Original article

Health Risk Assessment of Occupational Exposure to BTEX in the Painting unit of a Bicycle Industry in Quchan, Iran

Mahmoud Mohammadyan[1]
Hadi Naderi[2*]
Seyed Nouraddin Mousavinasab[3]
Hadi Mahmoodi Sharafe[2]
Ali Rafiei[4]
Mohammad Dasturani[5]

1- Professor, Department of Occupational Hygiene Engineering, Health Sciences Research Center, Addiction Institute, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
2- MSc, Department of Occupational Hygiene Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
3- Associate Professor, Department of Biostatistics, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
4- MSc, Department of Occupational Hygiene Engineering, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
5- BSc in Occupational Hygiene Engineering, Quchan Health Center, Khorasan Razavi, Iran

***Corresponding author:** Hadi Naderi, Department of Occupational Hygiene Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: naderih3@mums.ac.ir

Received: 31 October 2020
Accepted: 05 December 2020

ABSTRACT

Introduction and purpose: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) is regarded as one of the most important pollutants in organic compounds present in paint compounds the toxic effects of which are well known. Therefore, the aim of this study was to investigate the health risk assessment of exposure of the painting unit workers of a bicycle industry to BTEX compounds and provide control solutions.

Methods: In this cross-sectional study, 48 personal exposure samples of workers during two seasons of winter and spring were collected using the National Institute for Occupational Safety and Health 1501 (NIOSH 1501) method from six sections of the painting unit in a bicycle industry. Then, the data were analyzed by Gas Chromatography with Flame Ionization Detector (GC-FID) and their exposure risk was estimated by the Environmental Protection Agency (EPA) method.

Results: The cancer risk of benzene and ethylbenzene in all sections exceeded the EPA acceptable criteria. The paint preparation cabin had the highest cancer risk with 8.2 per 1,000 and 1.2 per 1,000 workers for benzene and ethylbenzene, respectively. Noncancer risk of benzene in all sections, toluene in the primer paint cabin and polishing and finishing paint cabin, and xylene in the paint preparation cabin and cascade painting exceeded the EPA criteria.

Conclusion: Due to the high levels of cancer risk of benzene and ethylbenzene in all sections, high noncancer risk of BTEX compounds in some sections, and in general simultaneous presence of all vapors of BTEX, all sections of paint unit need to be improved in terms of the working environment, such as engineering controls and modification of work procedures.

Keywords: Bicycle industry, BTEX, Cancer risk, Health risk assessment, Noncancer risk, Paint

▶ **Citation:** Mohammadyan M, Naderi H, Mousavinasab SN, Mahmoodi Sharafe H, Rafiei A, Dasturani M. Health Risk Assessment of Occupational Exposure to BTEX in the Painting unit of a Bicycle Industry in Quchan, Iran. Journal of Health Research in Community. Autumn 2020;6(3): 43-54.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه کارگران با BTEX در یک صنعت دوچرخه‌سازی در شهر قوچان

محمود محمدیان[1]
هادی نادری[2*]
سید نورالدین موسوی‌نسب[3]
هادی محمودی شرفه[2]
علی رفیعی[4]
محمد دستورانی[5]

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، پژوهشکده اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۵. کارشناس مهندسی بهداشت حرفه‌ای، شبکه بهداشت و درمان قوچان، خراسان رضوی، ایران

* نویسنده مسئول: هادی نادری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: naderih3@mums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵

چکیده

مقدمه و هدف: BTEX ازجمله مهم‌ترین آلاینده‌های ترکیبات آلی است که در ترکیبات رنگ وجود دارد و اثرات سمی آن به‌خوبی شناخته شده است. هدف این مطالعه ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه کارکنان واحد رنگ یک کارخانه دوچرخه‌سازی با ترکیبات BTEX و ارائه راهکارهای کنترلی است.

روش کار: در این مطالعه توصیفی مقطعی ۴۸ نمونه از مواجهه فردی کارکنان در دو فصل زمستان و بهار از شش بخش واحد رنگ یک کارخانه دوچرخه‌سازی، با استفاده از روش NIOSH 1501 جمع‌آوری و سپس با استفاده از دستگاه GC-FID تعیین مقدار شد و ریسک مواجهه آن‌ها با روش EPA ارزیابی شد.

یافته‌ها: ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در تمام بخش‌ها بیش از حد قابل قبول آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده بود. بخش کابین رنگ‌سازی بیشترین ریسک سرطان‌زایی را داشت که مواجهه با بنزن در ۸/۲ نفر و اتیل بنزن در ۱/۲ نفر در هر ۱۰۰۰ نفر بود. ریسک غیرسرطانی بنزن در تمامی بخش‌ها، تولوئن در کابین رنگ آستر، پولیش‌کار و کابین رنگ رویه و زایلن در کابین رنگ‌سازی و آبشار رنگ بیش از حد مجاز بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به بالابودن ریسک سرطان بنزن و اتیل بنزن در تمام بخش‌ها و همچنین بالابودن ریسک غیرسرطان برخی ترکیبات BTEX در برخی بخش‌ها و در کل با توجه به حضور هم‌زمان همه آلاینده‌های سنجیده‌شده در یک محل، تمام بخش‌های واحد رنگ به بهسازی محیط کار مانند کنترل‌های فنی مهندسی و اصلاح رویه‌های کاری نیاز دارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک بهداشتی، دوچرخه‌سازی، رنگ، ریسک غیرسرطان، سرطان‌زایی، BTEX

◄ **استناد:** محمدیان، محمود؛ نادری، هادی؛ موسوی‌نسب، سید نورالدین؛ محمودی شرفه، هادی؛ رفیعی، علی؛ دستورانی، محمد. ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه کارگران با BTEX در یک صنعت دوچرخه‌سازی در شهر قوچان. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۹؛۶(۳): ۵۴-۴۳.

مقدمه

ترکیبات آلی فرار از منابع مختلفی منتشر می‌شوند و با توجه به بالابودن فشار بخار این ترکیبات، راه تنفسی مهم‌ترین راه جذب

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

آن‌ها محسوب می‌شود [۱،۲]. ترکیبات BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) از مهم‌ترین ترکیبات خانواده آلاینده‌های آلی فرار هستند که استفاده گسترده‌ای در فرایندهای صنعتی دارند. این ترکیبات در گروه‌های مختلف مواد سرطان‌زا طبقه‌بندی شده‌اند و سمیت عصبی دارند. ترکیبات BTEX در گروه آلاینده‌های دارای اولویت سازمان حفاظت محیط‌زیست قرار دارند. این ترکیبات محرک سیستم تنفسی هستند و توانایی آسیب‌رساندن به سیستم اعصاب مرکزی را دارند [۳]. سازمان جهانی بهداشت این گروه از ترکیبات آلی فرار را در دسته آلاینده‌های خطرناک هوا تقسیم‌بندی کرده است [۴].

