Original Article

Iran Occupational Health

http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17:61.

Quantitative health risk assessment of respiratory exposure to 1,3-Butadiene in a petrochemical industry

Mohsen Sadeghi Yarandi, M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Ali Karimi, Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Ali Asghar Sajedian, M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Vahid Ahmadi, M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Farideh Golbabaei, (*Corresponding author) Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. fgolbabaei@tums.ac.ir

Abstract

Background and aims: In recent decades, air quality in different work environments has been a major concern. It is clear that the chemical materials used in industries have a profound effect on the quality of workplace air. In 1942, the number of identified chemicals was about 600,000, in 1947 it was about 4 million, and in 2011 it was about 18 million, while the number of new chemical compounds increased from 1,000 to 2,000 annually. Many people around the world are exposed to a variety of chemicals in various working environment. Exposure to these substances can lead to numerous health and carcinogenic effects on individuals. Among these substances, volatile organic compounds are one of the main contributors to air pollution and due to high vapor pressure, high evaporation rate and rapid release into the environment, many people are exposed and consequently have irreversible effects on their health in various occupations.

Petrochemical industry is one of the industries where workers are exposed to high levels of chemical pollutants in their respiratory air. One of the hazardous volatile organic compounds used in workplaces, including petrochemicals, is 1,3-butadiene (molecular formula: C4H6). 1,3-Butadiene is a colorless gas with smells like gasoline. Many international agencies and government organizations, including the International Agency for Research on Cancer (IARC), have identified this chemical as a human carcinogen by inhalation and placed it in Group 1 of carcinogens. Health effects of this compound include stimulation of the nervous system, eyes, nose, airways, asthma, fatigue, low blood pressure, and heart rate as well as atrophy in the ovaries. Today, many international organizations, including the World Health Organization (WHO) and the US Environmental Protection Agency (USEPA), consider the use of quantitative risk assessment methods as the legal basis for chemical compounds. Generally, the health risk assessment process involves several steps. First, it identify the existing hazards, then measuring the individual's exposure, finally determining the relevant factors and measuring and evaluating the individual's exposure to a particular substance. Afterwards, using different risk assessment methods, graphs and dose-response values, the probability of adverse effects in the population is calculated. Therefore, due to the deleterious effects of the

Keywords

1,3-Butadiene

Health risk

Hazard Quotient

Occupational Exposure

Petrochemical industry

Received: 2019-07-23

Accepted : 2020-04-12

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

1,3- butadiene on the health of those working in the petrochemical industry, and the lack of similar studies in Iran to assess the health risk of the respiratory exposure to 1,3-butadiene in the petrochemical industry, the present study aimed to assess the health risk of occupational exposure to 1,3-butadiene vapors in a petrochemical industry in Iran.

Methods: This cross-sectional study was conducted in the petrochemical industry that produce copolymer ABS (acrylonitrile, butadiene, styrene) in Iran in 2018. In order to determine the respiratory exposure of participants to 1,3-butadiene, NIOSH 1024 method was used. Samples were collected by surface adsorption using adsorbent tubes containing activated charcoal of coconut (600 mg) and manufactured by SKC UK. It should be noted that similar exposure groups were used to assess individual exposure. Sample Size for research according to the proposed model of the National Institute of Occupational Safety and Health (SEG) and based on to the number of workers in each occupational exposure group, were estimated 150 samples of 50 workers' respiratory air. At the sampling site, both sides of the sampling tube were broken and connected to an individual sampling pump made by SKC and calibrated using a soap bubble flow meter at a flow rate of 200 ml/min according to the sampling method. After sampling, the content of activated charcoal in both front (400 mg) and rear (200 mg) sections of the sample tube was transferred to separate 5-ml vials. Then, by using the optimal NIOSH 1024 method, the extraction of the analyte was carried out by using 4-ml methylene chloride as an extraction solvent. Finally, 1µl of the sample with a 10µl gas-tight syringe manufactured by Hamilton Company was injected into the Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) (model CP-3800 gas chromatograph and FID detector, Varian Technologies, Japan).

Assessment of occupational exposure to 1,3-butadiene: In the present study, the occupational exposure limit for 1,3-butadiene (TLV - TWA) was 2 ppm (4.42 mg/m3) based on values reported by the American Conference of governmental Industrial Hygienists (ACGIH). In the present study, occupational exposure index was calculated for each individual. Because the TLV-TWA values are provided with the assumption of working 8-hours a day and 5-days per week, if the working hours per week were more than 40 hours, the TLV-TWA value was corrected by using the Brief and Scala model.

health risk assessment of occupational exposure to 1,3-butadiene: The quantitative risk assessment methodology proposed by the US Environmental Protection Agency (USEPA) has been used to assess the health risk of exposure to 1,3-butadiene. Hazard Quotient (HQ) index was used to calculate the health risk of occupational exposure to 1,3-butadiene.

Health risk is defined as the ratio of chronic daily intake for non-carcinogenic effects to the reference dose. Chronic daily intake (CDI) indicates exposure to a mass of matter per unit of body weight and time in a relatively long period. Inhalation reference dose was derived from the inhalation reference concentration (RfC). Inhalation reference concentration was 2 × 10-3 mg.m-3for 1,3-butadiene according to Integrated Risk Information System (IRIS) databank. In the present study, information such as exposure duration, body weight, exposure time, and exposure frequency were collected by means of a questionnaire. The average inhalation rate ranged from 15.7 to 16 cubic meters per day depending on the age of the participants, according to the values presented in the EPA exposure factors handbook. The average lifetime was 70 years. Finally, data analysis was performed using IBM SPSS Statistics Version

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

25. Descriptive statistics (mean, standard deviation and frequency) were presented. Kruskal-Wallis test and Spearman's correlation coefficient were used at the significant level of 0.05.

Results: The mean respiratory exposure to 1,3-butadiene during work shift among all participants was 560.82 ± 811.36 µg.m-3 and in all cases it was below the corrected occupational exposure limit based on job characteristics. Also, the mean exposure index among all subjects was calculated to be 0.198 ± 0.25 and in all cases, it was lower than the permitted level. The results showed that the highest average respiratory exposure was in the safety and fire-fighting station worker. The average concentration of 1,3-butadiene in the workers' respiratory air in the safety and fire-fighting station was 1791.42 µg.m-3. After the safety and fire-fighting station workers, the highest average concentration of 1,3-butadiene was in the respiratory air of workers in the dryer, compound 1, laboratory, poly-butadiene latex and compound 2 units with exposure index values of 0.38, 0.277, 0.256, 0.223 and 0.189, respectively.

Mean and standard deviation of hazard quotient among all participants was 10.82 ±14.76. It was found that 60% of all exposed workers were in the unacceptable health risk level and 40% were in the acceptable risk level. The highest average of HQ was related to the safety and fire-fighting station workers with a value of 36.57. After the mentioned unit, the highest value of calculated HQ was observed in the dryer, laboratory, compound 2, installation and compound 1 with the values of 18.51, 16.01, 12.23, 11.57and 10.82 respectively. The lowest HQ in the present study was obtained in the workers of packing, mechanical repair and coagulation units with the values of 0.18, 0.58 and 1.39 respectively. Among all examined units, the average non-carcinogenic risk values in the packing and mechanical repair units were lower than the permissible limit (HQ < 1.0).

Conclusion: The results of the present study demonstrated that the health risks associated with exposure to 1,3-butadiene in most of the workers (60%) were in the unacceptable health risk level. Therefore, application of suitable control strategies such as design and implementation of appropriate dilution and local ventilation systems due to the non-standardization of all existing ventilation systems in the industry to reduce the level of respiratory exposure of workersto1,3-butadiene vapors and consequently, the reduction in the amount of health risk caused by exposure to this compound and the use of quantitative health risk assessment methods as a basis for judging the levels of respiratory exposure to hazardous compounds (especially carcinogens due to their high potential risk rates) and prioritizing the various units for the control measures is absolutely essential.

Conflicts of interest: None.

Funding: Tehran University of Medical Sciences.

How to cite this article:
Mohsen Sadeghi Yarandi, Ali Karimi, Ali Asghar Sajedian, Vahid Ahmadi, Farideh Golbabaei. Quantitative health risk assessment of respiratory exposure to 1,3-Butadiene in a petrochemical industry . Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17:61.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۶۱/۱۳۹۹

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی کمی ریسک بهداشتی مواجهه شغلی با بخارات ۳،۱–بوتادین در یک صنعت پتروشیمی

محسن صادقی یارندی: کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
علی کریمی: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
علی اصغر ساجدیان: کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
وحید احمدی: کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
فریده گلبابایی: (* نویسنده مسئول) استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران . fgolbabaei@tums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: ۳،۱– بوتادین یکی از مهم ترین ترکیبات سرطانزا و خطرناک موجود در هوای تنفسی کارکنان شاغل در صنایع پتروشیمی بوده و ارتباط آن با ایجاد اثرات نامطلوب بهداشتی و سرطان خون در بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژیک و کوهورت انجام شده، مشخص گردیده است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کمی ریسک بهداشتی تماس تنفسی با بخارات ۳،۱– بوتادین در یک صنعت پتروشیمی با استفاده از روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام گردید.

