



Quantitative and Qualitative Investigation of Respiratory Exposure to Volatile Organic Compounds in a Shoe Polish Manufacturing Industry

Zahra Yadegar , Davod Panahi* , Somayeh Farhang Dehghan

Department of Occupational Health and Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: 2024/09/08

Accepted: 2025/03/13

Abstract

Background and Aim: Organic solvents are widely used in various industrial sectors and processes, which are a direct or indirect source of volatile organic compounds in the workplace. The shoe polish production process is one of the processes in which chemical solvents containing VOCs are used, due to their low vapor pressure, significant amounts of toluene, xylene, ethylbenzene, and other volatile compounds are released during the process. Studies have shown that long-term exposure to these pollutants harms human health due to their major role in the central nervous system and the body's immune and reproductive systems. As a result, this study aims to identify the VOCs resulting from the shoe polish production process and assess the risk of respiratory exposure of workers in such industries.

Methods: To assess the risk of exposure of employees to volatile organic compounds, environmental monitoring of TVOCs was carried out in 14 stations by direct reading method using the Phocheck Tiger device. then; According to NIOSH method 2549, the type of released compounds was determined using gas chromatography-mass spectrometry, and based on NIOSH method 1501, the target pollutants were quantified using a gas chromatography device with a flame ionization detector.

Results: After analyzing the samples; 46 organic compounds were identified, among which the concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and trimethylbenzene were determined as 0.33 ppm, 1.8 ppm, 1.33 ppm, 4.14 ppm, and 12.88 ppm, respectively. Considering the similar toxicological effect of the mentioned pollutants, the exposure to the mixture of compounds was determined to be more than the permissible limit. Among them, trimethylbenzene and benzene with TWA/STD ratios of 1.84 and 0.94 had the largest share.

Conclusion: The results indicate that workers in shoe polish production industries are exposed to significant levels of VOCs, especially BTEX compounds. Therefore, appropriate control measures should be taken to prevent health and safety hazards.

Keywords: Occupational exposure; Volatile Organic Compounds (VOCs); Shoe polish

Please cite this article as:

Yadegar Z, Panahi D, Farhang Dehghan S. Quantitative and Qualitative Investigation of Respiratory Exposure to Volatile Organic Compounds in a Shoe Polish Manufacturing Industry. Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat. 2024; Vol 12: No 2: 97-110. <https://doi.org/10.22037/iipm.v1403i12.46147>

*Corresponding Author: davodpanahi@sbmu.ac.ir

بررسی کمی و کیفی مواجهه تنفسی با ترکیبات آلی فرار در یک صنعت تولید واکس کفش

زهرا یادگار^{id}، داود پناهی^{id*}، سمیه فرهنگ دهقان

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: حلال‌های آلی به طور گسترده در فرآیندهای صنعتی مختلف استفاده می‌شوند که منبع مستقیم یا غیرمستقیم ترکیبات آلی فرار در محیط کار هستند. فرآیند تولید واکس کفش نیز از فرآیندهایی است که در آن از حلال‌های شیمیایی حاوی ترکیبات آلی فرار استفاده می‌شود که به دلیل فشار بخار کم آنها، مقادیر قابل توجهی تولوئن، زایلن، اتیل بنزن و سایر ترکیبات فرار منتشر می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند مواجهه طولانی‌مدت با این آلاینده‌ها به علت نقش عمده آنها در سیستم عصبی مرکزی و همچنین سیستم ایمنی و تولید مثل بدن، برای سلامت انسان مضر است. براین اساس در مطالعه حاضر، به شناسایی VOCهای حاصل از فرآیند تولید واکس کفش و ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی پرداخته شده است.

روش کار: به منظور ارزیابی ریسک مواجهه کارکنان واحد تولید و بسته‌بندی واکس کفش جامد با ترکیبات آلی فرار، پایش محیطی TVOCs در ۱۴ ایستگاه به روش قرائت مستقیم با استفاده از دستگاه Phochek Tiger انجام شد. سپس نوع ترکیبات منتشر شده، مطابق روش NIOSH ۲۵۴۹، با استفاده از کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی (GC-MS) مشخص شد و بر مبنای آن به روش NIOSH ۱۵۰۱، آلاینده‌های هدف با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی دارای آشکارساز شعله‌ای یونی (GC-FID) تعیین مقدار شدند.

یافته‌ها: پس از نمونه‌برداری فردی و آنالیز نمونه‌ها؛ ۴۶ ترکیب آلی فرا شناسایی شد که از این میان غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن و تری متیل بنزن به ترتیب به میزان ۰/۳۳ ppm، ۱/۸ ppm، ۱/۳۳ ppm، ۴/۱۴ ppm و ۱۲/۸۸ ppm تعیین گردید. نظر به اثر سم‌شناسی مشابه آلاینده‌های مذکور، مواجهه با مخلوط ترکیبات بیش از حد مجاز تعیین شد که از این میان بیشترین سهم را تری متیل بنزن و بنزن با نسبت TWA/STD، ۱/۸۴ و ۰/۹۴ داشتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج ارزیابی مواجهه، کارگران شاغل در صنایع تولیدی واکس کفش در مواجهه با سطوح قابل‌توجهی از ترکیبات آلی فرار به ویژه ترکیبات BTEX می‌باشند. براین اساس می‌بایست با اقدامات کنترلی مناسب از مخاطرات بهداشتی و ایمنی آن پیشگیری نمود.

واژگان کلیدی: مواجهه شغلی؛ ترکیبات آلی فرار؛ واکس کفش

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

Yadegar Z, Panahi D, Farhang Dehghan S. Quantitative and Qualitative Investigation of Respiratory Exposure to Volatile Organic Compounds in a Shoe Polish Manufacturing Industry. Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat. 2024; Vol 12: No 2: 97-110. <https://doi.org/10.22037/iipm.v1403i12.46147>

*نویسنده مسئول مکاتبات: davodpanahi@sbmu.ac.ir

مقدمه

امروزه با پیشرفت فن‌آوری، توسعه صنایع و استفاده گسترده از انواع مواد شیمیایی در فرآیندهای مختلف، نقش نیروی انسانی در محیط‌های صنعتی پررنگ‌تر شده است. با تلاش روزافزون انسان‌ها در جهت پیشرفت صنایع، شاهد پیدایش عوامل آسیب‌رسان متعددی در محیط‌های کار هستیم که پتانسیل آسیب به انسان، تجهیزات، سرمایه‌ها، محیط‌زیست و ... را دارند. طبق اعلام سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۷، ۳۷ درصد کل موارد کم‌رود، ۱۶ درصد از موارد کاهش یا از دست دادن شنوایی، ۱۳ درصد بیماری مزمن انسدادی ریه، ۱۱ درصد آسم، ۹ درصد سرطان ریه، ۲ درصد سرطان خون (لوسمی) و ۸ درصد افسردگی به دلیل عوامل زیان‌آور محیط کار می‌باشد (۱).