سازمان بین‌المللی تحقیق روی سرطان (IARC: International Agency for Research on Cancer) بنزن را در گروه ۱ مواد «سرطان‌زای انسانی» و اتیل بنزن را در گروه ۲ «سرطان‌زای ممکن انسانی» طبقه‌بندی کرده است [۵]. آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده (US-EPA: United States Environmental Protection Agency) نیز بنزن را به‌عنوان سرطان‌زای قطعی انسانی تقسیم‌بندی کرده است [۶]. مواجهه طولانی‌مدت با بنزن باعث تأثیر بر سیستم خون‌ساز، سیستم عصبی و تولیدمثل می‌شود [۷]. مواجهه مزمن با اتیل بنزن نیز با اثرات نامطلوب روی سیستم عصبی و کلیه‌ها ارتباط دارد [۸]. از سایر عوارض مزمن مواجهه با این مواد می‌توان به آنمی آپلاستیک، پن سیتوپنی، مشکلات ریوی مانند کوتاهی تنفس، تحریک قسمت فوقانی سیستم تنفسی، ورم ملتحمه، اختلالات عصبی دیگر مانند تاری دید و افزایش نرخ لوسمی و سرطان ریه اشاره کرد [۹]. مواجهه با تولوئن نیز باعث آسیب به سیستم عصبی مرکزی و دستگاه تولیدمثل می‌شود [۱۰].

نمونه‌برداری و تجزیه آلاینده‌ها در هوا به‌منظور اندازه‌گیری و کنترل هوابردهای شیمیایی در محیط‌های کاری انجام می‌گیرد و اندازه‌گیری مستقیم غلظت آلاینده در منطقه تنفسی فرد به‌عنوان معتبرترین روش برای اندازه‌گیری مواجهه است که با ترکیب داده‌های مربوط به مواجهه و مقدار-پاسخ مواد شیمیایی می‌توان ریسک مربوط به مواد شیمیایی را محاسبه کرد [۱۱]. ازآنجاکه طبق تعریف شورای تحقیقات ملی آمریکا (NRC: United States National Research Council) ارزیابی ریسک روشی برای تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوه مواجهه با خطرات محیطی تعریف می‌شود [۱۲]. برای دستیابی به اهداف بهداشتی، فهم ارتباط میان مواجهه با ترکیبات سمی و ریسک‌های بهداشتی مرتبط با آنان ضروری است [۱۳]. همچنین برای تصمیم‌گیری در زمینه اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر عوارض سوء ناشی از مواد شیمیایی، لازم است ریسک‌های بهداشتی ناشی از مواجهه با این مواد به‌طور اختصاصی ارزیابی شود [۱۴].

با توجه به اثرات بهداشتی ترکیبات BTEX، پایش این ترکیبات و ارزیابی ریسک بهداشتی آن‌ها اولین راه برای انجام اقدامات کنترلی مواجهه شغلی با این ترکیبات است. همچنین پیدایش اطلاعات جدید در زمینه اثرات نامطلوب بهداشتی مواجهه با ترکیبات شیمیایی سبب شده است ارزیابی ریسک به‌عنوان ابزاری توانمند و قوی به‌منظور کمّی‌کردن ریسک برای اهداف نظارتی استفاده شود [۱۵]. در سال‌های اخیر ارزیابی ریسک بهداشتی در مطالعات مختلف به کار گرفته شده است. دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در واحد رنگ یک صنعت خودروسازی از روش ارزیابی ریسک بهداشتی به روش EPA استفاده کردند. آنان میزان ریسک سرطان‌زایی را برای بنزن و اتیل بنزن در هر ۱۰۰۰ نفر در واحد کابین رنگ ۱۰ و ۲/۵ نفر، در پیش‌رنگ ۳/۶۳ و ۱/۸ نفر و در سالن رنگ ۱/۲۷ و ۰/۳۹ نفر گزارش کردند. ریسک غیرسرطان نیز برای بنزن در تمام بخش‌ها، زایلن در کابین رنگ و پیش‌رنگ بیشتر از حد مجاز بود [۱۶]. Lerner و همکاران غلظت BTEX و ریسک سرطان بنزن و تری کلرواتیلن را که برای تعمیرات الکترومکانیکی و نقاشی ماشین به‌طور مکرر از حلال استفاده می‌کنند، بیشتر از مکان‌های دیگر گزارش کردند [۱۷]. ریسک سرطان بنزن در مطالعه هراتی و همکاران ۸/۷ مورد در هر ۱۰۰۰ نفر گزارش شد [۱۸].

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

با توجه به اینکه حلال‌های آلی از اجزای اصلی ترکیبات رنگ هستند و به‌خاطر اثرات سمی BTEX و اهمیت جذب آن‌ها از راه تنفسی، اندازه‌گیری غلظت آن‌ها در هوای تنفسی، پایش و ارزیابی ریسک بهداشتی این ترکیبات در صنایعی که با رنگ سروکار دارند، خصوصاً با توجه به اینکه در صنعت دوچرخه‌سازی این کار انجام نشده است، ضروری به نظر می‌رسد. ازاین‌رو، هدف این مطالعه پایش مواجهه تنفسی و ارزیابی ریسک بهداشتی کارکنان واحد رنگ یک کارخانه دوچرخه‌سازی با ترکیبات BTEX در شهر قوچان در زمستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ و ارائه راهکارهای کنترلی است.