روش بررسی: مطالعه حاضر از نوع توصیفی – تحلیلی و مقطعی بوده و در سال ۱۳۹۷ در یک صنعت پتروشیمی تولید کننده کوپلیمرهای آکریلونیتریل، بوتادین و استیرن (ABS) انجام گردید. نمونه مورد مطالعه مشتمل بر کلیه افراد دارای مواجهه تنفسی با ترکیب ۳،۱–بوتادین بر اساس بررسی های اولیه به تعداد ۵۰ نفر انتخاب گردید. میزان مواجهه تنفسی افراد با ۳،۱–بوتادین با استفاده از متد بهینه شماره ۱۰۲۴ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH ۱۰۲۴) اندازه گیری گردیده و برای هر فرد شاخص مواجهه (EI) محاسبه گردید. جمع آوری نمونه ها به روش جذب سطحی و توسط لوله های جاذب ذغال فعال پایه بلند و حاوی زغال فعال انجام گردیده و به منظور آنالیز نمونه ها نیز از دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله ای (GC – FID) استفاده گردید. به منظور ارزیابی ریسک بهداشتی طی مطالعه حاضر از روش کمی پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، شاخص نسبت خطر (HQ)و بانک اطلاعاتی ارائه شده توسط آن به نام سیستم اطلاعات جامع ریسک(IRIS) استفاده گردید. در نهایت داده های تحصیل شده در محیط نرم افزار آماری SPSSویراست ۲۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته ها: میانگین مواجهه تنفسی با ۳،۱–بوتادین در بین افراد مورد مطالعه مقدار ۸۱۱/۳۶ ±۵۶۰/۸۲ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید. همچنین میانگین شاخص مواجهه(EI) در بین افراد مورد مطالعه مقدار ۰/۲۵ ±۰/۱۹۸ محاسبه گردیده و در کلیه موارد پایین تر از مقدار مجاز یک، بدست آمد. میانگین شاخص خطر (HQ) در بین افراد مورد مطالعه مقدار ۱۴/۷۶ ±۱۰/۸۲ محاسبه گردید. مشخص گردید ۴۰ درصد از افراد در محدوده ریسک بهداشتی مجاز و ۶۰ درصد نیز در محدوده بیشتر از حد مجاز قرار دارند.مشخص گردید که بیشترین میانگین شاخص خطر (HQ) مربوط به واحد ایمنی و آتش نشانی با مقدار ۳۶/۵۷ بوده و پس از آن نیز به ترتیب واحدهای درایر، آزمایشگاه، ۳۱۰، تاسیسات و کامپاند به ترتیب دارای میانگین ریسک غیر سرطانزایی ۱۸/۵۱، ۱۶/۰۱، ۱۲/۲۳، ۱۱/۵۷ و ۱۰/۸۲ می باشند. واحدهای شغلی بسته بندی، تعمیرات مکانیک و کواگولیشن نیز به ترتیب دارای کمترین مقادیر ریسک غیر سرطانزایی با میانگین شاخص ۰/۱۸، ۰/۵۸ و ۱/۳۹ بودند. در بین کلیه واحدهای مورد بررسی، واحدهای بسته بندی و تعمیرات مکانیک دارای مقادیر میانگین ریسک غیر سرطانزایی پایین تر از حدود مجاز بودند (HQ< ۱).

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه تنفسی با ۳،۱–بوتادین در اکثریت واحدهای شغلی مورد مطالعه در محدوده ریسک غیر مجاز قرار دارد، لذا به کار گیری اقدامات کنترلی به منظور کاهش میزان مواجهه تنفسی افراد و به تبع آن کاهش مقادیر ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با ترکیب ۳،۱–بوتادینامری کاملا ضروری می باشد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: دانشگاه علوم پزشکی تهران.

کلیدواژه‌ها

۳،۱–بوتادین
ریسک بهداشتی
شاخص خطر
مواجهه شغلی
صنایع پتروشیمی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۴

شیوه استناد به این مقاله:

Mohsen Sadeghi Yarandi, Ali Karimi, Ali Asghar Sajedian, Vahid Ahmadi, Farideh Golbabaei. Quantitative health risk assessment of respiratory exposure to 1,3-Butadiene in a petrochemical industry. Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17:61.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

مقدمه

در طی چند دههٔ اخیر، کیفیت هوای تنفسی در محیط های کاری مختلف از نگرانی‌های اصلی بوده است. بدیهی است که مواد شیمیایی مورد استفاده در صنایع به‌شدت کیفیت هوای محیط های کاری را تحت تأثیر قرار می دهد. (۱ـ۲) در سال ۱۹۴۲، تعداد مواد شیمیایی شناسایی‌شده حدود ۶۰۰,۰۰۰ و در سال ۱۹۴۷، حدود ۴,۰۰۰,۰۰۰ و در سال ۲۰۱۱، به حدود ۱۸,۰۰۰,۰۰۰ رسیده؛ این درحالی است که سالیانه ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ مادهٔ شیمیایی جدید نیز به این تعداد اضافه می شود. (۳) افراد بی‌شماری در سراسر جهان در مشاغل مختلف با مواد شیمیایی متنوعی در تماس هستند. مواجهه با این مواد منجر به اثرات بهداشتی و سرطان‌زایی متعددی در افراد می‌گردد. (۴) از میان این مواد، ترکیبات آلی فرّار یکی از عوامل اصلی آلوده‌کنندهٔ هوا بوده و به‌علت فشار بخار بالا، سرعت تبخیر زیاد و انتشار سریع در محیط اطراف، باعث مواجههٔ بسیاری از افراد و متعاقب آن اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت آنان در مشاغل مختلف می گردد. (۵ـ۷) یکی از صنایعی که در آن کارکنان با حجم زیادی از آلاینده های شیمیایی در هوای تنفسی خود روبه‌رویند، صنایع پتروشیمی است. در صنایع شیمیایی وابسته به نفت، به‌دنبال تجزیهٔ نفت و مواد نفتی، محصولات شیمیایی متفاوتی ازجمله ترکیبات آلی فرّار تولید می گردد. (۸)

مواد منتشره از پالایشگاه ها و پتروشیمی ها عمدتاً شامل ترکیبی از مواد شیمیایی سمی همچون ترکیبات آلی فرّار (مثل ۳،۱- بوتادین، بنزن، اتیل بنزن و...)، فلزات سنگین، هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای و... است. (۹) همان‌طور که گفته شد، یکی از ترکیبات آلی فرّار خطرناک مورد استفاده در محیط های کاری ازجمله پتروشیمی ها، مادهٔ ۳،۱- بوتادین است. ۳،۱- بوتادین یک گاز بی‌رنگ بوده و بویی شبیه به بوی بنزین دارد. (۱۰) مطالعات در زمینهٔ مواجهات شغلی نشان داده اند که بین تماس شغلی با ۳،۱- بوتادین و ایجاد سرطان خون ارتباطی قوی وجود دارد. (۱۱ـ۱۲) آژانس های بین‌المللی و سازمان های دولتی بسیاری، ازجمله آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)[1]، این مادهٔ شیمیایی را سرطان‌زای انسانی از طریق استنشاق معرفی کرده و در گروه ۱ مواد سرطان‌زا قرار داده است. (۱۳) از اثرات غیرسرطان‌زایی و بهداشتی این ترکیب نیز می توان به تحریک سیستم عصبی، چشم ها، بینی، راه های هوایی، ایجاد آسم، ایجاد سردرد، خستگی، کاهش فشارخون و ضربان قلب و همچنین ایجاد آتروفی در تخمدان اشاره کرد. (۱۱، ۱۴ـ۱۵) از این ماده عمدتاً در پتروشیمی ها و صنایع تولید انواع مواد پلاستیکی و کوپلیمری استفاده می شود. همچنین تماس شغلی با این ماده در مشاغلی همچون پالایشگاه ها، صنایع تولید مواد خام به‌منظور تولید نایلون، صنایع تولید حشره‌کش و قارچ‌کش، رنگ‌سازی، سوخت های فسیلی و... اتفاق می‌افتد. (۱۶ـ۱۷) در یک بررسی در امریکا که در طی سال های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۳ انجام شد، تخمین زده شد که حدود ۵۲۰۰۰ نفر در محل کار خود، با ترکیب ۳،۱- بوتادین مواجههٔ مستقیم داشته و مقدار مواجههٔ آن ها بین ۰/۰۶ تا ۳۹ پی‌پی‌ام (۰/۱۳ تا ۸۶/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب) بوده است. (۱۳) بررسی انجام‌شده در فرانسه مشخص کرد که میزان شیوع مواجهه با ۱ و ۳ بوتادین در طی سال های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ در زنان و مردان به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۹۷٪ بوده که این مقدار در سال ۲۰۱۵ کاهش یافته و به‌ترتیب به ۰/۰۸ و ۰/۱۹٪ رسیده است. (۱۸) امروزه بسیاری از سازمان های بین‌المللی ازجمله سازمان جهانی بهداشت (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA)[2] استفاده از روش های ارزیابی کمّی ریسک را مبنای قانون‌گذاری درمورد ترکیبات شیمیایی دانسته. (۱۹) به‌طور کلی فرایند ارزیابی ریسک بهداشتی شامل چند مرحله است. در مرحلهٔ اول مخاطرات موجود شناسایی و سپس میزان مواجههٔ فرد اندازه‌گیری می شود و درنهایت پس از تعیین فاکتورهای مربوطه و اندازه‌گیری و ارزیابی مواجههٔ فرد با مادهٔ معیّن، با استفاده از روش های مختلف ارزیابی ریسک و نمودارها و مقادیر دز ـ پاسخ، میزان احتمال ایجاد اثرات منفی در جمعیت مورد مطالعه محاسبه می گردد. (۱۴، ۲۰) پژوهش‌های در زمینهٔ اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک اثرات ترکیب ۳،۱- بوتادین در صنایع پتروشیمی مشخص کرده اند که این ترکیب ازجمله ترکیبات خطرناک موجود در هوای تنفسی کارکنان شاغل در صنایع پتروشیمی بوده و ریسک فراوانی در ایجاد سرطان های شغلی و اثرات منفی بر سلامت افراد شاغل در چنین محیط های دارد. (۲۱ـ۲۳) لذا با توجه