یکی از شایع‌ترین عوامل آسیب‌رسان در محیط‌های شغلی، عوامل شیمیایی است که دربرگیرنده تمام مواد اولیه، ترکیبات واسطه و فرآورده‌های اصلی، که در صنعت تولید می‌شوند یا به کار می‌روند، می‌باشد. این مواد به شکل گاز، مایع و یا جامد در فرآیندهای مختلف وجود دارند که خطرات و زیان‌های مختص خود را دارا می‌باشند. یکی از انواع آلاینده‌های شیمیایی هواگرد در محیط‌های شغلی، گازها و بخارات هستند که توانایی ایجاد اثرات سمی هم در محل تماس (سمیت موضعی/ سیستم تنفسی) و هم در سایر اندام‌های بدن به واسطه جذب و توزیع در بدن (سمیت سیستمیک) را دارا می‌باشند. از آنجایی که استنشاق مسیر اصلی مواجهه با گازها و بخارات است، کیفیت هوای محیط کار به یک نگرانی عمده برای متخصصین حوزه بهداشت شغلی، کارگران و کارفرمایان تبدیل شده است زیرا افراد بیشتر وقت خود را در محیط کار می‌گذرانند که این می‌تواند بر سلامت، آسایش، رفاه و بهره‌وری کارگران تأثیر بگذارد.

حلال‌های آلی، ایزوپروپیل الکل، فنل، اتانول، اتیل استات، دی کلرومتان، بنزن و تولوئن در طیف گسترده‌ای از محصولات تجاری موجود هستند و به طور گسترده در محیط‌های کاری و بخش‌های صنعتی مختلف (به عنوان مثال، در ساخت انواع رنگ‌ها، چسب‌ها، تینرها، پلاستیک، قیر نفتی و معدنی و برخی فرآورده‌های دارویی؛ در صنایع واکس کفش؛ ماشین‌های چاپ و صنایع نفت و گاز) و به عنوان

ترکیب واسطه در تولید سایر مواد شیمیایی با توجه به نیاز آنها استفاده می‌شوند. این ترکیبات منبع مستقیم یا غیرمستقیم ترکیبات آلی فرار (VOCs) در محیط کار هستند (۲).

ترکیبات آلی فرار آلاینده‌های شیمیایی رایجی هستند که در محیط‌های شغلی یافت می‌شوند و منبع بو هستند. استنشاق مسیر اصلی مواجهه با VOCs است. با این حال، آنها همچنین ممکن است از طریق پوست یا بلع نیز وارد بدن شوند. مطالعات نشان داده است که قرار گرفتن در معرض VOCs خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی، سرطان خون، نقایص مادرزادی، اختلالات عصبی-شناختی و دیگر انواع سرطان را در انسان افزایش می‌دهد (۳). در نتیجه مواجهه طولانی مدت با این آلاینده‌ها برای سلامت انسان مضر است. شایع‌ترین بیماری‌هایی که به طور بالقوه با VOCs مرتبط هستند به ترتیب عبارتند از؛ بیماری سلول داسی شکل^۱، کم خونی، انسداد عروق، التهاب، مشکلات تنفسی، آسم، سندرم حاد قفسه سینه، سرطان ریه و بیماری مزمن انسدادی ریه (COPD)^۲. شایان ذکر است، بسیاری از بیماری‌های دیگر مانند سکته مغزی، استرس و سرطان روده بزرگ نیز مشاهده شده است (۴). نتایج تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که تعداد زیادی از کارگران از تحریک پوست، چشم‌ها و گلو، سردرد، خستگی و گاهی اوقات ضعف در حین انجام وظیفه به دلیل مواجهه با ترکیبات آلی فرار شکایت کرده‌اند (۲). بنابراین، قرار گرفتن در معرض VOCs ارتباط نزدیکی با سلامت کارگران مشغول در این صنایع را دارند.

فرآیند تولید واکس کفش از فرآیندهای صنعتی است که در آن از محصولات شیمیایی حاوی ترکیبات آلی فرار استفاده می‌شود که به دلیل فشار بخار کم آنها، مقادیر قابل توجهی تولوئن، زایلن، اتیل بنزن و سایر ترکیبات فرار در طول فرآیند منتشر می‌شود. مطالعه لیم و همکاران در رابطه با ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات آلی فرار در محصولات مصرفی نشان داد که تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به ترتیب به میزان ۸۰۶ ppm، ۲۷۷۹۲۸ ppm و ۸۷۲۹۸ ppm در مواجهه با واکس کفش وجود دارد (۵). مطالعه به و همکاران نشان داد که حجم کار روزانه بیشتر با واکس کفش، غلظت‌های بنزن، تولوئن، o-xylene، m,p-xylene و ذرات معلق قابل تنفس (RSP)^۳ را در محیط به

^۳ Respirable Suspended Particulate^۱ Sickle cell anemia^۲ Chronic Obstructive Pulmonary Disease

میزان قابل توجهی افزایش داد (۶). نتایج مطالعه لی و همکاران نشان داد که برخی از محصولات مصرفی، مانند واکس کفش (میانگین ۲۷۰-۹۲۶۰۰ میکروگرم در گرم) حاوی سطوح قابل توجهی BTEX^۴ است (۳). از سوی دیگر، در مطالعه یعقوب و همکاران، غلظت ایزوپروپیل الکل در نمونه خون کارگرانی که در معرض مواجهه با واکس کفش بودند، ppm ۱۵/۲ و ppm ۲۰/۳ شناسایی شده است (۲). واکس کفش نوع خمیری حاوی مقادیر کمی از مواد رنگزای آنیلین است که باعث سرطان مثانه می شود (۷). از طرفی قرار گرفتن در معرض بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) بر سیستم عصبی مرکزی و همچنین سیستم ایمنی و تولید مثل در انسان تأثیر می گذارد (۳). در نتیجه استفاده گسترده از چندین حلال آلی در فرآیند تولید واکس کفش که باعث انتشار زیاد ترکیبات آلی فرار می شود، خطری جدی برای سلامت کارگران شاغل در اینگونه صنایع به حساب می آید. پژوهش های متعددی به شناسایی آلاینده های هوا برد حاصل از واکس کفش و اثرات آنها بر سلامت افراد پرداخته اند اما بررسی های انجام شده در این نوع مطالعات، بیشتر حول مصرف کنندگان این محصولات بوده و کمتر به جنبه شغلی آن پرداخته شده است. لذا تعیین مواجهه تنفسی با ترکیبات آلی فرار در فرآیند تولید واکس کفش جهت کنترل انتشار آنها ضرورت پیدا می کند. به همین علت در پژوهش پیش رو تلاش گردید تا از این دیدگاه به فرآیند تولید واکس کفش پرداخته شود.