روش کار

این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی بود که در واحد شیمی (رنگ) یک کارخانه تولید دوچرخه در شش بخش کابین رنگ‌سازی، قطعه‌چین، پولیش‌کار، آبشار رنگ، کابین رنگ آستر و کابین رنگ رویه، در زمستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ انجام گرفت. فرایند کار بدین ترتیب بود که بعد از ساخت رنگ که در طول مراحل کار در کابین رنگ‌سازی ساخته می‌شد، قطعات چیده و به کابین رنگ آستری اتومات وارد می‌شود. بعد از گذر از کوره با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، وارد کابین رنگ آستری اپراتوری می‌شود. بعد از رنگ‌آمیزی، قطعات وارد کوره با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. پس از خروج از کوره، مرحله رنگ رویه روی آن انجام می‌گیرد و قطعات وارد کوره با دمای ۱۳۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. سپس قطعات به بخش خنک‌کن انتقال داده می‌شود. درنهایت اگر رنگ تأیید شد، به بخش مونتاژ تحویل داده می‌شود. در صورت تأییدنشدن نیز به بخش پولیش‌کاری منتقل می‌شود تا پولیش‌کاری روی آن صورت گیرد. در ادامه قطعات وارد بخش آبشار رنگ می‌شوند تا رنگ‌آمیزی شوند و در صورت تأیید، تحویل مونتاژ شوند.

روش نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

به‌منظور تعیین مواجهه فردی تعداد ۴۸ نمونه از منطقه تنفسی کارگران شاغل در بخش‌ها تهیه شد. برای نمونه‌برداری از بخارات BTEX در منطقه تنفسی به‌منظور تعیین مواجهه شغلی، از روش NIOSH 1501 استفاده شد. نمونه‌های فردی با استفاده از لوله‌های حاوی جاذب‌های جامد زغال فعال تهیه‌شده از پوست نارگیل و پمپ نمونه‌برداری فردی کالیبره‌شده در دبی ۲۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، از هوای منطقه تنفسی افراد مطالعه‌شده در هر بخش تهیه شد. نمونه‌ها پس از کدگذاری، با رعایت اصول حمل و نگهداری به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها با استفاده از ۱ میلی‌لیتر دی سولفید کربن از بستر جاذب استخراج شد. سپس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent 7890A) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) واقع در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مشهد تحلیل شدند.

ارزیابی ریسک بهداشتی

پس از تعیین مقدار آلاینده میزان مواجهه کارکنان با ترکیبات BTEX و به‌منظور ارزیابی ریسک بهداشتی، با درنظرگرفتن سرطان‌زایی BTEXها، بنزن و اتیل بنزن به‌عنوان سرطان‌زا و تولوئن و زایلن به‌عنوان غیرسرطان‌زا، ارزیابی ریسک سرطان برای بنزن و اتیل بنزن و ارزیابی ریسک بهداشتی غیرسرطان‌زایی برای هر چهار ترکیب BTEX با استفاده از روش EPA انجام شد. برای انجام ارزیابی ریسک با روش EPA پس از تعیین تراکم آلاینده‌ها، مقدار جذب تنفسی آلاینده‌ها از طریق رابطه (۱) محاسبه و تعیین شد [۱۹].

$$I = (C \times ET \times EF \times ED) / AT \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه $I(\mu g/m^3)$ متوسط دریافت استنشاقی روزانه، $C(\mu g/m^3)$ غلظت ترکیب مدنظر در نمونه فردی جمع‌آوری‌شده، $ET(hr/day)$ زمان مواجهه، $EF(days/year)$ فرکانس مواجهه،

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

ED(years) سال مواجهه و AT(hours) متوسط عمر فرد است.

در مرحله بعد برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی ترکیبات سرطان‌زای بنزن و اتیل بنزن، مقدار جذب تنفسی محاسبه‌شده در عامل ریسک سرطان‌زایی ضرب و ریسک سرطان‌زایی تعیین شد [۱۵].

رابطه (۲)

$$\text{Cancer risk} = I\ (\mu g/m3) \times \text{cancer unit risk factors}\ (\mu g/m^3)$$

که عامل ریسک سرطان‌زایی برای بنزن برابر $۲/۹*۱۰^{-۵}$ و برای اتیل بنزن $۲/۵*۱۰^{-۶}$ است.

برای محاسبه ریسک‌های غیرسرطان مرتبط با مواجهه با مواد شیمیایی نیز از روش شاخص نسبت خطر (Hazard Quotient) از طریق تقسیم مقدار جذب تنفسی به سطح مواجهه رفرنس (REL: Reference Exposure Level) به‌صورت زیر استفاده شد:

رابطه (۳)

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = I\ (\mu g/m3) / \text{RELs}\ (\mu g/m3)$$

REL غلظتی است که در مقادیر کمتر آن هیچ‌گونه اثر بهداشتی نامطلوبی برای یک دوره مواجهه مشخص رخ نمی‌دهد. این سطح برای بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به ترتیب ۳، ۳۰۰، ۲۰۰۰ و ۷۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است [۲۰].

ارزیابی مواجهه کارگران با مخلوط مواد شیمیایی

برای ارزیابی مواجهه کارگران با مخلوط مواد آلی از شاخص مواجهه یا EI طبق رابطه (۴) استفاده شد.

رابطه (۴)

$$EI=\frac{C1}{T1}+\cdots+\frac{Cn}{Tn}\leq 1$$

عوامل محیطی

در جریان نمونه‌برداری عوامل محیطی مؤثر در غلظت آلاینده‌ها در هوای محیط کار مثل دما، رطوبت، فشار هوا، سرعت جریان هوا، وضعیت سیستم تهویه موجود و وضعیت باز و بسته بودن درها و پنجره‌ها در چک‌لیستی ثبت شد تا همبستگی آن‌ها با غلظت آلاینده‌ها بررسی شود.

روش‌های تجزیه‌وتحلیل آماری

درنهایت داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ شد تا تجزیه‌وتحلیل شود. ارتباط بین داده‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با آزمون ویلکاکسون و کروسکال والیس و همبستگی آن‌ها با آزمون همبستگی اسپیرمن بررسی شد.

یافته‌ها

ارزیابی میزان مواجهه کارگران با BTEX

جدول ۱ میانگین میزان مواجهه فردی را در هر بخش به تفکیک در دو فصل زمستان و بهار نشان می‌دهد. بخش کابین رنگ‌سازی در هر دو فصل زمستان و بهار بیشترین میزان غلظت بنزن را داشت. همچنین کابین رنگ‌سازی بیشترین میزان غلظت اتیل بنزن را در فصل بهار داشت. پس‌ازآن آبشار رنگ بیشترین غلظت اتیل بنزن را در فصل زمستان داشت. در میانگین غلظت اتیل بنزن در دو فصل، کابین رنگ‌سازی با ۱/۴۵۸ پی‌پی‌ام بیشترین غلظت را به خود اختصاص داد. در این بخش زایلن نیز بیشترین میزان غلظت را داشت. بیشترین میزان تولوئن در فصل زمستان در کابین رنگ رویه و در فصل بهار در بخش پولیش کار بود. از نظر میانگین غلظت در دو فصل نیز کابین رنگ رویه بیشترین غلظت تولوئن را میان بخش‌ها داشت.