1 . International Agency for Research on Cancer

2 . United States Environmental Protection Agency

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

به تأثیرات مخرب ترکیب ۳،۱- بوتادین بر سلامتی افراد شاغل در صنایع پتروشیمی ـ که تاکنون مطالعه ای در داخل کشور به‌منظور ارزیابی ریسک بهداشتی ترکیب مذکور در صنایع پتروشیمی انجام نشده ـ تحقیق حاضر با هدف ارزیابی ریسک بهداشتی کمّی مواجهۀ شغلی با بخارات ۳،۱- بوتادین در یک شرکت پتروشیمی در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

روش بررسی

مطالعۀ حاضر از نوع توصیفی ـ تحلیلی و مقطعی بوده و در تابستان سال ۱۳۹۷ در یک صنعت پتروشیمی تولید کنندۀ کوپلیمر اکریلونیتریل، بوتادین و استایرن در ایران انجام شد. نتایج بررسی اولیۀ صنعت پتروشیمی مورد مطالعه ازجمله بررسی نتایج اندازه‌گیری های اولیه، نتایج پایش سال گذشته، ارزیابی فرایند و مواد اولیۀ مصرفی هر واحد و همچنین نظرات کارشناسان بهداشت حرفه ای صنعت مورد مطالعه نشان داد در واحد های شغلی ایمنی و آتش‌نشانی، پلی بوتادین لاتکس، درایر، کامپاند ۱ و ۲، کواگولیشن، نیروگاه، تعمیرات، تأسیسات، بسته‌بندی و آزمایشگاه، مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین وجود دارد؛ لذا در بخش های مذکور ارزیابی مواجهه و ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین انجام شد. معیارهای ورود به مطالعه داشتن حداقل ۱۲ ماه سابقۀ کار، دارا بودن مواجهۀ تنفسی با بخارات ۳،۱- بوتادین طبق نتایج اندازه‌گیری و بررسی های مقدماتی، عدم استعمال دخانیات و رضایت کافی جهت شرکت در مطالعه بوده و معیار خروج از پژوهش نیز نداشتن رضایت کافی جهت شرکت در مطالعه تعیین گردید. همۀ افراد حاضر در مطالعه قبل از نمونه‌برداری‌ها، فرم رضایت‌نامه جهت شرکت در مطالعه را تکمیل نمودند. مراحل پژوهش در زیر بیان شده است.

نمونه‌برداری از هوای تنفسی افراد: به‌منظور نمونه‌برداری از هوای تنفسی افراد از روش معرفی‌شده توسط انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی (متد شماره ۱۰۲۴) استفاده گردید. نمونه ها به روش جذب سطحی و توسط لوله های جاذب زغال فعال پایه‌بلند حاوی زغال فعال با منشأ پوست نارگیل (۶۰۰ میلی‌گرم) و ساخت شرکت SKC انگلستان جمع شد. شایان ذکر است که برای ارزیابی مواجهۀ فردی، از الگوی گروه های با مواجهۀ مشابه (Similar Exposure Groups) استفاده گردید. بدین منظور برای یک فرایند خاص، برای یک بخش خاص از پروسه (محیط فیزیکی خاص) یا برای گروه افراد خاصی از شاغلان فرایند که در معرض تماس مشابه هستند، می توان SEG تعریف کرد. برای ارزیابی میزان مواجهه (که الزام قانونی برنامه های پایش مواجهه است) استراتژی های پایش معمولاً برای گروهی از کارگران که وظایف یکسان به روش مشابه انجام می دهند، تحت عنوان گروه با تماس مشابه SEGs تدوین می‌شود. درصورتی که هدف، ارزیابی میزان مواجهۀ تعداد زیادی از افراد است، می توان افراد را به گروه هایی که مواجهۀ یکسانی با آلایندۀ مورد نظر دارند، تقسیم کرد. (۲۴) حجم نمونۀ مورد نیاز برای انجام پژوهش مطابق الگوی پیشنهادی مؤسسۀ ملی ایمنی و بهداشت شغلی امریکا تحت عنوان گروه های با مواجهۀ مشابه (SEG) و با توجه به تعداد افراد قرارگرفته در هر گروه مواجهۀ شغلی، تعداد ۱۵۰ نمونه از هوای تنفسی ۵۰ شاغل برآورد شد. (۲۵) مواجهۀ تنفسی هر فرد توسط در نمونه (یک نمونه در ابتدای شیفت کاری، یک نمونه میانۀ شیفت کاری و یک نمونه نیز در انتهای شیفت کاری) اندازه‌گیری شد. مدت زمان نمونه‌برداری در هر نوبت، با توجه به حجم هوای مجاز اعلام‌شده در روش مورد استفاده (۵ تا ۲۵ لیتر) به‌منظور جلوگیری از پدیدۀ ترک آلاینده (break-through) در حین نمونه‌برداری و همچنین انجام مطالعات و بررسی های مقدماتی، ۹۰ دقیقه درنظر گرفته شد. در محل نمونه‌برداری، دو طرف لولۀ نمونه‌گیر شکسته شد و با کمک لولۀ رابط به پمپ نمونه‌برداری فردی ساخت شرکت SKC و کالیبره‌شده با استفاده از فلومتر حباب صابون، با دبی ۲۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و مطابق با روش نمونه‌برداری مورد استفاده متصل گردید.

آماده‌سازی نمونه ها و تعیین مقدار آنالیت: پس از اتمام نمونه‌برداری، نمونه ها به آزمایشگاه منتقل شد. محتوای زغال فعال موجود در هر دو بخش جلویی و عقبی لولۀ نمونه‌بردار به ویال های جداگانه ای با حجم ۵ میلی‌لیتر منتقل گردید. سپس با استفاده از روش بهینۀ شمارۀ ۱۰۲۴ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی، استخراج نمونه ها به روش بازیافت شیمیایی و با استفاده از ۴ میلی‌لیتر از متیلن کلراید ساخت شرکت مرک آلمان به‌عنوان محلول بازیافت انجام شد. (۲۶)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

به‌منظور تعیین مقدار آنالیت مورد نظر، ۱ میکرولیتر از محلول آماده‌سازی‌شده توسط سرنگ ۱۰ میکرولیتری ساخت شرکت همیلتون برداشته شد و در محل تزریق دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل VARIAN CP-C۳۸۰۰ ساخت کشور ژاپن، دارای دتکتور یونیزاسیون شعله ای (FID) و دارای ستون کاپیلاری تزریق گردید. از گاز هلیوم نیز به‌عنوان گاز حامل با دبی ۲ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده گردید.

کنترل کیفیت نمونه‌برداری و آنالیز (QC/QA): در مطالعۀ حاضر، تست نمونه های شاهد (Blank) در نمونه‌برداری میدانی و آنالیز آزمایشگاهی به‌منظور بررسی سطوح آلودگی ها و خطاهای احتمالی طی نمونه‌برداری، انتقال و آنالیز انجام گردید. نتایج نشان داد که غلظت ترکیب ۳،۱- بوتادین در هر نمونۀ شاهد کمتر از ۱٪ مقادیر یافت‌شده در نمونه های اصلی است. مقادیر غلظت موجود در نمونه های شاهد نیز از مقادیر یافت‌شده در نمونه های اصلی کسر گردید. به‌منظور تعیین میزان بازیافت آنالیت و تعیین صحت[1] اندازه‌گیری نیز از تست نمونۀ اسپایک (Spike) استفاده شد. همچنین برای رسم نمودار کالیبراسیون، غلظت های مختلف استاندارد کاری (۱، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام)، تهیه‌شده و مقدار ۱ میکرولیتر از محلول های استاندارد کاربردی به دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق شد و با توجه به مساحت پیک ارائه‌شده توسط دستگاه و نیز غلظت های تزریق‌شده برحسب میکروگرم بر میلی‌لیتر، منحنی کالیبراسیون به روش استاندارد خارجی ترسیم گردید. منحنی مذکور دارای ضریب خطی بودن ۰/۹۹۸ (R^2 = ۰/۹۹۸) است. نتایج حاصل از بررسی میزان صحت اندازه‌گیری نشان داد مقدار درصد بازیافت آنالیت، ۸۷٪ است (= Recovery ٪ ۸۷). مقدار حد تشخیص نیز در این مطالعه ۱ میکروگرم در هر نمونه تعیین گردید ($LOD = ۱\ \mu g.m^{-۳}$). همچنین تست نمونه های تکراری به‌منظور بررسی دقت روش انجام شد و مشخص گردید میزان انحرافات نتایج به‌دست‌آمده کمتر از ۵٪ است.