مواد و روش ها

این پژوهش با توجه به هدف آن، یک مطالعه موردی است. جامعه مورد بررسی این مطالعه، کارکنان واحد تولید و بسته بندی واکس کفش جامد در یک صنعت تولید واکس کفش می باشند.

در این مطالعه از ۱۴ نفر شاغل در واحد تولید و بسته بندی واکس کفش که انتظار می رود ریسک مواجهه یکسانی داشته باشند، ۶ نفر مطابق با جدول ارائه شده توسط انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی کار (NIOSH)^۵ برای کشورهای جهان سوم (حجم نمونه لازم برای ۱۰٪ فوقانی که بالاترین ریسک مواجهه را در سطح اطمینان ۹۰٪ دارند)، جهت انجام نمونه برداری فردی انتخاب شدند (۸). علاوه بر

نمونه برداری فردی، پایش محیطی به روش قرائت مستقیم (آنی)، پس از بازدید از محیط و تعیین نقاط بالقوه تولید آلودگی، انجام شد (۹). به منظور به دست آوردن اطلاعاتی کلی در زمینه سطح غلظت ترکیبات آلی فرار محیط واحد منتخب و تعیین نقاط دارای بیشترین غلظت TVOCs، نمونه برداری محیطی در ۱۴ ایستگاه به روش قرائت مستقیم با استفاده از دستگاه Phochek Tiger ساخت شرکت ION Science انگلستان انجام شد. دستگاه Phochek Tiger مجهز به آشکارساز فوتوایونیزاسیون (PID)^۶ بوده که از منبع پرتو فرابنفش برای یونیزه کردن مواد شیمیایی در جریان هوا استفاده می کند. این دستگاه به دلیل قابلیت تعیین سطح کلی غلظت ترکیبات آلی فرار محیط در مدت زمان کوتاه، بدون نیاز به نمونه برداری با استفاده از تجهیزات پیشرفته، انتخاب شد. این ویژگی به ما این امکان را داد تا منابع بالقوه تولید آلودگی را شناسایی کرده و بر اساس آن، برنامه ریزی دقیق تری برای تهیه تجهیزات نمونه برداری با ظرفیت مناسب و همچنین شناسایی کارگران با ریسک مواجهه بالا جهت نمونه برداری فردی انجام دهیم. جهت کالیبراسیون دستگاه مذکور از گاز ایزوبوتیلن در آزمایشگاه تأیید صلاحیت شده، استفاده شد.

در نمونه برداری فردی، سیستم نمونه برداری به فرد کارگر متصل شده و ورودی هوا به سیستم در منطقه تنفسی کارگر (یقه لباس) تنظیم و متصل گردید (۹). جهت نمونه برداری فردی، از جاذب های ذغال فعال ساخت شرکت SKC آمریکا-انگلستان به همراه پمپ نمونه برداری فردی تنظیم شده با روتامتر، که توسط دستگاه حباب صابون (قبل و بعد از نمونه برداری) کالیبره شده بود، استفاده گردید. پس از تکمیل نمونه برداری، نمونه ها در جعبه یخ قرار داده شده و فوراً به آزمایشگاه جهت انجام مراحل آنالیز انتقال داده شد.

در این مطالعه، برخلاف روش های استاندارد که استفاده از جاذب های زغال فعال پایه کوتاه را برای نمونه برداری از ترکیبات هیدروکربنی فرار توصیه می کنند، ناچاراً در برخی موارد از جاذب های زغال فعال پایه بلند با ظرفیت بالاتر استفاده شد. این جاذب ها برای نمونه برداری فردی کارگرانی انتخاب شدند که با توجه به نوع فعالیت، مدت و شدت مواجهه، در معرض غلظت های بالای TVOCs قرار داشتند. هدف از این انتخاب، جلوگیری از خطای گذر حجمی شکست و تضمین دقت

^۶ Photoionization Detector

^۴ Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene

^۵ National Institute for Occupational Safety and Health

منتقل شد (۱۰).

به منظور آماده‌سازی نمونه‌های جمع‌آوری شده، سرپوش پلاستیکی دو طرف جاذب برداشته شد و پس از برش قسمت ورودی و خارج نمودن الیاف شیشه‌ای، محتویات زغال فعال بخش جلویی و عقبی به صورت جداگانه در دو ویال ریخته شد. پس از آن، ۲ میلی‌لیتر از محلول جاذب CS_2 به هر کدام از ظروف شیشه‌ای در جاذب‌های پایه بلند و ۱ میلی‌لیتر از محلول جاذب در ظروف شیشه‌ای جاذب‌های پایه کوتاه ریخته و پس از قرار دادن درپوش پلاستیکی، آب‌بندی شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه زیر هود تکان داده شد تا عمل بازیافت به داخل محلول به خوبی صورت گیرد.

در ابتدا نوع ترکیبات آلی فرار ساطع شده در فرآیند تولید واکس کفش، مطابق روش ۲۵۴۹ NIOSH، با استفاده از کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی (GC-MS) برند Agilent Technologies سری 7890B/5977B مطابق با تنظیمات ارائه شده در جدول ۱ مشخص شد (آنالیز کیفی) و سپس با روش ۱۵۰۱ NIOSH، آلاینده‌های هدف با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی برند VARIAN مدل CP-3800 دارای آشکارساز شعله‌ای یونی (GC-FID) مطابق با تنظیمات خلاصه شده در جدول ۲ تعیین مقدار شدند (۱۲، ۱۱).

شایان ذکر است؛ حد تشخیص (LOD)^۹ و حد تعیین کمیت (LOQ)^{۱۰} برای دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی، به ترتیب ۰/۲۴ mg/L و ۰/۸ mg/L و برای دستگاه کروماتوگرافی گازی با آشکارساز شعله‌ای یونی، به ترتیب ۰/۵۵ mg/L و ۱/۸ mg/L تعیین شدند.