میزان مواجهه کارگران با مخلوط ترکیبات BTEX

شاخص EI نشان داد میزان مواجهه کارگران در بخش‌های کابین رنگ آستر، کابین رنگ‌سازی، آبشار رنگ و کابین رنگ

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

جدول ۱: میانگین غلظت (پی‌پی‌ام) مورد مواجهه تنفسی کارگران در بخش‌های مختلف

بخش	کابین رنگ آستر		پولیش کار		قطعه‌چین		کابین رنگ‌سازی		آبشار رنگ		کابین رنگ رویه	
تعداد نمونه	۱۲		۸		۴		۴		۸		۱۲	
فصل	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار
بنزن	۰/۲۴±۰/۷۶۷	۰/۳۳±۰/۷۰۵	۰/۱۳±۰/۳۸۲	۰/۲۸±۰/۴۷۳	۰/۰۰۴±۰/۳۵۲	۰/۲۳±۰/۲۷۷	۱/۳±۱/۲۳۴	۰/۲۲±۱/۰۲۸	۰/۱۶±۰/۷۹۳	۰/۷۱۲	۰/۱۲±۰/۹۱۵	۰/۲۸±۰/۸۱۹
تولوئن	۰/۳۱±۰/۶۱۵	۳/۳±۱/۷۸۲	۰/۲۵±۰/۵۶۲	۳/۱±۱/۹۳۹	۰/۳۱±۰/۶۹۲	۰/۴±۰/۴۶۷	۰/۶۶±۰/۷۰۵	۰/۲۴±۰/۵۶۷	۰/۲۲±۰/۶۳۷	۰/۵۲۴	۰/۳۸±۰/۹۳۴	۰/۲۳±۱/۷۱۹
اتیل بنزن	۰/۳۷±۰/۶۹۶	۰/۳۳±۰/۶۱۶	۰/۲±۰/۵۸۲	۰/۲۸±۰/۵۵۳	۰/۲۶±۰/۶۱	۰/۲±۰/۲۷	۰/۳±۱/۶۴	۰/۱±۱/۲۷۶	۱/۸±۱/۷۷۸	۰/۹۰۷	۰/۸۷±۱/۰۲۸	۰/۱۴±۰/۹۸۲
زایلن	۱/۰۳±۱/۶۹	۰/۳۶±۰/۷۸۷	۰/۹۸±۱/۰۳۷	۰/۷۷±۱/۱۶۶	۱/۲±۱/۲۱۹	۰/۵۴±۰/۶۲۶	۰/۲۵±۰/۸۶۶	۶/۳±۸/۱۶۲	۵/۳±۳/۹۵۲	۳/۱۲۷	۰/۶۱±۱/۴۰۱	۰/۹۴±۱/۴۵

رویه بیش از ۱ یا بیش از حد مجاز است و در بخش‌های پولیش کار و قطعه‌چین کمتر از ۱ و کمتر از حد مجاز است (جدول ۲).

بررسی ارتباط میزان غلظت BTEX با پارامترهای مختلف

آزمون ویلکاکسون نشان داد بین غلظت هر کدام از ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فصل زمستان و بهار ارتباط معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). در بررسی همبستگی غلظت ترکیبات با پارامترهای سایکرومتری، آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد در فصل زمستان غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به پارامترهای دما، سرعت جریان هوا و رطوبت وابسته نیست. در فصل بهار نیز فقط غلظت بنزن با سرعت جریان هوا (r=۰/۶۹۸، P=۰/۰۰۰) و رطوبت (r=۰/۵۹، P=۰/۰۰۲) همبستگی بسیار خوب و با دما (r=۰/۴۴۳، P=۰/۰۳) همبستگی خوبی داشت. جدول ۳ شرایط محیطی را در بخش‌های مختلف

جدول ۲: میزان مواجهه کارگران در واحدهای مختلف با مخلوط ترکیبات BTEX

غلظت	کابین رنگ آستر	پولیش کار	قطعه‌چین	کابین رنگ‌سازی	آبشار رنگ	کابین رنگ رویه
شاخص EI	۱/۵۷۸	۰/۹۵۷	۰/۶۹	۲/۴۱۲	۱/۶۳۷	۱/۸۶۴

جدول ۳: شرایط محیطی در بخش‌های مختلف در دو فصل زمستان و بهار

	دما		سرعت جریان هوا		رطوبت	
فصل	زمستان	بهار	زمستان	بهار	زمستان	بهار
کابین رنگ آستر	۱۸/۸۳±۱/۱۶	۲۴/۶۶±۱/۵۰	۰/۸۶±۰/۱۸	۰/۸۳±۰/۰۸	۳۴/۸۳±۸/۴۲	۲۲/۰۰±۲/۲۸
پولیش کار	۱۹/۰۰±۱/۶۳	۳۰/۰۰±۲/۴۴	۰/۹۲±۰/۱۲	۰/۷۷±۰/۱۷	۴۰/۵۰±۴/۲۰	۲۱/۲۵±۰/۹۵
قطعه‌چین	۱۷/۰۰±۰/۰۰	۲۱/۰۰±۱/۴۱	۰/۷۵±۰/۲۱	۰/۸۵±۰/۲۱	۳۵/۰۰±۲/۸	۲۳/۰۰±۲/۸۲
کابین رنگ‌سازی	۲۰/۰۰±۲/۸۲	۳۱/۰۰±۱/۴۱	۰/۹۰±۰/۲۸	۱/۰۵±۰/۲۱	۴۱/۰۰±۴/۲۴	۲۰/۵±۲/۱۲
آبشار رنگ	۱۷/۲۵±۰/۹۵	۲۳/۲۵±۴/۰۳	۱/۰۰±۰/۳۹	۰/۹۲±۰/۱۲	۳۵/۷۵±۵/۶۷	۲۴/۲۵±۴/۳۴
کابین رنگ رویه	۱۷/۸۳±۱/۷۲	۲۵/۳۳±۲/۳۳	۰/۹۱±۰/۲۱	۱/۰۳±۰/۱۷	۳۶/۰۰±۷/۲۹	۲۲/۳۳±۳/۰۱

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

نشان می‌دهد.