ارزیابی مواجهۀ شغلی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین: در این مطالعه، مقدار حد مجاز مواجهۀ شغلی با ترکیب ۱ و ۳ بوتادین (TLV – TWA)، براساس مقادیر اعلام‌شده توسط انجمن متخصصان بهداشت صنعتی امریکا (ACGIH)، مقدار ۲ پی‌پی‌ام (۴/۴۲ میلی‌گرم بر مترمکعب) درنظر گرفته شد. (۱۰) طی مطالعۀ حاضر، شاخص مواجهۀ شغلی محاسبه‌شده و میزان مواجهۀ افراد براساس فرمول زیر ارزیابی گردید (۲۷):

فرمول ۱:
$$E_i = \frac{C_i}{TLV - TWA_i}$$

که در آن E_i شاخص مواجهۀ شغلی (بدون واحد)، C_i مقدار غلظت بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین اندازه‌گیری‌شده در منطقۀ تنفسی فرد در طول شیفت کاری (میلی‌گرم بر مترمکعب) و $TLV - TWA_i$ مقدار حد مجاز مواجهۀ شغلی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین (میلی‌گرم بر مترمکعب) است. با توجه به اینکه مقدار TLV – TWA ارائه‌شده با فرض ۸ ساعت کار در روز و ۵ روز کار در هفته است، در مواردی که ساعات کار در هفته بیشتر از ۴۰ ساعت کار هفتگی بود، مقدار TLV – TWA با استفاده از مدل بریف اسکالا اصلاح گردید. برای به کار گیری مدل بریف اسکالا در مواجهه های غیر معمول، مقدار فاکتور کاهش روزانه یا هفتگی در مقدار TLV – TWA مورد استفاده، مطابق با رابطه ذیل ضرب می شود (۲۸, ۲۹):

فرمول ۲:
$$TLV - TWA_C = TLV - TWA_i \times \left(\frac{40}{hr} \times \frac{168 - hr}{128}\right)$$

که در آن $TLV - TWA_C$ مقدار حد مجاز مواجهۀ شغلی تصحیح‌شده (میلی‌گرم بر مترمکعب) و hr تعداد ساعات کار در هفته است. چنانچه مقدار شاخص مواجهۀ شغلی محاسبه‌شده برای هر فرد بالاتر از مقدار ۱ باشد، مواجهۀ فرد با بخارات ترکیب مورد بررسی بالاتر از حد مجاز بوده و ریسک بروز اثرات نامطلوب بهداشتی و سرطان‌زایی وجود دارد.

ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین: در این مطالعه، برای ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با بخارات ترکیب مذکور، از روش ارزیابی ریسک کمّی پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) استفاده شده است.

1 . Accuracy

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

به‌منظور محاسبهٔ ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین از روش شاخص خطر[1] استفاده گردید. شاخص مذکور از طریق رابطهٔ زیر محاسبه شد (۳۰ـ۳۱):

فرمول ۳:
$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

که در آن (CDI[2]) مقدار جذب روزانه به‌صورت مزمن (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و RfD دوز مرجع تنفسی[3] (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) است. مقدار جذب روزانه به‌صورت مزمن بیانگر قرار گرفتن در معرض یک توده از ماده در واحد وزن بدن در واحد زمان در دورهٔ زمانی نسبتاً طولانی است. واحد آن میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز ($mg.kg^{-1}.day^{-1}$) بوده و مقدار آن طی مطالعهٔ حاضر از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۲۸، ۳۲):

فرمول ۴:
$$CDI = \frac{Ca \times IR \times ED \times EF \times LE}{BW \times ATL \times NY}$$

که در آن Ca میانگین غلظت آلاینده برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب، IR میانگین میزان تنفس برحسب مترمکعب بر ساعت، ED مدت زمان مواجهه برحسب ساعت در هفته، EF تواتر مواجهه برحسب هفته در سال، LE طول مدت مواجهه برحسب سال، BW وزن بدن برحسب کیلوگرم، ATL متوسط طول عمر فرد بر حسب سال و NY تعداد روزهای سال (۳۶۵) است. مقدار دوز مرجع تنفسی نیز با استفاده از غلظت مرجع تنفسی (RFC) و طبق فرمول زیر محاسبه گردید (۳۱):

فرمول ۵:
$$RfD\left(\frac{mg}{kg \times day}\right) = \frac{RfC \times IR}{BW}$$

که در آن RfC غلظت مرجع تنفسی[4] برحسب میلی‌گرم بر مترمکعب، IR میانگین میزان تنفس برحسب مترمکعب بر روز و BW وزن بدن برحسب کیلوگرم است. غلظت مرجع تنفسی (RFC) به‌عنوان غلظتی از یک ماده تعریف می شود که اگر انسان از طریق تنفس در معرض این غلظت قرار گیرد، به احتمال زیاد اثرات قابل ملاحظهٔ بهداشتی و غیرسرطان زا برای انسان در طول عمر ایجاد نمی شود. (۳۳) غلظت مرجع تنفسی برای ترکیب ۳،۱- بوتادین براساس مقادیر ارائه‌شده در سیستم جامع اطلاعات ریسک (IRIS)[5] طی مطالعهٔ حاضر مقدار ۲×۱۰^{-۳} میلی‌گرم بر مترمکعب انتخاب گردید. (۱۱) براساس استانداردهای اعلام‌شده از سوی سازمان جهانی بهداشت و آژانس حفاظت از محیط زیست ایالت متحده، چنانچه مقدار شاخص خطر کمتر از ۱ باشد (HQ < ۱)، ریسک قابل توجهی از منظر ایجاد اثرات بهداشتی نامطلوب وجود ندارد و اگر مقدار شاخص مذکور بالاتر از ۱ باشد (HQ > ۱)، احتمال ایجاد اثرات غیرسرطان‌زایی و بهداشتی وجود دارد. (۳۴) در این پژوهش، اطلاعات مربوط به مدت زمان کلی مواجهه، وزن بدن، مدت زمان مواجهه در روز و تواتر مواجهه از طریق کاربرگ جمع‌آوری گردید. مقدار میانگین میزان تنفس متناسب با سن افراد مورد مطالعه و در بازهٔ ۱۵/۷ تا ۱۶ مترمکعب بر روز با توجه مقادیر ارائه‌شده در کتابچهٔ فاکتورهای مواجههٔ آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده انتخاب (۳۵) و متوسط طول عمر افراد نیز ۷۰ سال (۳۶) درنظر گرفته شد. مقادیر پارامترهای مورد نیاز در محاسبهٔ مقدار جذب روزانه به‌صورت مزمن و همچنین ریسک بهداشتی در جدول ۱ آورده شده است.

تجزیه و تحلیل داده ها: تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از آمار توصیفی (نظیر میانگین، انحراف معیار و درصد فراوانی)، آزمون های آماری نظیر آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس و ضریب هم‌بستگی اسپیرمن در سطح معناداری ۰/۰۵ و در محیط نرم‌افزار آماری SPSS (ویراست ۲۵) انجام شد. برای بررسی توزیع داده ها نیز از آزمون آماری کولموگروف ـ اسمیرنوف و شاپیرو ـ ویلک استفاده گردید.

یافته ها

نتایج پژوهش حاضر نشان داد میانگین سن، سابقهٔ کار و شاخص تودهٔ بدنی افراد حاضر در مطالعه به‌ترتیب مقادیر ۷۵/ ±۴ ۳۷/۲۵ سال، ۸۸/ ±۴ ۱۱/۳۹ سال و

1 . Hazard Quotien
2 . Chronic Daily Intake
3 . Inhalation Reference Dose
4 . Inhalation Reference Concentration
5 . Integrated Risk Informatiom System

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۱ ـ مقادیر پارامترهای مورد نیاز در محاسبهٔ مقدار جذب روزانه به‌صورت مزمن و ریسک بهداشتی در مطالعهٔ حاضر در بین تمام افراد مورد بررسی

پارامتر	(میانگین) حداکثر ـ حداقل	منبع
سن (سال)	۲۹ – ۵۴ (۳۷/۲۵)	پرسش‌نامه
سابقهٔ کاری (سال)	۱ – ۱۷ (۱۱/۳۹)	پرسش‌نامه
طول مدت مواجهه (سال)	۳۰	پرسش‌نامه
مدت زمان مواجهه (ساعت در روز)	۶ – ۱۲ (۸/۲۷)	پرسش‌نامه
تواتر مواجهه (روز در سال)	۳۱۰	پرسش‌نامه
میانگین میزان تنفس (مترمکعب بر روز)	۱۵/۷ – ۱۶	EPA Exposure Factors Handbook
وزن بدن (کیلوگرم)	۵۲ – ۱۱۰ (۷۹/۰۲)	پرسش‌نامه
متوسط طول عمر (سال)	۷۰	WHO, ACGIH
غلظت مرجع تنفسی (RfC) (میلی‌گرم بر مترمکعب)	۲×۱۰^{-۳}	IRIS. USEPA

جدول ۲ ـ میزان مواجههٔ تنفسی کارکنان با ترکیب ۳،۱- بوتادین برحسب واحدهای شغلی مورد مطالعه