در این مطالعه با استفاده از مراحل ذیل، میزان آلاینده‌های هدف در نمونه‌های هوا محیط کار جهت اتخاذ تصمیم نهایی مبنی بر در حد مجاز بودن مواجهه کارکنان یا بیش از حد بودن آن، بررسی شد:

- ۱) تصحیح حجم هوای نمونه برداری شده با استفاده از قوانین گازها
- ۲) محاسبه غلظت ماده آلاینده در نمونه هوا
- ۳) محاسبه متوسط سنجش زمانی مواجهه (TWA)
- ۴) تصحیح حدود مجاز مواجهه‌شغلی براساس برنامه کاری غیرمعمول
- ۵) ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با مخلوط مواد شیمیایی

و صحت نتایج بود. همچنین، با توجه به محدودیت‌های صنعتی و عدم امکان نمونه‌برداری مجدد، این رویکرد به افزایش کارایی و ارائه داده‌های معتبر در شرایط سخت صنعتی کمک کرد.

به منظور تصحیح حجم هوای نمونه‌برداری شده بر مبنای فشار و دمای واقعی هوا در طول نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه بادنسچ چند منظوره BENETECH مدل GM8910 مشخصات سایکرومتریک هوا شامل دما، رطوبت، نقطه شبنم و فشار بارومتریک، هم در محل نمونه‌برداری و هم در آزمایشگاه کالیبره پمپ‌های نمونه‌برداری، اندازه‌گیری شد. سپس مطابق با راهنمای NIOSH به شرح زیر اصلاح گردید (۱۰):

$$V (\text{Corrected volume, L}) = Qt (P_c T_s / P_s T_c) 0.5 \quad \text{فرمول ۱}$$

Q	دبی حجمی تنظیم شده
t	مدت زمان نمونه‌برداری
P_c	فشار هوا در شرایط کالیبراسیون (آزمایشگاه)
P_s	فشار هوا در شرایط عملی نمونه‌برداری (محیط کار)
T_c	دمای هوا در شرایط کالیبراسیون (آزمایشگاه)
T_s	دمای هوا در شرایط عملی نمونه‌برداری (محیط کار)

این رویکرد که در استاندارد معتبر NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) مورد اشاره قرار گرفته است، برای مواردی که کالیبراسیون مستقیم در محیط کار امکان‌پذیر نیست، توصیه می‌شود (۱۰). در این مطالعه، تصحیح حجم هوای نمونه‌برداری شده نه تنها خطای احتمالی ناشی از تفاوت شرایط محیطی بین آزمایشگاه و محیط کار را به حداقل رساند، بلکه داده‌های حاصل از نمونه‌برداری را معتبر و قابل اعتماد ساخت.

لازم به ذکر است؛ برای شناسایی و کسر آلودگی‌های احتمالی جاذب‌ها در طی مراحل انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و آنالیز، نمونه‌های شاهد میدانی^۷ و آزمایشگاهی^۸ جمع‌آوری شدند. نمونه‌ی شاهد میدانی شامل ۱۰٪ از تعداد کل نمونه‌ها (یک نمونه) بود که بدون عبور هوا از جاذب، در محیط نمونه‌برداری (برای مدت زمان مشابه نمونه‌برداری) قرار داده شده و سپس مشابه دیگر نمونه‌ها بسته‌بندی و جهت انجام آنالیز به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ی شاهد آزمایشگاهی نیز شامل یک نمونه از جاذب‌ها بود که بدون تماس با محیط مستقیماً برای آنالیز

¹⁰ Limit Of Quantification

⁷ Field Blanks

⁸ Laboratory Blanks

⁹ Limit Of Detection

جدول ۱. تنظیمات دستگاه GC-MS جهت آنالیز کیفی ترکیبات آلی فرار

تنظیمات		پارامتر	اجزاء تشکیل دهنده دستگاه GC		
۳۰۰ °C		درجه حرارت اینجکتور	بخش تزریق نمونه		
۱ μl		حجم تزریق			
حالت تقسیم کننده نمونه		روش تزریق نمونه			
۱۰		نسبت تقسیم			
۱۰ ml/min		نرخ جریان هر قسمت			
۱ ml/min		نرخ جریان ستون	ستون موئینه		
۱/۳۸۲۴ min		زمان ماند			
۱ ml/min		نرخ جریان پس از اجرا			
هلیوم		گاز حامل			
HP-5ms Ultra inert		نوع ستون			
30 m × 250 μm × 0.25 μm		ابعاد ستون			
زمان اجرا	زمان توقف	دما	نرخ افزایش دما	مقدار اولیه	برنامه دمایی کوره
min	min	°C	°C/min		
۴	۴	۳۵			
۱۸/۳۷۵	۰	۱۵۰	۸		
۳۱/۳۷۵	۳	۳۰۰	۱۵	مرحله ۲	

جدول ۲. تنظیمات دستگاه GC-FID جهت آنالیز کمی ترکیبات آلی فرار

تنظیمات	پارامتر	اجزاء تشکیل دهنده دستگاه GC			
۲۰۰ °C	درجه حرارت اینجکتور	بخش تزریق نمونه			
۱ μl	حجم تزریق				
حالت تقسیم کننده نمونه	روش تزریق نمونه				
۱۰	نسبت تقسیم				
۱۰ ml/min	نرخ جریان هر قسمت				
۱ ml/min	نرخ جریان ستون	ستون موئینه			
۱/۳۸۲۴ min	زمان ماند				
۱ ml/min	نرخ جریان پس از اجرا				
هلیم	گاز حامل				
CP-Sil 8 CB	نوع ستون				
30 m × 0.5 mm × 0.25 μm					
زمان اجرا	زمان توقف		دما	نرخ افزایش دما	
min	min		°C	°C/min	
۱	۱		۴۵	مقدار اولیه	
۵	۰		۶۵	۵	مرحله ۱
۱۵/۶۲۵	۰	۱۵۰	۸	۲	مرحله ۲
۲۵۰ °C	درجه حرارت آشکارساز	آشکارساز			

استانداردهای موجود، با واحدی یکسان بیان شود. به همین منظور؛ جهت تبدیل غلظت آلاینده هدف در نمونه هوا بر حسب mg/m^3 به ppm در شرایط استاندارد از فرمول زیر استفاده شد (۱۳):

$$\text{فرمول ۴} \quad C(ppm) = \frac{C(mg/m^3)}{Mw} \times 24.45$$

C	غلظت آلاینده هدف در نمونه هوا	mg/m^3 یا
Mw	جرم ملکولی آلاینده تحت آنالیز	g/mol
۲۴/۴۵	حجم یک مول گاز در دمای $25^\circ C$ و فشار ۷۶۰ mmHg	L