ارزیابی ریسک بهداشتی

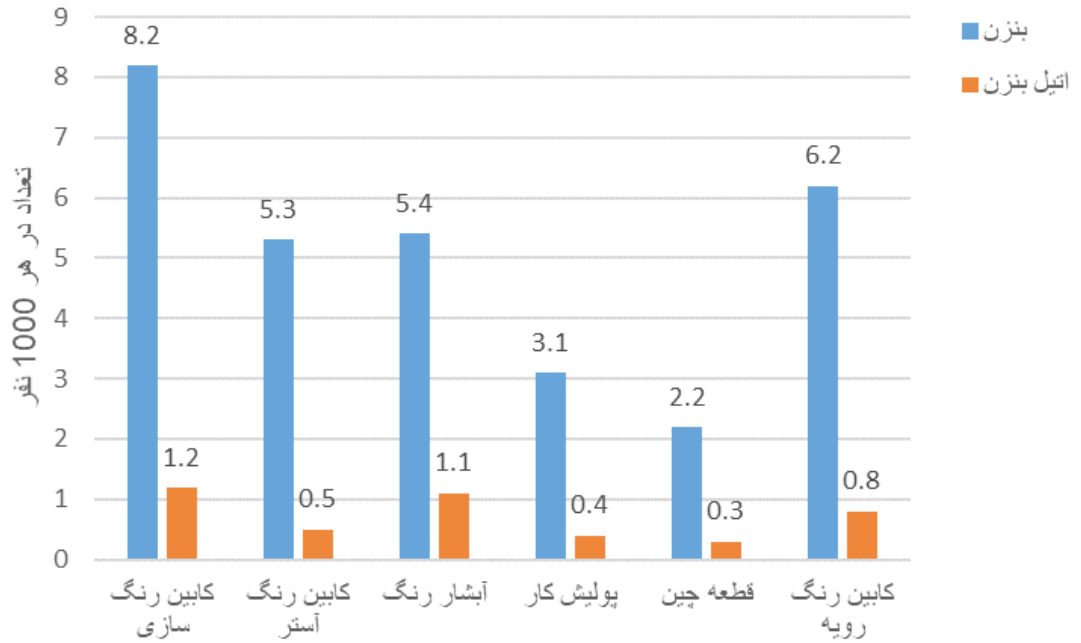
میزان جذب تنفسی مزمن کارگران هر بخش با احتساب مواجهه ۲۰ ساله کارگران با توجه به اینکه واحد رنگ شامل کار سخت و زیان‌آور است، در جدول ۴ ارائه شده است. این میزان با ساعت مواجهه ۸ ساعته و ۳۰۰ روز مواجهه در سال محاسبه شده است.

ریسک سرطان‌زایی برای مدت ۲۰ سال مواجهه با بنزن و اتیل بنزن در هر بخش در ۱۰۰۰ نفر در نمودار ۱ نشان داده شده است. بیشترین میزان سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در بخش کابین رنگ‌سازی بود. این میزان برای بنزن با ۸/۲ نفر و برای اتیل بنزن ۱/۲ نفر از هر ۱۰۰۰ نفر در ۲۰ سال بود. کمترین میزان سرطان‌زایی نیز در بین بخش‌ها در بخش قطعه‌چین بود.

ریسک غیرسرطان ترکیبات BTEX در بخش‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. شاخص نسبت خطر برای بنزن در

جدول ۴: میزان جذب تنفسی مزمن (میکروگرم بر مترمکعب) ترکیبات BTEX در بخش‌های مختلف

	کابین رنگ آستر	پولیش کار	قطعه‌چین	کابین رنگ‌سازی	آبشار رنگ	کابین رنگ رویه
بنزن	۱۸۴/۱۹	۱۰۷/۰۱	۷۸/۷۷	۲۸۲/۹۱	۱۸۸/۲۸	۲۱۶/۸۱
تولوئن	۳۵۳/۶۴	۳۶۹/۰۴	۱۷۱/۰۵	۱۸۷/۷	۱۷۱/۳۴	۳۹۱/۳۱
اتیل بنزن	۲۲۳/۰۷	۱۹۲/۹۸	۱۴۹/۷۳	۴۹۵/۵۵	۴۵۶/۵۷	۳۴۱/۷۵
زایلن	۴۲۱/۰۴	۳۷۴/۵۹	۳۱۳/۸	۱۵۳۴/۳۸	۱۲۰۳/۰۶	۴۸۴/۶۶



نمودار ۱: ریسک سرطان‌زایی برای بنزن و اتیل بنزن در هر ۱۰۰۰ نفر در بخش‌های مختلف

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

جدول ۵: ریسک غیرسرطان برای ترکیبات BTEX در بخش‌های مختلف

غلظت	کابین رنگ آستر	پولیش کار	قطعه‌چین	کابین رنگ‌سازی	آبشار رنگ	کابین رنگ رویه
بنزن	۶۱/۳۹۹	۳۵/۶۷۱	۲۶/۲۵۷	۹۴/۳۰۳	۶۲/۷۶۱	۷۲/۲۷
تولوئن	۱/۱۷۸	۱/۲۳	۰/۵۷	۰/۶۲۵	۰/۵۷۱	۱/۳۰۷
اتیل بنزن	۰/۱۱۱	۰/۰۹۶	۰/۰۷۴	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۱۷
زایلن	۰/۶۰۱	۰/۵۳۵	۰/۴۴۸	۲/۱۹۱	۱/۷۱۸	۰/۶۹۲

تمامی بخش‌ها بیش از حد مجاز (یک) و از بقیه ترکیبات بیشتر است. تولوئن در بخش‌های کابین رنگ آستر، پولیش کار و کابین رنگ رویه شاخص بیش از حد مجاز داشت. زایلن نیز در بخش‌های کابین رنگ‌سازی و سپس آبشار رنگ بیش از حد مجاز بود. اتیل بنزن از نظر شاخص نسبت خطر در ریسک غیرسرطان در تمامی بخش‌ها کمتر از حد مجاز بود.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد از بین ترکیبات BTEX تنها بنزن در بخش‌های کابین رنگ، آبشار رنگ، کابین رنگ آستر و کابین رنگ رویه غلظت بیش از حد مجاز مواجهه شغلی ارائه‌شده توسط مرکز سلامت و محیط کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی را دارد. غلظت بخارات تولوئن، اتیل بنزن و زایلن کمتر از حد مجاز شغلی بود. دهقانی و همکاران در مطالعه خود با عنوان «ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرار (BTEX) در واحد رنگ یک صنعت خودروسازی» غلظت بنزن را در یکی از بخش‌ها (کابین رنگ) از سه بخش بیش از حد مجاز ارزیابی کردند. بقیه ترکیبات غلظتی کمتر از حد مجاز داشتند که با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۶]. همچنین هراتی و همکاران در ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی واحد رنگ صنعت خودروسازی میانگین تراکم وزنی-زمانی بنزن و اتیل بنزن را بیش از حد مجاز اعلام کردند که در غلظت بنزن با مطالعه حاضر هم‌راستاست [۸].