	واحد شغلی	تعداد افراد مورد مطالعه	تعداد نمونه	حداقل تراکم ppm ($\mu g/m^3$)	حداکثر تراکم ppm ($\mu g/m^3$)	میانگین تراکم ppm ($\mu g/m^3$)	p^*
بهره‌برداری	ایمنی و آتش‌نشانی	۵	۱۵	۰/۶ (۱۳۲۶)	۱/۱۵ (۲۵۴۱/۵)	۰/۸۱ (۱۷۹۱/۴۲)	
	آزمایشگاه	۶	۱۸	۰/۰۳۳ (۷۲/۹۳)	۱/۳۳ (۲۹۳۹/۳)	۰/۳۹۵ (۸۷۳/۸۳)	
	کامپاند ۱	۶	۱۸	۰/۰۱۹ (۴۱/۹۹)	۱/۲ (۲۶۵۲)	۰/۴۴۷ (۹۸۸/۴۲)	
	پلی بوتادین لاتکس	۴	۱۲	۰/۰۹۸ (۲۱۶/۵۸)	۰/۷۹ (۱۷۴۵/۹)	۰/۳۴۷ (۷۶۸/۵۲)	
	درایر	۴	۱۲	۰/۴۰۶ (۸۹۷/۲۶)	۰/۸۶۲ (۱۹۰۵/۰۲)	۰/۶۳۴ (۱۴۰۱/۱۴)	
	کامپاند ۲	۴	۱۲	۰/۰۳ (۶۶/۳)	۰/۶ (۱۳۲۶)	۰/۳۱۵ (۶۹۶/۱۵)	
	نیروگاه	۲	۶	۰/۰۱۹ (۴۱/۹۹)	۰/۲۹ (۶۴۰/۹)	۰/۱۵۴ (۳۴۱/۴۴)	
	کواگولیشن	۴	۱۲	۰/۰۱۸ (۳۹/۷۸)	۰/۳۹۷ (۸۷۷/۳۷)	۰/۱۱۸ (۲۶۱/۳۳)	
	بسته‌بندی	۲	۶	۰/۰۱۸ (۴۱/۹۱)	۰/۲ (۴۶۰/۱۹)	۰/۰۶۵ (۱۴۳/۶۵)	۰/۰۳۲
تعمیرات / بازرسی فنی / مانیتورینگ / خدمات	تعمیرات مکانیک	۶	۱۸	۰/۰۱۹ (۴۱/۹۹)	۰/۰۲۱ (۴۶/۴۱)	۰/۰۲ (۴۴/۹۳)	
	برق و ابزار دقیق	۵	۱۵	۰/۰۲ (۴۴/۲)	۰/۲۳۷ (۵۲۳/۷۷)	۰/۰۷۶ (۱۶۹/۶۱)	
	تأسیسات	۲	۶	۰/۰۴۴ (۹۸/۶۵)	۰/۱۹۳ (۴۲۷/۳۹)	۰/۱۵۴ (۳۴۲/۳۶)	
	تمام واحدها	۵۰	۱۵۰	۰/۰۱۸ (۳۹/۷۸)	۱/۳۳ (۲۹۳۹/۳)	۰/۲۵۳ (۵۶۰/۸۲)	

* Kruskal – Wallis test

۴۷/ ۳± ۲۵/۴۳ کیلوگرم بر مترمربع است. نتایج حاصل از بررسی میزان مواجههٔ افراد با ترکیب ۳،۱- بوتادین نشان داد میانگین مواجهه با ترکیب مذکور در بین تمام افراد مورد مطالعه مقدار ۳۶/ ±۸۱۱ ۵۶۰/۸۲ میکروگرم بر مترمکعب (۳۶۷/ ±۰ ۰/۲۵۳ پی‌پی‌ام) بوده و در همهٔ موارد پایین تر از حدود مجاز مواجههٔ

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



نمودار ۱ـ مقادیر شاخص مواجههٔ تنفسی با ۳،۱- بوتادین (E_i) در واحدهای شغلی مختلف

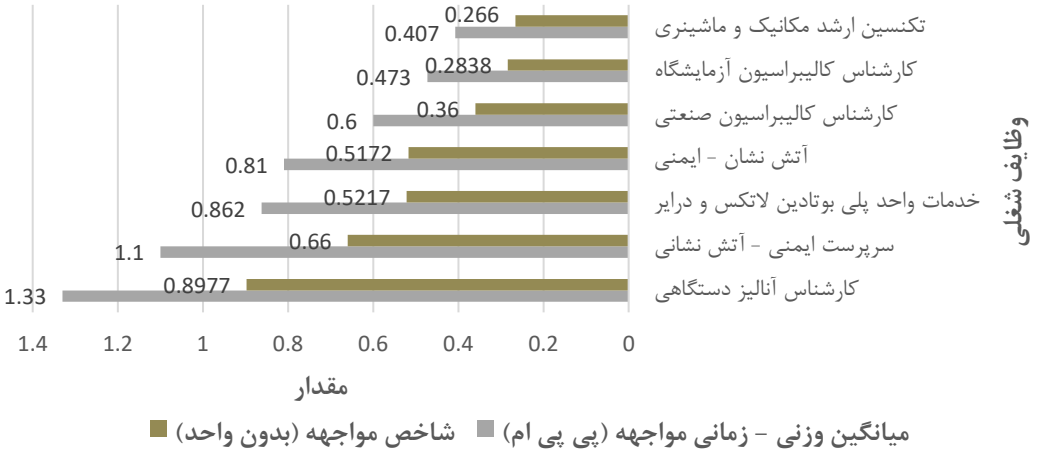
تصحیح‌شده براساس ویژگی های شغل است. همچنین میانگین شاخص مواجهه (E_i) در بین تمام افراد مورد مطالعه مقدار ۰/۲۵ ± ۰/۱۹۸ محاسبه گردید و در همهٔ موارد پایین تر از مقدار مجاز ۱ به‌دست آمد. میزان تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین در هوای تنفسی افراد مورد مطالعه برحسب واحدهای شغلی در جدول ۲ آمده است. مقادیر شاخص مواجههٔ محاسبه‌شده برحسب واحدهای شغلی مختلف مورد مطالعه در نمودار ۱ مشاهده می‌شود.

نتایج جدول ۲ حاکی از آن بود که بیشترین میانگین تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین در هوای تنفسی افراد شاغل در بخش ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۱۷۹۱/۴۲ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. همچنین بیشترین میانگین شاخص مواجهه نیز مربوط به افراد شاغل در همین واحد با مقدار شاخص مواجهه ۰/۵۲۱ است. پس از واحد ایمنی و آتش‌نشانی، بیشترین میانگین تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین به‌ترتیب در واحدهای درایر، کامپاند ۱، آزمایشگاه، پلی بوتادین لاتکس و واحد کامپاند ۲ با مقادیر ۱۴۰۱/۱۴، ۹۸۸/۴۲، ۸۷۳/۸۳، ۷۶۸/۵۲ و ۶۹۶/۱۵ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. شاخص مواجهه نیز در واحدهای درایر، کامپاند ۱، آزمایشگاه، پلی بوتادین لاتکس و واحد کامپاند ۲ به‌ترتیب مقادیر ۰/۳۸، ۰/۲۷۷، ۰/۲۵۶، ۰/۲۲۳ و ۰/۱۸۹ است (نمودار ۱). بیشترین و کمترین حد تراکم آلاینده به‌ترتیب در واحدهای آزمایشگاه با مقدار ۲۹۳۹/۳ میکروگرم بر مترمکعب و واحد کواگولیشن با مقدار ۳۹/۷۸ میکروگرم بر مترمکعب مشخص گردید. کمترین مقدار شاخص مواجهه نیز در افراد شاغل در بخش تعمیرات مکانیک با مقدار ۰/۰۱۲ تعیین شد (نمودار ۱).

نتایج بررسی میزان مواجههٔ تنفسی افراد مورد مطالعه با ترکیب ۳،۱- بوتادین برحسب نوع مشاغل (وظیفهٔ شغلی) نیز تعیین کرد که بیشترین مقادیر مواجههٔ تنفسی در وظایف شغلی کارشناس آنالیز دستگاهی، سرپرست ایمنی و آتش‌نشانی، خدمات واحدهای پلی بوتادین لاتکس و درایر، ایمنی و آتش‌نشانی، کارشناس کالیبراسیون صنعتی، کارشناس کالیبراسیون آزمایشگاه و تکنسین ارشد مکانیک و ماشینری به‌ترتیب با مقادیر ۲۹۳۹/۳، ۲۴۳۱، ۱۹۰۰/۶، ۱۷۹۰/۱، ۱۳۲۶، ۱۰۳۸/۷ و ۸۸۴ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. مقدار و شاخص مواجهه در وظایف شغلی مذکور در نمودار ۲ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی با استفاده از روش شاخص خطر (HQ) نشان داد میانگین شاخص خطر در بین تمام افراد مورد مطالعه ۷۶/ ±۱۴ ۱۰/۸۲ است. ۴۰٪ از افراد مورد مطالعه در محدودهٔ ریسک غیرسرطان‌زایی مجاز (HQ < ۱) و ۶۰٪ از افراد نیز در محدودهٔ بیشتر از حد مجاز (HQ > ۱) قرار دارند. مقادیر نسبت خطر برحسب واحدهای شغلی مختلف مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. مشخص گردید که بیشترین میانگین شاخص خطر (HQ) مربوط به واحد ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۳۶/۵۷ بوده و پس از آن به‌ترتیب واحدهای درایر، آزمایشگاه، کامپاند ۲، تأسیسات و کامپاند ۱ به‌ترتیب دارای میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی ۱۸/۵۱، ۱۶/۰۱، ۱۲/۲۳، ۱۱/۵۷ و ۱۰/۸۲ هستند. واحدهای شغلی بسته‌بندی، تعمیرات مکانیک و کواگولیشن نیز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]