در این بخش با توجه به راهبرد اندازه‌گیری مواجهه انتخابی؛ محاسبه متوسط سنجش زمانی مواجهه (TWA)^{۱۲}، غلظت گزارش شده هر نمونه مبتنی بر نتایج آنالیز آزمایشگاهی (بر حسب ppm) را با توجه مدت زمان هر نمونه (بر حسب دقیقه) در نظر می‌گیریم که می‌توان از طریق فرمول زیر مقدار آن را تعیین نمود:

$$\text{فرمول ۵} \quad TWA(ppm) = \frac{T_1X_1 + T_2X_2 + T_3X_3 + \dots + T_nX_n}{T_t}$$

که $T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n$ مدت زمان نمونه‌برداری مربوط به هر نمونه با غلظت‌های گزارش شده $X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$ می‌باشد و T_t طول مدت کل نمونه‌برداری است. گفتنی است؛ این فرمول مورد قبول سازمان OSHA می‌باشد (۱۴).

در این مطالعه از مدل بریف و اسکالا جهت تصحیح حدود مجاز مواجهه با آلاینده‌های هدف با توجه به برنامه‌کاری غیرمعمول کارکنان، استفاده شد. برای به‌کارگیری مدل بریف و اسکالا در مواجهه‌های غیرمعمول ابتدا یک فاکتور یا ضریب کاهش روزانه و یا هفتگی با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه شده و سپس این ضریب در اعداد اعلام شده به‌عنوان TWA-TLV یا همان TWA-OEL ضرب شده تا حد مجاز مواجهه اصلاح شده به دست آید (۱۵، ۱۶).

$$\text{فرمول ۶} \quad \text{Daily Reduction Factor} = \frac{8}{hr} \times \frac{(24 - hr)}{16}$$

$$\text{فرمول ۷} \quad \text{Weekly Reduction Factor} = \frac{40}{r} \times \frac{(168 - hr)}{128}$$

hr ساعات کار روزانه/هفتگی

در این مطالعه، با توجه به اینکه در محاسبات بهداشت حرفه‌ای مربوط به تعیین غلظت ماده آلاینده در نمونه‌های هوا، لازم است حجم هوای نمونه‌برداری شده به حجم هوا در شرایط استاندارد (دمای $25^\circ C$ و فشار ۷۶۰ mmHg) تبدیل شود (۱۳)، برای تصحیح حجم هوای نمونه‌برداری شده با استفاده از قوانین گازها، برگرفته از قانون گازهای ایده‌آل، از معادله زیر، استفاده گردید (۱۳):

$$\text{فرمول ۲} \quad V_{Standard} = V_{Sampling} \times \frac{P_{bar} - P_w}{760} \times \frac{298}{273 + t}$$

P_w	فشار ناشی از بخار آب اشباع شده در دمای t	mmHg
P_{bar}	فشار بارومتریک جو	mmHg
$V_{Sampling}$	حجم هوای نمونه‌برداری در شرایط عملی نمونه‌برداری (محیط کار)	L
$V_{Standard}$	حجم هوای نمونه‌برداری شده در شرایط استاندارد بهداشت حرفه‌ای	L
t	دمای هوا در شرایط عملی نمونه‌برداری (محیط کار)	$^\circ C$

محاسبه غلظت ماده آلاینده در نمونه هوا

پس از گزارش غلظت در هر میکرولیتر تزریق شده از نمونه (اصلی/شاهد) به واسطه مقایسه پیک به دست آمده با منحنی استاندارد کالیبراسیون، جهت تعیین مقدار کل آلاینده در بخش جلویی و عقبی، غلظت در هر میکرولیتر در حجم محلول بازیافت بر حسب میکرولیتر ضرب شد. سپس با جایگذاری مقادیر بدست آمده در فرمول زیر، غلظت نهایی ماده آلاینده در نمونه هوا بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب محاسبه شد (۱۳):

$$\text{فرمول ۳} \quad C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{VR}$$

W_f	مقدار آلاینده در بخش جلویی نمونه اصلی زغال فعال	μg
W_b	مقدار آلاینده در بخش عقبی نمونه اصلی زغال فعال	μg
B_f	مقدار آلاینده در بخش جلویی نمونه شاهد زغال فعال	μg
B_b	مقدار آلاینده در بخش عقبی نمونه شاهد زغال فعال	μg
R	میزان بازیافت نمونه از زغال فعال ^{۱۱}	%
V	حجم هوای نمونه‌برداری شده در شرایط استاندارد (تصحیح شده)	L

نظر به اینکه حدود مجاز آلاینده‌های هدف این مطالعه بر حسب ppm بوده، می‌بایست غلظت آلاینده‌های هدف در نمونه هوا جهت مقایسه با

BTEX که با استفاده از نمونه مجهول تهیه‌شده در آزمایشگاه مرجع دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام شد، بهره گرفته شده است.

¹² Time Weighted Average

^{۱۱} با توجه به اینکه ارزیابی صحت و دقت آنالیز کمی ترکیبات آلی فرار توسط دستگاه GC-FID در اهداف این مطالعه گنجانده نشده بود، در محاسبات این پژوهش از نتایج صحت و دقت آنالیز ترکیبات

ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با مخلوط مواد شیمیایی

در صورتیکه دو یا چند ماده خطرناک با اثرات مشابه سم‌شناسی بر روی سیستم یا ارگان هدف وجود داشته باشند، اثر ترکیبی آنها باید بیشتر از اثر انفرادی آنها مورد توجه قرار گیرد. در صورت عدم وجود اطلاعاتی که نمایانگر تأثیرات متقابل این مواد بر یکدیگر باشد، در مواردی که اثر بهداشتی و سیستم یا ارگان هدف آنها مشابه باشد، اثرات این عوامل را باید به صورت افزایشی در نظر گرفت. در این حالت اگر حاصل جمع رابطه زیر از عدد یک بیشتر شود، مواجهه شغلی با مخلوط مواد بیشتر از حد مجاز است:

$$\frac{TWA_1}{STD_1} + \frac{TWA_2}{STD_2} + \frac{TWA_3}{STD_3} + \dots + \frac{TWA_n}{STD_n} \leq 1 \quad \text{فرمول ۸}$$

TWA_n نمایانگر غلظت ماده موجود در هوای محیط کار و STD_n حد مجاز مواجهه شغلی مربوط به آن ماده شیمیایی است (۱۶).