گلبابایی و همکاران در بررسی تأثیر عوامل فنی، عملیاتی و محیطی بر میزان مواجهه کارگران، غلظت بنزن را در تمام وظایف شغلی واحد رنگ بیشتر از حد مجاز اعلام کردند. اتیل بنزن و زایلن کمتر از حد مجاز بود [۲۱]. در مطالعه دیگری از گلبابایی و همکاران در یک صنعت پتروشیمی، شاغلان سایت در نوبت عصر و سایت معطر بیشترین میزان مواجهه را با بنزن داشتند [۲۲]. در مطالعه حاضر با وجود کم‌بودن غلظت تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در تمامی بخش‌ها میزان مواجهه کارگران با مخلوط ترکیبات در بخش‌های کابین رنگ آستر، کابین رنگ‌سازی، آبشار رنگ و کابین رنگ رویه بیش از حد مجاز بود. علت بالابودن مواجهه با مخلوط ترکیبات، بالابودن غلظت بنزن بود. بنزن در بخش کابین رنگ‌سازی بیشترین غلظت را نسبت به بخش‌های دیگر داشت. علت آن می‌تواند مواجهه مستقیم با حلال نسبت به بخش‌های دیگر باشد. این بخش از نظر وجود آلاینده، آلوده‌ترین بخش بین بخش‌ها بود. این نتایج با یافته‌های مطالعه دهقانی و همکاران همخوانی دارد. آن‌ها غلظت بنزن را در بخش کابین رنگ بیش از بخش‌های پیش‌رنگ و سالن رنگ ارزیابی کردند [۱۶]. در این مطالعه بین غلظت هر کدام از ترکیبات BTEX در فصل زمستان و بهار ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. علت آن می‌تواند این باشد که در واحد رنگ به دلیل پیش‌بینی‌نکردن شرایط دمایی مناسب هوای جایگزین خروجی از سیستم تهویه، استفاده از ظرفیت کامل سیستم تهویه موجب سردشدن ایستگاه کاری می‌شد. همین موضوع

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

باعث می‌شد حدود نیمی از ظرفیت سیستم تهویه در فصل زمستان به‌کار گرفته شود. درحالی‌که در فصول گرم از حداکثر ظرفیت سیستم تهویه استفاده می‌شد و درب و پنجره‌ها در وضعیت باز قرار می‌گرفت. دلیل دیگر اینکه در فصل زمستان به دلیل پایین‌بودن دما، میزان بیشتری از حلال برای رقیق‌کردن رنگ نیاز بود. طوری که نسبت حلال به رنگ در زمستان ۲:۵ و در بهار ۱:۴ است. علاوه بر آن به دلیل زیادبودن سفارش‌ها در فصل زمستان میزان رنگ بیشتری در زمان مواجهه استفاده می‌شد. این عوامل باعث شد با وجود بالاتربودن دما در فصل بهار نسبت به فصل زمستان که انتظار می‌رفت با توجه به فراریت BTEX تراکم آلاینده بیشتری در فصل بهار به‌دست بیاید، تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌ها در دو فصل یافت نشود.

به نظر می‌رسد در شرایطی مانند شرایط مطالعه حاضر، تهویه و میزان حلال استفاده‌شده، متغیر مهم‌تری نسبت به دما در افزایش میزان غلظت BTEX در هوا باشد. نبود تفاوت معنی‌دار در غلظت‌ها در فصل‌های مختلف در برخی مطالعات قبلی نیز حاصل شده است. در مطالعه مقصودی مقدم و همکاران در بندر ماهشهر بین نمونه‌های فردی ترکیبات سنجیده‌شده تفاوت معنی‌داری در دو فصل زمستان و بهار دیده نشد [۲۳]. در بین ترکیبات BTEX، بنزن به‌خاطر داشتن خطرات بالقوه و سرطان‌زای قطعی انسانی آستانه مجاز پایین و اهمیت زیادی در ایجاد ریسک‌های بهداشتی شاغلان دارد. لذا استفاده از حلال‌های حاوی بنزن یا وجود ناخالصی در حلال‌ها ممکن است موجب بالارفتن غلظت در هوای تنفسی و به‌تبع آن بالارفتن ریسک بهداشتی شود.

از نتایج قابل تأمل این مطالعه یافته مربوط به سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن است که در تمام بخش‌ها بیش از حد مجاز توصیه‌شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده بود. نکته قابل توجه اینکه اتیل بنزن با وجود اینکه غلظتی کمتر از حد مجاز داشت، ولی از نظر ریسک سرطان با توجه به مواجهه مزمن و ریسک واحد سرطان، بیش از حد مجاز توصیه‌شده آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده برآورد شد. بیشترین میزان سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در بخش کابین رنگ‌سازی بود. این میزان برای بنزن ۸/۲ نفر و برای اتیل بنزن ۱/۲ نفر از هر ۱۰۰۰ نفر در ۲۰ سال کاری بود. کمترین میزان سرطان‌زایی برای بنزن و اتیل بنزن نیز در بخش قطعه‌چین به ترتیب ۲/۲ نفر و ۰/۳ نفر در هر ۱۰۰۰ نفر بود.