نمودار ۲ـ مقدار و شاخص مواجههٔ تنفسی با ترکیب ۳،۱- بوتادین برحسب مشاغل (وظایف شغلی) مورد مطالعه

جدول ۳ـ میانگین ریسک بهداشتی (HQ) برحسب واحدهای شغلی مورد مطالعه

	واحد شغلی	میانگین نسبت خطر (HQ)	فاصلهٔ اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		سطح ریسک غیرسرطان‌زایی (درصد)		P^*
			حد بالا	حد پایین	بالاتر از حد مجاز HQ>۱	پایین‌تر از حد مجاز HQ<۱	
بهره‌برداری	ایمنی و آتش‌نشانی	۳۶/۵۷ ± ۶/۷۲	۵۵/۲۵۲	۱۷/۹۰۵	۱۰۰	۰	
	آزمایشگاه	۱۶/۰۱ ±۱۱/۰۰	۴۶/۵۶۰	۸/۶۸۵	۴۰	۶۰	
	کامپاند ۱	۱۰/۸۲ ±۳/۳۶	۱۸/۸۳۶	۲/۹۰۸	۸۷/۵	۱۲/۵	
	پلی بوتادین لاتکس	۱۰/۳ ±۲/۲۶	۱۷/۵۰۳	۳/۱۰۴	۱۰۰	۰	
	درایر	۱۸/۵۱ ±۱/۱۴۹	۳۳/۱۱۶	۳/۹۱۳	۱۰۰	۰	
	کامپاند ۲	۱۲/۲۳ ±۱۱/۷۱	۳۶/۱۴۵	۴/۳۶۵	۵۰	۵۰	
	نیروگاه	۶/۱۶ ±۵/۴۰	۲۳/۶۴۱	۳/۱۴۲	۵۰	۵۰	
	کواگولیشن	۱/۳۹ ±۰/۷۱	۳/۶۵۹	۰/۵۳۲	۵۰	۵۰	
	بسته‌بندی	۰/۱۸ ±۰/۰۵	۰/۱۸۵	۰/۱۶۵	۰	۱۰۰	۰/۰۲۶
تعمیرات/ بازرسی فنی/ مانیتورینگ/ خدمات	تعمیرات مکانیک	۰/۵۸ ±۰/۹۸	۱/۰۰۵	۰/۱۵۸	۰	۱۰۰	
	برق و ابزار دقیق	۲/۶۸ ±۲/۰۴	۹/۱۹۴	۰/۰۵۰	۵۰	۵۰	
	تأسیسات	۱۱/۵۷ ±۱/۸	۱۹/۲۸۵	۷/۶۹۸	۱۰۰	۰	
	تمام واحدها	۱۰/۸۲ ±۱۴/۷۶	۱۵/۲۶۱	۶/۳۹۲	۶۰	۴۰	

* Kruskal – Wallis test

به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی با میانگین شاخص ۰/۱۸، ۰/۵۸ و ۱/۳۹ بودند. در بین تمام واحدهای مورد بررسی، واحدهای بسته‌بندی و تعمیرات مکانیک دارای مقادیر میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی پایین تر از حدود مجاز بودند (HQ < ۱).

نتایج بررسی مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی به تفکیک مشاغل مورد مطالعه بیان کرد که بیشترین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی در مشاغل کارشناس آنالیز دستگاهی با مقدار ۵۶/۸۸ و سرپرست ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۵۳/۳۲ است. پس از آن نیز مشاغل ایمنی ـ آتش‌نشان، کارشناس کالیبراسیون صنعتی، تکنسین ارشد مکانیک و ماشینری، کارشناس کالیبراسیون آزمایشگاه و خدمات واحدهای پلی بوتادین لاتکس و درایر به‌ترتیب با مقادیر نسبت خطر ۳۶/۵۷، ۲۳/۹۵،

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

۲۲/۳۵، ۲۱/۵۸ و ۱۹/۶۶ دارای بیشترین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی و بهداشتی بودند. کمترین میانگین شاخص خطر نیز در واحدهای جوشکاری و بسته‌بندی به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۸ و ۰/۱۸ محاسبه گردید. در بین تمام مشاغل مورد مطالعه، مشاغل تعمیرات مکانیک (HQ = ۰/۵۸)، جوشکار (HQ = ۰/۰۸)، کارشناس کنترل کیفیت آزمایشگاه (HQ = ۰/۳۷)، کارشناس آب و پساب آزمایشگاه (HQ = ۰/۲۴)، سرپرست شیفت آزمایشگاه (HQ = ۰/۹۶)، رنگ‌کار آزمایشگاه (HQ = ۰/۷۳)، اپراتور واحد بسته‌بندی (HQ = ۰/۱۸)، اپراتور اکسترودر واحد کامپاند ۲ (HQ = ۰/۵۱)، کارشناس نیروگاه (HQ = ۰/۷۵)، آماده‌سازی واحد ۲۰۰ (HQ = ۰/۸۲) و سرپرست شیفت پروسس (HQ = ۰/۴۳) دارای شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی پایین تر از حد مجاز بودند (HQ < ۱).

بحث

مطالعهٔ حاضر با هدف ارزیابی ریسک بهداشتی تماس تنفسی با بخارات ۳،۱- بوتادین در یک صنعت پتروشیمی در سال ۱۳۹۷ و در بین ۵۰ نفر از افراد دارای مواجههٔ تنفسی با بخارات ۳،۱- بوتادین انجام شد. براساس یافته‌های مطالعات، یکی از مهم ترین و خطرناک ترین ترکیبات موجود در هوای تنفسی افراد در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه ها، بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین است. Scarselli و همکاران در ایتالیا در سال ۲۰۱۷ در مطالعه‌ای تعداد ۲۳۸۸۵ مواجههٔ شغلی با ۳،۱- بوتادین با میانگین حسابی ۰/۱۲ میلی‌گرم بر مترمکعب را بررسی و گزارش کردند بیشترین مشاغل در معرض ترکیب ۳،۱- بوتادین، مشاغل موجود در صنایع شیمیایی و پتروشیمی ها (۱۸۷۴۴ مواجهه) است. همچنین بیشترین احتمال مواجهات شغلی در صنایع زغال‌سنگ، پالایشگاه ها و پتروشیمی ها به‌دست آمد. پس از بوتادین، بیشترین ترکیبات کشف‌شده در هوای تنفسی افراد در صنایع مذکور به‌ترتیب بنزن، آکریلونیتریل و اتیلن دی کلراید بود. (۱۳) نتایج بررسی میزان مواجههٔ افراد با ترکیب ۳،۱- بوتادین نشان داد میانگین مواجهه با ترکیب مذکور در بین تمام افراد مورد مطالعه مقدار ۳۶/ ۸۱۱ ± ۵۶۰/۸۲ میکروگرم بر مترمکعب (۳۶۷/ ۰ ± ۰/۲۵۳ پی‌پی‌ام) بوده و در همهٔ موارد پایین تر از حدود مجاز مواجههٔ تصحیح‌شده براساس ویژگی های شغل است. همچنین میانگین شاخص مواجهه (E_i) در بین تمام افراد مورد مطالعه مقدار ۲۵/ ۰ ± ۰/۱۹۸ حاصل شد و در تمام موارد پایین تر از مقدار مجاز ۱ به‌دست آمد. نتایج تحقیق Akerstrom و همکاران در صنایع پتروشیمی، پالایشگاه و بنادر نفتی در سال ۲۰۱۶ نیز نشان داد میزان مواجههٔ تنفسی با ترکیب ۳،۱- بوتادین بسیار پایین تر از حدود مجاز مورد استفاده است. (۲۱) در مطالعه ای که Almerud و همکاران با هدف بررسی مواجههٔ فردی با ترکیبات بنزن و ۳،۱- بوتادین در صنایع پالایش نفت سوئد در سال ۲۰۱۷ انجام دادند، مشخص شد تمام مقادیر مواجههٔ افراد با دو ترکیب مذکور پایین از حدود مجاز است (۳۷) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین در بررسی Anttinen-Klemetti و همکاران در صنایع پتروشیمی مشخص شد میانگین مواجههٔ تنفسی افراد با ترکیب ۳،۱- بوتادین پایین تر از حدود مجاز بوده و مقدار ۰/۱۶۹ پی‌پی‌ام است که با نتایج مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد. (۲۲)

نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی با استفاده از روش شاخص خطر (HQ) حاکی از آن بود که میانگین شاخص خطر در بین تمام افراد مورد مطالعه ۱۴±۷۶/ ۱۰/۸۲ بوده و بالاتر از حد مجاز است. ۴۰٪ از افراد مورد مطالعه در محدودهٔ ریسک غیرسرطان‌زایی مجاز (HQ < ۱) و ۶۰٪ از افراد نیز در محدودهٔ بیشتر از حد مجاز (HQ > ۱) قرار دارند. تاکنون مطالعه ای مبنی بر اینکه مقادیر شاخص خطر محاسبه‌شده بالاتر از مقدار مبنای یک تا چه اندازه می تواند سبب ایجاد آسیب های شغلی شود، گزارش نشده است. براساس یافته‌های تحقیق Zhang و همکاران در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه در چین، میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی (HQ) ناشی از مواجههٔ تنفسی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین در نواحی پالایشگاه در ناحیهٔ ریسک بهداشتی بالاتر از حد مجاز قرار دارد و با نتایج مطالعهٔ حاضر هم‌راستاست. (۲۸) چان و همکاران در بررسی خود در سال ۲۰۰۵ در صنایع پتروشیمی اظهار کردند میانگین مقدار شاخص ریسک بهداشتی ناشی از مواجههٔ تنفسی با ترکیب ۳،۱- بوتادین بالاتر از حد مجاز مورد استفاده است. (۳۸) همچنین کومر و همکاران در مطالعهٔ خود در هند در سال ۲۰۱۸ بدین نتیجه رسیدند که بیشترین شاخص غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱-

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

بوتادین در مجاورت نواحی صنعتی وجود دارد و در ناحیۀ ریسک بهداشتی بالاتر از حد مجاز است. (۳۱) براساس یافته‌های بررسی یان و همکاران در سال ۲۰۱۵ در بین کارکنان حفاری معادن زغال‌سنگ، میانگین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهۀ تنفسی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین مقدار ۱/۷۱ بوده و بالاتر از حد مجاز مورد استفاده است. (۳۹) از دلایل افزایش میانگین شاخص ریسک بهداشتی در مطالعۀ حاضر نسبت به پژوهش‌های دیگر می توان به افزایش فاکتورهایی نظیر میزان مواجهۀ تنفسی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین در طول شیفت کاری، سابقۀ کاری بالای ۱۰ سال در اکثر افراد مورد مطالعه، تواتر بالای مواجهه و همچنین ساعات کاری بالای ۴۸ ساعت در هفته در تمام واحدهای مورد مطالعه و درنتیجه افزایش شاخص جذب تنفسی مزمن روزانه (CDI) اشاره کرد. با توجه به رابطۀ ارائه‌شده به‌منظور محاسبۀ شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی، واضح است که افزایش شاخص جذب مزمن تنفسی روزانه منجر به افزایش شاخص خطر و ریسک بهداشتی می گردد. تحلیل ارتباط بین ریسک غیرسرطان‌زایی (HQ) و متغیرهای دموگرافیک افراد مورد مطالعه با استفاده از ضریب هم‌بستگی اسپیرمن نشان داد مقدار ضریب هم‌بستگی بین سابقۀ کاری و تعداد ساعات کار در روز افراد با شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی به‌ترتیب مقادیر ۰/۴۸۱ و ۰/۴۹۵ بوده و ارتباط معناداری بین موارد مذکور وجود دارد ($P < ۰/۰۵$).

مشخص شد که بیشترین میانگین شاخص خطر (HQ) مربوط به واحد ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۳۶/۵۷ است. واحد مذکور دارای بیشترین میزان میانگین مواجهۀ تنفسی با بخارات ۳،۱- بوتادین در بین واحدهای شغلی مورد مطالعه است. پس از آن نیز به‌ترتیب واحدهای درایر، آزمایشگاه، کامپاند ۲، تأسیسات و کامپاند ۱ به‌ترتیب دارای میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی ۱۸/۵۱، ۱۶/۰۱، ۱۲/۲۳، ۱۱/۵۷ و ۱۰/۸۲ هستند. تمام واحدهای نام‌برده جزو واحدهای شغلی با بالاترین میزان مواجهۀ شغلی با بخارات ۳،۱- بوتادین بوده و به‌تبع آن مقادیر شاخص خطر به‌مراتب بالاتر از حد مجاز در این واحدها محاسبه گردیده است. واحدهای شغلی بسته‌بندی، تعمیرات مکانیک و کواگولیشن نیز به‌ترتیب دارای کمترین مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی با میانگین شاخص ۰/۱۸، ۰/۵۸ و ۱/۳۹ بودند. در بین تمام واحدهای مورد بررسی، واحدهای بسته‌بندی و تعمیرات مکانیک دارای مقادیر میانگین ریسک غیرسرطان‌زایی پایین تر از حدود مجاز بودند (۱ > HQ). پایین ترین مقدار میانگین مواجهۀ تنفسی در طول شیفت کاری نیز در این دو واحد محاسبه شد. شایان ذکر است که براساس بررسی های انجام‌شده در زمینۀ سنجش میزان مطلوبیت سیستم های تهویۀ عمومی و موضعی مورد استفاده در صنعت مورد مطالعه، مشخص شد که استفاده از سیستم های تهویۀ غیراستاندارد و همچنین دمای بالای سالن های تولید از مهم ترین دلایل میزان مواجهۀ تنفسی افراد شاغل در واحد های مذکور است.

نتایج بررسی مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی به تفکیک مشاغل مورد مطالعه نشان داد بیشترین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی در مشاغل کارشناس آنالیز دستگاهی با مقدار ۵۶/۸۸ و سرپرست ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۵۳/۳۲ است. نتایج مطالعۀ حاضر نیز حاکی از آن بود که بیشترین میزان مواجهۀ تنفسی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین نیز به‌ترتیب در دو وظیفۀ شغلی مذکور با مقادیر تراکم وزنی ـ زمانی ۱/۳۳ و ۱/۱ پی‌پی‌ام وجود دارد. پس از آن نیز مشاغل ایمنی ـ آتش‌نشان، کارشناس کالیبراسیون صنعتی، تکنسین ارشد مکانیک و ماشینری، کارشناس کالیبراسیون آزمایشگاه و خدمات واحدهای پلی بوتادین لاتکس و درایر به‌ترتیب با مقادیر نسبت خطر ۳۶/۵۷، ۲۳/۹۵، ۲۲/۳۵، ۲۱/۵۸ و ۱۹/۶۶ دارای بیشترین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی بودند. مقدار تراکم وزنی ـ زمانی در ناحیۀ تنفسی افراد شاغل در وظایف مذکور نیز به‌ترتیب مقادیر ۰/۸۱، ۰/۶، ۰/۴، ۰/۴۷ و ۰/۸۶ پی‌پی‌ام است (نمودار ۲). کمترین میانگین شاخص خطر نیز در واحدهای جوشکاری و بسته‌بندی به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۸ و ۰/۱۸ محاسبه گردید. در بین همۀ مشاغل مورد مطالعه، تعمیرات مکانیک، جوشکار، کارشناس کنترل کیفیت آزمایشگاه، کارشناس آب و پساب آزمایشگاه، سرپرست شیفت آزمایشگاه، رنگ‌کار آزمایشگاه، اپراتور واحد بسته‌بندی، اپراتور اکسترودر واحد کامپاند ۲، کارشناس نیروگاه، آماده‌سازی واحد ۲۰۰ و سرپرست شیفت پروسس دارای شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی پایین تر از حد مجاز بودند (۱ > HQ). از دلایل محاسبۀ کمترین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی در واحدهای مذکور می توان به کسب کمترین میزان

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

مواجهۀ تنفسی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین و به‌تبع آن محاسبۀ کمترین شاخص جذب تنفسی مزمن روزانه در این وظایف اشاره کرد. بررسی ارتباط بین واحد های شغلی و همچنین نوع گروه شغلی افراد و شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین در صنعت مورد بررسی با استفاده از آزمون آماری ناپارامتریک کروسکال ـ والیس نشان داد بین واحد های شغلی ($P = ۰/۰۲۶$) و نوع مشاغل افراد ($P = ۰/۰۳۷$) با ریسک غیرسرطان‌زایی ارتباط معناداری وجود دارد. شایان ذکر است که مطالعۀ حاضر به‌صورت مقطعی در یک برش زمانی خاص انجام شده است و تعمیم نتایج برای مواجهه های سالیانه باید با احتیاط باید صورت بگیرد.

از محدودیت های پژوهش می‌توان به درنظر نگرفتن تأثیر فصول مختلف و همچنین دمای هوا در پراکندگی بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین، به‌علت محدودیت زمانی اشاره کرد؛ زیرا فاکتورهای مذکور می توانند نقش بسزایی را در میزان مواجهۀ تنفسی افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین ایفا کنند. در این مطالعه، به‌منظور پوشش یک چرخۀ کاری کامل، کاهش خطای ناشی از حجم کاری مختلف در روزهای مختلف و سنجش میزان مواجهۀ واقعی هریک از افراد مورد مطالعه، نمونه‌برداری به مدت ۱۰ روز به‌طول انجامید. از محدودیت های روش ارزیابی ریسک کمّی مورد استفاده نیز می توان درنظر نگرفتن اثرات سینرژیستی ترکیبات را نام برد. از نقاط قوّت مطالعه سنجش و ارزیابی میزان مواجهۀ تنفسی افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین و همچنین ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با بخارات ترکیب مذکور در یکی از صنایع پتروشیمی کشور به‌عنوان صنایع با ریسک بالای مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین و برای اولین بار در ایران است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد ریسک بهداشتی ناشی از مواجهۀ تنفسی با ۳،۱- بوتادین در اکثر واحدهای شغلی و مشاغل مورد مطالعه در محدودۀ ریسک غیرمجاز قرار دارد و ایجاد عوارض و اثرات نامطلوب بهداشتی در سلامت افراد مورد مطالعه پیش‌بینی می گردد؛ لذا به‌کارگیری استراتژی های کنترلی همچون طراحی و اجرای سیستم های تهویۀ موضعی و ترقیقی مناسب با توجه به غیراستاندارد بودن تمام سیستم های تهویۀ موجود در صنعت به‌منظور کاهش میزان مواجهۀ تنفسی افراد با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین و به‌تبع آن کاهش مقادیر ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با ترکیب مذکور و همچنین استفاده از روش های ارزیابی ریسک کمّی به‌عنوان مبنای قضاوت درمورد میزان مواجهۀ تنفسی افراد با ترکیبات خطرناک (به‌خصوص ترکیبات سرطان‌زا با توجه به نرخ ریسک بالقوه بالا) و همچنین اولویت‌بندی واحدهای مختلف به‌منظور انجام اقدامات کنترلی کاملاً ضروری است.