یافته‌ها

در این مطالعه سعی بر آن بود، نقاطی برای سنجش آلاینده محیطی انتخاب شود که بیشتر کارگران در آن نقاط مشغول به کار هستند. لازم به ذکر است؛ از آنجا که پایش محیطی مذکور به دلیل محدودیت‌های صنعت و زمان‌بندی تعیین‌شده از سوی آنها در ساعات پایانی شیفت کاری انجام گردیده، لذا پیش‌بینی می‌شود غلظت سنجیده شده با مقادیر مربوط به ساعات پیک کاری، به دلیل تقلیل منابع انتشار، اختلاف داشته باشد. نتایج حاصل از سنجش غلظت محیطی TVOCs در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳. نتایج سنجش محیطی غلظت TVOCs به روش قرائت مستقیم

نام ایستگاه	غلظت محیطی TVOCs (ppm)	نام ایستگاه	غلظت محیطی TVOCs (ppm)
۱	۴۵۰	۸	۵۲۰
۲	۵۳۰	۹	۴۸۰
۳	۴۹۰	۱۰	۴۵۰
۴	۴۸۰	۱۱	۴۷۰
۵	۳۵۰	۱۲	۴۴۹
۶	۳۴۵	۱۳	۳۵۴
۷	۳۳۶	۱۴	۳۴۵

نظر به مواجهه غیر معمول کارکنان این صنعت (۱۰ ساعت در هر شیفت کاری)، پس از اعمال ضریب کاهش مواجهه روزانه ($RF=0.7$)، عدد فوق به ۹۱ ppm کاهش یافت. در نتیجه؛ میانگین غلظت TVOCs اندازه‌گیری شده برابر 61.5 ± 43.2 ppm می‌باشد. از آنجاییکه حد قابل قبول مواجهه محاسبه شده ($GGV_{mixture}$)، ppm ۹۱ تعیین شده است؛ لذا غلظت آلاینده مذکور با توجه به نتایج بدست آمده، بیش از حد مجاز می‌باشد.

نتایج تجزیه کیفی ترکیبات نمونه‌برداری شده توسط زغال فعال ابتدائاً در مرحله اول نمونه‌برداری با هدف شناسایی کیفی عوامل شیمیایی محیط کار و پیش‌آزمون نمونه‌برداری جهت انتخاب راهبرد اندازه‌گیری مناسب با هدف برآورد میزان مواجهه فردی کارکنان با آلاینده‌های هدف انجام شد. نرخ جریان (دبی) حجمی پمپ نمونه‌برداری در شرایط آزمایشگاهی (کالیبراسیون) ۰/۲ لیتر بر دقیقه تنظیم شد و جهت تصحیح حجم هوای نمونه‌برداری شده، مشخصات

جهت استخراج حدود مجاز مواجهه شغلی به عنوان راهنما ارزیابی از روش محاسبه دوطرفه یا RCP (پیوست H کتابچه حدود مجاز مواجهه ACGIH) استفاده شد. لازم به ذکر است، در معادله مربوطه از مقادیر راهنمای گروهی ($GGVs$) ارائه شده در استاندارد EH40/2005 اداره بهداشت و ایمنی بریتانیا (HSE) در مورد حدود مجاز مواجهه در محیط کار (ستون C جدول)، بهره گرفته شد. مطابق ستون C جدول ACGIH و نسبت ترکیبات موجود در حلال که توسط شرکت سازنده تعیین شده است، مقدار $GGV_{mixture}$ به طریق زیر محاسبه شد:

$$GGV_{mixture} = \frac{1}{\frac{0.2}{500} + \frac{0.4}{800} + \frac{0.4}{1200}} \cong 800 \text{ mg/m}^3 \text{ (130 ppm)}$$

لازم به ذکر است، حد مجاز مواجهه محاسبه شده در صورتی است که افراد به طور استاندارد در روز ۸ ساعت مواجهه داشته باشند. در نتیجه،

سایکرومتری هوای محیط کار اندازه‌گیری شد. در این مرحله دو نمونه‌ی فردی، هریک به مدت ۳۰ دقیقه، حین وظیفه اختلاط موم مذاب، حلال و محلول رنگ و انتقال واکس کفش به مخازن نگهداری

جمع‌آوری شد. فهرست ترکیبات شناسایی شده طی آنالیز کیفی -GC/MS در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴. فهرست ترکیبات شناسایی شده طی آنالیز کیفی توسط کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی

ردیف	نام ترکیب شیمیایی	ردیف	نام ترکیب شیمیایی
۱	هپتان	۲۴	ترانس-۱-اتیل-۲-متیل-سیکلوهگزان
۲	متیل-سیکلوهگزان	۲۵	۱-اتیل-۱-متیل-سیکلوهگزان
۳	۴،۲،۱-تری‌متیل-سیکلوپنتان	۲۶	۶،۳-دی‌متیل-اکتان
۴	۳،۲،۱-تری‌متیل-سیکلوپنتان	۲۷	۳-متیل-سیکلوآکتان
۵	۲-متیل‌بوتیل‌دکانوات	۲۸	۱-اتیل-۳-متیل-بنزن
۶	۲-متیل‌پنتیل-۳-متیل‌بوتانوات	۲۹	۵،۳،۱-تری‌متیل-بنزن
۷	ترانس-۲،۱-دی‌متیل-سیکلوهگزان	۳۰	۳،۲،۱-تری‌متیل-بنزن
۸	۱،۱-دی‌متیل-سیکلوهگزان	۳۱	۴،۲،۱-تری‌متیل-بنزن
۹	۱-اتیل-۲-متیل-سیکلوپنتان	۳۲	دکان
۱۰	سیس-۲،۱-دی‌متیل-سیکلوهگزان	۳۳	۱-متیل‌پروپیل-بنزن
۱۱	ان-اکتان	۳۴	۲-اکتیل-۱-دودکانول
۱۲	۴،۲-دی‌متیل-هپتان	۳۵	متا-سایمن
۱۳	۶،۲-دی‌متیل-هپتان	۳۶	بوتیل-سیکلوهگزان
۱۴	اتیل-سیکلوهگزان	۳۷	۱،۱-دی‌متیل-۲-پروپیل-سیکلوهگزان
۱۵	۳،۱،۱-تری‌متیل-سیکلوهگزان	۳۸	۱-متیل-۳-پروپیل-بنزن
۱۶	۳،۲-دی‌متیل-هپتان	۳۹	بوتیل‌بنزن
۱۷	اتیل‌بنزن	۴۰	۱-متیل-۴-پروپیل-بنزن
۱۸	۴-متیل-اکتان	۴۱	پارا-سایمن
۱۹	اورتو، پارا-زایلین	۴۲	۲-اتیل-۴،۱-دی‌متیل-بنزن
۲۰	۲،۱،۱-تری‌متیل-سیکلوهگزان	۴۳	آندکان
۲۱	۱-اتیل-۴-متیل-سیکلوهگزان	۴۴	اورتو-سایمن
۲۲	بنزن	۴۵	۱-اتیل-۴-(۱-متیل‌اتیل)-بنزن
۲۳	ان-نونان	۴۶	تولوئن

