16 software.

Results: The Life time Cancer Risk (LCR) of benzene for 13complexes were Definite and for 8 complexes, in all complexes that have been studied, the LCR of benzene were more than threshold limit recommended by WHO. The Lifetime Cancer risk of trichloroethylene in one complex and ethyl benzene in two complexes were Definite. The Hazard Quotient of xylene, chlorobenzene, methyl ethyl ketone and N-hexane in several complexes were more than values recommended by WHO. There are significant relationships between carcinogenic hydrocarbons risk and parameters like age and work history, with the correlation coefficient of 0.336 and 0.409 respectively ($P < 0.001$).

Conclusion: This method of risk assessment is comprehensive and achieved results can be used for correcting and controlling prioritization of resources in case of reducing the level of risk.

Keywords: Risk assessment; Volatile Organic Compounds; Occupational exposure; chemical industry&oil