در مطالعه دهقانی و همکاران نیز ریسک سرطان‌زایی بنزن و اتیل بنزن در تمام بخش‌های واحد رنگ بیشتر از حد توصیه‌شده آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده بود. در بخش کابین رنگ با بیشترین ریسک سرطان، ریسک سرطان بنزن را ۱۰ نفر در هر ۱۰۰۰ نفر و اتیل بنزن را ۲/۵ نفر در هر ۱۰۰۰ نفر برآورد کردند. در مطالعه دهقانی نیز همانند مطالعه حاضر، غلظت اتیل بنزن کمتر از حد مجاز شغلی بود [۱۶]. در بیشتر مطالعات ریسک سرطان‌زایی غیر قابل قبولی برای بنزن گزارش شده است. هراتی و همکاران در ارزیابی ریسک آلاینده‌های شیمیایی در پتروشیمی، ریسک سرطان بنزن موجود در منطقه تنفس را ۸/۷ سرطان در هر ۱۰۰۰ نفر گزارش کردند [۱۸]. هیبتی و همکاران در مطالعه ارزیابی مواجهه و ارزیابی کمّی خطر در معرض BTEX در میان توزیع‌کنندگان فرآورده‌های نفتی، بیشترین ریسک سرطان بنزن را در کارگران بارگیری تانکر با ۱۶/۰۸ نفر در هر ۱۰۰۰ کارگر و کمترین ریسک بنزن را کارکنان اداری با ۰/۰۶ نفر در هر ۱۰۰۰ نفر برآورد کردند [۲۴].

حسینی و همکاران نیز در کارخانه تایرسازی ریسک سرطان را در بنزن ۱۶/۴ مورد در هر ۱۰۰۰ کارگر بیان کردند [۱۹]. مطالعه جوادی و همکاران در مواجهه شغلی کارکنان جایگاه‌های عرضه بنزین و CNG با ترکیبات BTEX، ریسک سرطان بنزن را در CNG و پمپ‌بنزین به ترتیب $۱۵/۸*۱۰^{-۴}$ و $۲۱/۶*۱۰^{-۴}$ برآورد کردند [۲۵]. Lerner و همکاران نشان دادند غلظت BTEX و ریسک سرطان بنزن و تری کلرواتیلن برای تعمیرات الکترومکانیکی و نقاشی ماشین که به‌طور مکرر از حلال استفاده

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

می‌کنند، بیشتر از مکان‌های دیگر است [۱۷]. در مطالعه Bagjagbo و همکاران در بررسی ریسک بهداشتی BTEX در گاراژها با وجود اینکه در تمام گاراژها به‌غیراز یک گاراژ، ریسک سرطان در مواجهه شغلی کمتر از حد توصیه‌شده بود، اما از نظر مواجهه کلی محیطی در تمام گاراژها بیش از حد توصیه‌شده بود که نشان‌دهنده خطر بالقوه سرطان بنزن برای کارگران است [۲۶].

یوسفیان و همکاران در مطالعه ارزیابی خطر سلامتی در تأسیسات زباله جامد شهری و مناطق شهری گزارش کردند احتمالاً BTEX ریسک سرطان‌زایی را برای کارگران در واحد پیش‌پردازش ($۱/۷*۱۰^{-۵}$) افزایش می‌دهد. در مطالعه آن‌ها خطر سرطان‌زایی مشخص از بنزن $۱/۳*۱۰^{-۴}$ در یک سایت شهری مشاهده شد [۲۷]. Durmusoglua و همکاران در محل دفن زباله میانگین خطر ابتلا به سرطان را کمتر از حد قابل قبول از طرف آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده برآورد کردند. علت آن می‌تواند رقیق‌شدن بخارات سرطان‌زا بعد از انتشار از محل دفن زباله ضمن اختلاط با هوا باشد [۲۸].

از نتایج دیگر مطالعه حاضر، شاخص نسبت خطر بود که نشان داد ریسک غیرسرطان برای بنزن در تمامی بخش‌ها بیش از حد مجاز بوده و از بقیه آلاینده‌ها بیشتر است. علت بالابودن شاخص نسبت خطر در بنزن کوچک‌بودن عدد سطح مواجهه رفرنس است. اتیل بنزن که ریسک سرطان بیشتر از حد مجاز داشت، از نظر شاخص نسبت خطر در ریسک غیرسرطان در تمامی بخش‌ها کمتر از حد مجاز بود. این نتایج با یافته‌های دهقانی و همکاران مطابقت دارد [۱۶]. همچنین در بررسی ریسک غیرسرطان تولوئن در بخش‌های کابین رنگ آستر، پولیش کار و کابین رنگ رویه شاخص نسبت خطر بیش از حد مجاز بود. شاخص نسبت خطر زایلن نیز در بخش‌های کابین رنگ‌سازی و سپس آبشار رنگ بیش از حد مجاز بود. در مطالعه دهقانی و همکاران نیز زایلن در بخش‌های کابین رنگ و پیش‌رنگ بیشتر از حد مجاز بود، ولی ریسک غیرسرطان تولوئن کمتر از حد مجاز گزارش شد [۱۶].

هیبتی و همکاران نیز نشان دادند زایلن و به‌ویژه بنزن قوی‌ترین عوامل مؤثر در ریسک غیرسرطان هستند [۲۴]. جوادی و همکاران بیشترین ریسک غیرسرطان را در بنزن و گزیلن گزارش کردند [۲۵]. در مطالعه Durmusoglua و همکاران میانگین ریسک غیرسرطان برای تولوئن، اتیل بنزن و زایلن کمتر از حد قابل قبول بود و ترکیبات BTEX هم از نظر ریسک سرطان و هم غیرسرطان کمتر از حد مجاز بود. علت آن می‌تواند تفاوت در منابع انتشار BTEX، نوع و ماهیت کار و رقیق‌شدن بخارات BTEX بعد از انتشار از محل دفن زباله ضمن اختلاط با هوا باشد [۲۸]. در این مطالعه ریسک سرطان بنزن و اتیل بنزن در تمام بخش‌های واحد رنگ صنعت دوچرخه‌سازی بیش از حد مجاز بود. همچنین ریسک غیرسرطان بنزن نیز بیشتر از حد قابل قبول بود. ریسک غیرسرطان تولوئن در بخش‌های کابین رنگ آستر، پولیش‌کار و کابین رنگ رویه و ریسک غیرسرطان زایلن در بخش‌های کابین رنگ‌سازی و سپس آبشار رنگ بیش از حد مجاز بود.