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کیفی نمونه‌ها حاکی از وجود ۴۶ ترکیب آلی فرار در نمونه‌های هوای محیط کار است که از این میان تنها ۱۲ ترکیب دارای حدود مجاز مواجهه می‌باشند. در میان ترکیبات فوق، هیدروکربن‌هایی شناسایی شده که سمیت آنها به طور معنی‌داری بیشتر از مخلوط آنهاست (همچون؛ بنزن، تولوئن و تری‌متیل‌بنزن)، در نتیجه GGVmixture قابلیت کاربرد در این نوع مواجهات را نداشته و می‌بایست هریک از این اجزاء جداگانه اندازه‌گیری و بر اساس روش ضمیمه E کتابچه حدود مجاز مواجهه

ACGIH ارزیابی شوند (۱۶). آزمایشگاه مورد تأیید در این مطالعه تنها قادر به تعیین غلظت ۹ ترکیب شیمیایی از ترکیبات فهرست شده در جدول ۴ بوده که از این میان تنها بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن، زایلین و تری‌متیل‌بنزن که دارای اثر بهداشتی مشابه بر روی سیستم اعصاب مرکزی یا CNS^{۱۳} هستند، دارای TLV در کتابچه حدود مجاز مواجهه شغلی می‌باشند. در نتیجه؛ به دلیل محدودیت آزمایشگاه در تعیین غلظت ترکیبات آلی شناسایی شده، تنها غلظت ترکیباتی که منحنی کالیبراسیون آنها از قبل رسم شده بود، محاسبه شد.

¹³Central Nervous System

غلظت آلاینده‌های هدف فرآیند تولید واکس کفش و مقایسه با

حدود مجاز

پس از انجام بازرسی اولیه، با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده طی چرخش در محیط کار (شامل هرگونه نمونه غربالگری)، مشخص شد که با توجه به یکنواخت بودن انتشار آلاینده‌ها در یک شیفت کاری نیازی به نمونه‌برداری تمام وقت نمی‌باشد. لذا از آنجا که مطابق با دستورالعمل NIOSH می‌بایست نمونه‌برداری تا جایی که امکان دارد حداقل ۷۰-۸۰٪ شیفت کاری، به ویژه زمان‌هایی که بالاترین میزان مواجهه در آن رخ می‌دهد، را پوشش دهد (۸)؛ از راهبرد اندازه‌گیری میزان مواجهه با نمونه‌های متوالی پاره‌وقت^{۱۴} در خلال کل زمان شیفت کاری کارکنان استفاده شد. پس از بررسی نمونه‌های پیش‌آزمون از نظر خطاهای نمونه‌برداری، در مرحله دوم نمونه‌برداری

مجدد با هدف تعیین ریسک مواجهه تنفسی کارکنان با آلاینده‌های هدف، مشابه شرایط مرحله اول انجام شد. در این مرحله، در مجموع ۹ نمونه فردی جمع‌آوری شد: ۴ نمونه هرکدام به مدت ۳۰ دقیقه (حین وظیفه اختلاط موم مذاب) و ۵ نمونه هرکدام به مدت ۶۰ دقیقه (حین وظیفه بسته‌بندی قوطی‌های واکس)، از ۶ کارگر انتخاب‌شده که انتظار می‌رفت با توجه به نوع فعالیت و موقعیت انجام کار، ریسک مواجهه بالایی داشته باشند.

برنامه کاری کارکنان صنعت مذکور؛ روزهای شنبه تا چهارشنبه از ۸ صبح تا ۷ بعدظهر و پنجشنبه‌ها تا ۱ بعدظهر می‌باشد که با کسر زمان استراحت در طول روز کاری (مدت زمان بازگشت یا ریکاوری)، حدود ۱۰ ساعت در طول روز کار می‌کنند. براین اساس، در این مطالعه حدود مجاز مواجهه با آلاینده‌های هدف اصلاح گردید. حدود اصلاح شده را می‌توان در جدول ۵ مشاهده نمود.^(۲)

جدول ۵. حدود مجاز مواجهه با آلاینده‌های هدف بر اساس برنامه کاری غیرمعمول (۱۶)

حد مجاز مواجهه شغلی اصلاح شده TLV-TWA Corrected (ppm)	حد مجاز مواجهه استاندارد TLV-TWA (ppm)	آلاینده شیمیایی هدف
۰/۳۵	۰/۵	بنزن
۱۴	۲۰	تولوئن
۱۴	۲۰	اتیل بنزن
۷۰	۱۰۰	زایلن
۷	۱۰	تری متیل بنزن

نظر به اثر سم‌شناسی مشابه آلاینده‌های هدف این مطالعه بر روی سیستم اعصاب مرکزی، جهت ارزیابی ریسک مواجهه شغلی شاغلین صنعت واکس کفش، اثرات این عوامل به صورت افزایشی در نظر گرفته شده است.

منحنی‌های کالیبراسیون برای دستگاه GC-FID با استفاده از محلول‌های استاندارد در غلظت‌های مختلف تهیه شدند. همبستگی خطی (R^2) برای منحنی‌های کالیبراسیون به طور متوسط ۰/۹۹ برای

ترکیبات اندازه‌گیری شده به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای روش بود. منحنی‌های کالیبراسیون، معادلات خطی مربوطه و نقاط داده به کاررفته برای این مطالعه در پیوست ارائه شده‌اند تا شفافیت و امکان بررسی مجدد نتایج فراهم شود.