تشکر و قدردانی

مقالۀ حاضر نتایج بخشی از پایان‌نامۀ کارشناسی ارشد نویسندۀ اول، آقای محسن صادقی یارندی، با کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1398.022 است که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده؛ لذا نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی را از دانشگاه علوم پزشکی تهران به‌دلیل حمایت مالی ابراز می نمایند.

References

1. Sarigiannis DA, Karakitsios SP, Gotti A, Liakos IL, Katsoyiannis A. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. Environment international. 2011; 37(4): 743-65.
2. 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 and Safety at Work. 2018; 8(1): 55-64.
3. Golbabaie F, Eskandari D, Azari M, Jahangiri M, Rahimi A, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. Iran occupational health. 2012; 9(3).
4. Jalali M, Jalali s, Shafii Motlagh M, Mardi H, Negahban Sar, Faraji Tomarkandi V, et al. Health risk assessment of occupational exposure to BTEX compounds in petrol refueling stations in Mashhad. J Neyshabur Univ Med Sci. 2014; 1(1): 19-27.
5. Fabrizi G, Fioretti M, Rocca LM. Occupational exposure to complex mixtures of volatile organic compounds in ambient air: desorption from activated charcoal using accelerated solvent extraction can replace carbon disulfide? Analytical and bioanalytical chemistry. 2013; 405(2-3): 961-76.
6. Omidi F, Dehghani F, Fallahzadeh RA, Miri M, Taghavi

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

of Health and Human Services, Public Health Service; 2014. 2014.
17. Saeidabadi H, Nikpey A. Respiratory exposure with acrylonitrile butadiene styrene particle in appliance company workers. J Qazvin Univ Med Sci. 2018; 22(1): 31-41.
18. Micallef CM, Shield KD, Vignat J, Baldi I, Charbotel B, Fervers B, et al. Cancers in France in 2015 attributable to occupational exposures. International journal of hygiene and environmental health. 2019; 222(1): 22-9.
19. Rahimnejad S, Bahrami A, Assari M, Sultanian A, Rahimpoor R, Negahban A. Quantitative risk assessment of occupational exposure to Volatile Organic Compounds in the oil-dependent chemical industry. J Sabzevar Univ Med Sci. 2014; 21(4): 829-41.
20. Dhaini HR, Salameh T, Waked A, Sauvage S, Borbon A, Formenti P, et al. Quantitative cancer risk assessment and local mortality burden for ambient air pollution in an eastern Mediterranean City. Environmental Science and Pollution Research. 2017; 24(16): 14151-62.
21. Akerstrom M, Almerud P, Andersson E, Strandberg B, Sallsten G. Personal exposure to benzene and 1, 3-butadiene during petroleum refinery turnarounds and work in the oil harbour. International archives of occupational and environmental health. 2016; 89(8): 1289-97.
22. Anttinen-Klemetti T, Vaaranrinta R, Mutanen P, Peltonen K. Personal exposure to 1, 3-butadiene in a petrochemical plant, assessed by use of diffusive samplers. International archives of occupational and environmental health. 2004;77(4):288-92.
23. Cheng H, Sathiakumar N, Graff J, Matthews R, Delzell E. 1, 3-Butadiene and leukemia among synthetic rubber industry workers: exposure–response relationships. Chemico-biological interactions. 2007; 166(1-3): 15-24.
24. Tulashie SK, Addai EK, Annan J-S. Exposure assessment, a preventive process in managing workplace safety and health, challenges in Ghana. Safety science. 2016; 1: 84: 210-5.
25. Leidel N, Busch K, Lynch J. NIOSH occupational exposure sampling strategy manual. Washington, DC. 1977.
26. Eller PM. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 1,3-BUTADIENE: METHOD 1024, Fourth Edition. Diane Publishing. 1994.
27. He Z, Li J, Chen J, Chen Z, Li G, Sun G, et al. Treatment of organic waste gas in a paint plant by combined technique of biotrickling filtration with photocatalytic oxidation. Chemical engineering journal. 2012; 200: 645-53.
28. Zhang Z, Yan X, Gao F, Thai P, Wang H, Chen D, et al. Emission and health risk assessment of volatile M, Eynipour A. Probabilistic risk assessment of occupational exposure to volatile organic compounds in the rendering plant of a poultry slaughterhouse. Ecotoxicology and environmental safety. 2019; 176: 132-6.
7. Dehghani F, Omidi F, Heravizadeh O, Barati Chamgordani S, Gharibi V, Sotoudeh Manesh A. Occupational health risk assessment of volatile organic compounds emitted from the coke production unit of a steel plant. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2018: 1-6.
8. McDonald BC, De Gouw JA, Gilman JB, Jathar SH, Akherati A, Cappa CD, et al. Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions. Science. 2018; 359(6377): 760-4.
9. Kampeerawipakorn O, Navasumrit P, Settachan D, Promvijit J, Hunsonti P, Parnlob V, et al. Health risk evaluation in a population exposed to chemical releases from a petrochemical complex in Thailand. Environmental research. 2017; 152: 207-13.
10. Dotson GS, Maier A, Parker A, Haber LT. NIOSH [2016]. Immediately dangerous to life or health (IDLH) value profile: 1,3-butadiene. OH: US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication. 2017; 107.
11. USEPA I. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS) on 1,3-Butadiene. Washington, DC: National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development; 2009. 2009.
12. IARC. International Agency for Research on Cancer (IARC). Chemical agents and related occupations. Lyon: IARC; 2012. IARC monographs on the evaluation of carcinogens to humans Vol. 100 F. 2012.
13. Scarselli A, Corfiati M, Di Marzio D, Iavicoli S. Appraisal of levels and patterns of occupational exposure to 1, 3-butadiene. Scand J Work Environ Health. 2017; 43: 494-503.
14. Huy LN, Lee SC, Zhang Z. Human cancer risk estimation for 1, 3-butadiene: An assessment of personal exposure and different microenvironments. Science of the total environment. 2018; 616: 1599-611.
15. Xiang M, Sun L, Dong X, Yang H, Liu W-b, Zhou N, et al. Association between genetic polymorphisms of DNA repair genes and chromosomal damage for 1,3-butadiene-exposed workers in a matched study in China. BioMed research international. 2015; 2015.
16. NTP. National Toxicology Program (NTP). Report on Carcinogens, Thirteenth Edition: Background Document for 1,3-butadiene. Research Triangle Park, Research Triangle Park, North Carolina: Department

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]

organic compounds in various processes of a petroleum refinery in the Pearl River Delta, China. Environmental pollution. 2018; 238: 452-61.

29. Traumann A, Tint P, Järvik O, Oja V. Management of health hazards during shale oil handling. Agronomy Research. 2013; 11(2): 479-86.

30. Marano KM, Liu C, Fuller W, Gentry PR. Quantitative risk assessment of tobacco products: A potentially useful component of substantial equivalence evaluations. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2018; 95: 371-84.

31. Kumar RP, Kashyap P, Kumar R, Pandey AK, Kumar A, Kumar K. Cancer and non-cancer health risk assessment associated with exposure to non-methane hydrocarbons among roadside vendors in Delhi, India. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2019: 1-15.

32. Du Z, Mo J, Zhang Y. Risk assessment of population inhalation exposure to volatile organic compounds and carbonyls in urban China. Environment international. 2014; 73: 33-45.

33. EPA S. Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentration and Application of Inhalation Dosimetry. EPA/600/8-90066F. Washington DC: Office of Health and Environment. 1994.

34.Ramadan A, Yassin M, Alshammari B. Health risk assessment associated with volatile organic compounds in a parking garage. International Journal of Environmental Science and Technology. 2018: 1-16.

35. USEPA. Exposure Factors Handbook, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, 2011 Edition.

36. WHO. Life expectancy: Life expectancy Data by country. Glob Health Obs Data Repos. 2013.

37. Almerud P, Akerstrom M, Andersson E, Strandberg B, Sallsten G. Low personal exposure to benzene and 1, 3-butadiene in the Swedish petroleum refinery industry. International archives of occupational and environmental health. 2017; 90(7): 713-24.

38. Chan C-C, Shie R-H, Chang T-Y, Tsai D-H. Workers' exposures and potential health risks to air toxics in a petrochemical complex assessed by improved methodology. International archives of occupational and environmental health. 2006; 79(2): 135-42.

39. Yan Y, Peng L, Cheng N, Bai H, Mu L. Health risk assessment of toxic VOCs species for the coal fire well drillers. Environmental Science and Pollution Research. 2015; 22(19): 15132.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-19]