هرچند از نظر اولویت‌بندی کابین رنگ‌سازی در اولویت کنترل قرار دارد، در کل با توجه به حضور هم‌زمان همه آلاینده‌های سنجیده‌شده در یک محل، تمام بخش‌های واحد رنگ به بهسازی محیط کار مانند کنترل‌های فنی مهندسی، بهبود و اصلاح رویه‌های کاری و دیگر تمهیدات نیاز دارد. می‌توان با انتخاب حلال مناسب از میزان آلاینده‌های خطرناک مانند بنزن کاست؛ چراکه مطالعه حاضر و بررسی مطالعات مختلف نشان داد در کارگرانی که با مشتقات نفتی مانند بنزین و حلال‌های آلی سروکار دارند، بنزن ریسک سرطان و غیرسرطان زیادی دارند که نیاز به برنامه‌ریزی برای کنترل اساسی را می‌رساند. در وهله بعد باید از بهسازی سیستم تهویه و پیش‌بینی مطبوع‌سازی هوای ورودی سیستم تهویه بهره جست. هم‌زمان با اقدامات کنترلی، پایش سلامتی افراد برای تعیین وضعیت سلامتی پیشنهاد می‌شود.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با شماره طرح ۵۳۷۴ و کد اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی .IR. MAZUMS REC.1398.663 است که با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری تقدیر و تشکر می‌کنند. همچنین نویسندگان از مدیریت و کارکنان شرکت دوچرخه‌سازی بابت همکاری صمیمانه‌شان تقدیر می‌کنند.

References

1. Esteve-Turrillas FA, Pastor A, de la Guardia M. Assessing air quality inside vehicles and at filling stations by monitoring benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes with the use of semipermeable devices. Anal Chim Acta 2007; 593(1): 108-16.
2. Insam H, Seewald MS. Volatile organic compounds (VOCs) in soils. Biol Fertil Soils 2010; 46(3): 199-213.
3. Sahranavard Y, Zare S, Kalantary S, Omidi L, Karami M. Determining benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) concentrations in the hydrometallurgical environment of sarcheshmeh copper complex. J Occup Hyg Eng 2015; 2(4): 9-13.
4. World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva: World Health Organization; 2010.
5. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Monogr eval carcinog risks hum, benzene, etylebenzen. Water Resourc Res 2000; 7: 227.
6. Periago J, Prado C. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. Ann Occup Hyg 2005; 49(3): 233-40.
7. Tunsaringkarn T, Siriwong W, Rungsiyothin A, Nopparatbundit S. Occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds in Bangkok, Thailand. Int J Occup Environ Med 2012; 3(3): 117-25.
8. Harati B, Shahtaheri SJ, Karimi A, Azam K, Ahmadi A, Afzali Rad M, et al. Risk assessment of chemical pollutants in an automobile manufacturing. Health Saf Work 2017; 7(2): 121-30.
9. Pandya G, Gavane A, Kondawar V. Assessment of occupational exposure to VOCs at the Gantry gasoline Terminal. J Environ Sci Eng 2006; 48(3): 175-82.
10. 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. Environ Sci Technol 2014; 48(1): 689-97.
11. Nieuwenhuijsen M, Paustenbach D, Duarte-Davidson R. New developments in exposure assessment: the impact on the practice of health risk assessment and epidemiological studies. Environ Int 2006; 32(8): 996-1009.
12. National Research Council. Risk assessment in the federal government: managing the process. Washington, D.C: National Academies Press; 1983.
13. Fromme H, Albrecht M, Angerer J, Drexler H, Gruber L, Schlummer M, et al. Integrated exposure assessment survey (INES): exposure to persistent and bioaccumulative chemicals in Bavaria, Germany. Int J Hyg Environ Health 2007; 210(3-4): 345-9.
14. Jahangiri M, Parsarad M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry. Iran Occup Health 2010; 7(4): 18-24.
15. Guo H, Lee S, Chan L, Li W. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. Environ Res 2004; 94(1): 57-66.
16. Dehghani F, Golbabaei 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 Saf Work 2018; 8(1): 55-64.
17. Lerner JC, Sanchez EY, Sambeth JE, Porta AA. Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina. Atmos Environ 2012; 55: 440-7.
18. Harati A, Shahtaheri SJ, Yousefi H, Askari A, Abdolmohamadi N, Sayyahi Z, et al. Risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical company. The 6th Iranian Conference Energy Management and

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]

Environment, Tehran, Iran; 2016.
19. Hosseini S, Rezazadeh-Azari M, Taiefeh-Rahimian R, Tavakkol E. Occupational risk assessment of benzene in rubber tire manufacturing workers. Int J Occup Hyg 2014; 6(4): 220-6.
20. Wang DG, Alaee M, Byer JD, Brimble S, Pacepavicius G. Human health risk assessment of occupational and residential exposures to dechlorane plus in the manufacturing facility area in China and comparison with e-waste recycling site. Sci Total Environ 2013; 445-446: 329-36.
21. Golbabaei F, Kazemi R, Golestan B, Pourtalari M, Shahtaheri J, Rismanchian M. Influence of operational, technical and environmental factors on exposure of motor-vehicle painters to volatile organic solvents. J Sch Public Health Instit Public Health Res 2011; 8(4): 63-71.
22. Golbabaie F, Eskandari D, Azari M, Jahangiri M, Rahimi A, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. Iran Occup Health 2012; 9(3): 11-21.
23. Maghsoodi MR, Bahrami A, Mahjoob H, Ghorbani F. Evaluation of benzene, tolueneand p, m&o-xylene contaminants at Mahshahr petrochemical complex during 2008-9. J Ilam Univ Med Sci 2011; 19(2): 49-59.
24. Heibati B, Pollitt KJ, Karimi A, Charati JY, Ducatman A, Shokrzadeh M, et al. BTEX exposure assessment and quantitative risk assessment among petroleum product distributors. Ecotoxicol Environ Saf 2017; 144: 445-9.
25. Javadi I, Mohammadian Y, Elyasi S. Occupational exposure of Shahindej county refueling stations workers to BTEX compounds, in 2016. J Res Environ Health 2017; 3(1): 74-83.
26. Badjagbo K, Loranger S, Moore S, Tardif R, Sauve S. BTEX exposures among automobile mechanics and painters and their associated health risks. Hum Ecol Risk Assess Int J 2010; 16(2): 301-16.
27. Yousefian F, Hassanvand MS, Nodehi RN, Amini H, Rastkari N, Aghaei M, et al. The concentration of BTEX compounds and health risk assessment in municipal solid waste facilities and urban areas. Environ Res 2020; 191: e1100068.
28. Durmusoglu E, Taspinar F, Karademir A. Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. J Hazard Mater 2010; 176(1-3): 870-7.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1399.6.3.5.8]