نتایج تجزیه و تحلیل کمی نمونه‌های جمع‌آوری شده و ارزیابی ریسک مواجهات فردی کارکنان، در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۶. تجزیه و تحلیل کمی آلاینده‌های هدف نمونه‌های فردی و تعیین ریسک مواجهه شغلی

نمونه	غلظت ترکیبات شیمیایی منتخب (ppm)				
	تری متیل بنزن	زایلن	اتیل بنزن	تولوئن	بنزن
۱	۱۶/۷۳	۸/۳۳	۰/۸۸	۱/۴۵	۰/۰۴
۲	۱۸/۱۵	۵/۵۲	۱/۶۳	۲/۲۴	۰/۱۵۴
۳	۱۷/۳۸	۶/۸	۱/۸۵	۱/۸۵	غیرقابل تشخیص ^{۱۵}

^{۱۵} عبارت "غیرقابل تشخیص" زمانی استفاده می‌شود که مقدار یک ماده در نمونه پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه یا روش اندازه‌گیری باشد.

^{۱۴} Partial Period Consecutive Samples Measurement

ادامه جدول ۶. تجزیه و تحلیل کمی آلاینده‌های ...

نمونه	غلظت ترکیبات شیمیایی منتخب (ppm)				
	تری متیل بنزن	زایلن	اتیل بنزن	تولون	بنزن
۴	۱۵/۱	۵/۹۱	۱/۸۶	۱/۷۲	غیرقابل تشخیص
۵	۱۲/۷	۶	۱/۳۳	۱/۹۸	غیرقابل تشخیص
۶	۱۱/۴۲	۲/۵۴	۱/۲۷	۱/۷۸	۰/۶۱
۷	۱۱/۸۲	۲/۶۳	۱/۳۰	۱/۸۳	۰/۶۲
۸	۱۰/۹۷	۲/۴۴	۱/۲۳	۱/۷۵	۰/۳۵
۹	۹/۵۸	۲/۱۳	۱/۱	۱/۶۲	۰/۴۴
TWA	۱۲/۸۸	۴/۱۴	۱/۳۳	۱/۸۰	۰/۳۳
TWA/STD	۱/۸۴	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۳	۰/۹۴

آن شده، دارای مخاطراتی نیز هست که می‌بایست به آن‌ها توجه نمود. جمع‌بندی نتایج تعدادی از مطالعات نشان داد که سیستم اعصاب مرکزی، سیستم تنفسی، کبد، کلیه و مغز استخوان هدف مسمومیت با بخارات این حلال می‌باشند. در تأیید مطالب فوق، نتیجه مطالعه‌ای در این حوزه حاکی از آن است که مواجهه با میانگین غلظت ۴۰ ppm برای بیش از ۱۳ سال می‌تواند منجر به اثرات مزمن CNS شود. همچنین مطالعه‌ای دیگر نشان داد، مواجهه ۷ ساعته کنترل شده با سطوح ۱۰۰ ppm یا بیشتر منجر به اختلال در تعادل در طول راه رفتن و افزایش زمان واکنش می‌شود (۱۷). نظر به اثرات فوق الذکر، می‌بایست با اقدامات کنترلی مناسب از مخاطرات بهداشتی و ایمنی آن پیشگیری نمود.

میزان غلظت TVOCs در محوطه داخل واحد به‌طور میانگین معادل ۶۱/۵ ± ۴۳۲ ppm بود. با توجه به اینکه کارگران این واحد، روزانه به مدت ۱۰ ساعت با این آلاینده‌ها در تماس می‌باشند، در مقایسه با حد مجاز مواجهه برآورد شده با مخلوط ترکیبات آلی (GGV_{mixture} = 91 ppm)، مواجهه بیش از حد مجاز تعیین شد. در نتیجه، می‌بایست اندازه‌گیری مواجهه فردی آن دسته از افرادی که بالاترین ریسک مواجهه را دارند، انجام شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کیفی نمونه‌ها حاکی از وجود ۴۶ ترکیب آلی فرار در نمونه‌های هوای محیط کار بود که تنها ۱۲ ترکیب دارای حدود مجاز مواجهه بودند. از این میان بنزن، تولون، اتیل بنزن،

نتایج حاصل از نمونه‌های شاهد نشان داد که آلودگی ناشی از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و آنالیز آنها در حد قابل قبول بوده و بر نتایج نهایی تأثیرگذار نبود.

بنابر نتایج جدول فوق و با در نظر گرفتن اثرات این آلاینده‌ها به صورت افزایشی، آنالیز وضعیت موجود برای مواجهه با مخلوط مواد در کل نوبت کاری به شرح زیر است؛

$$\sum \frac{TWA_i}{STD_i} = 3.07 > 1$$

در نتیجه؛ از آنجاکه مقدار کسر فوق بزرگتر از یک محاسبه شده است، به نظر می‌رسد مواجهه با مخلوط مواد بیش از حد مجاز تعیین شده می‌باشد.

بحث

اهمیت هوای پاک در محیط‌های کار صنعتی به‌خوبی شناخته شده است. یک محیط کار سالم و عاری از آلودگی، جزئی از حقوق اولیه افراد شاغل محسوب می‌گردد. با توجه به اهمیت اثرات بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرار در هوای محیط کار، اقدام در جهت ارزیابی ریسک مواجهه کارکنان اینگونه صنایع ضروری به نظر می‌رسد.

بر مبنای بررسی اولیه انجام‌شده از واحد تولید و بسته‌بندی واکس کفش جامد در صنعت مورد مطالعه، یکی از منابع اصلی تولید و انتشار بخارات VOCs، حلال آلی ۴۰۲ مورد استفاده در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، جهت ساخت متریال واکس کفش بود.

حلال شیمیایی ۴۰۲ مانند بسیاری دیگر از ترکیبات مورد استفاده در محیط‌های شغلی، در کنار ویژگی‌های مثبتی که منجر به کاربردپذیری

و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات آلی فرار کارگران شاغل در واکس کفش از طریق پایش زیستی نمونه‌های خون آنها پرداختند. آنها پس از آنالیز نمونه‌ها بیان کردند که غلظت ایزوپروپیل الکل شناسایی شده در نمونه خون کارگرانی که در معرض مواجهه با واکس کفش بودند، $15/2 \text{ ppm}$ و $20/3 \text{ ppm}$ بوده است (۲). لازم به ذکر است؛ مواجهه با بخارات ترکیبات آلی فرار در محیط کار می‌تواند منجر به ظهور VOCهای مختلف در نمونه‌های خون شود. با این حال، وجود ایزوپروپیل الکل به طور خاص در نمونه‌های خون معمولاً به دلیل قرار گرفتن مستقیم در معرض خود ایزوپروپیل الکل (نوعی حلال صنعتی) است تا سایر VOCها (۱۸).

شایان ذکر است؛ فرمولاسیون واکس کفش در کشورهای مختلف تقریباً یکسان است. به طور کل؛ واکس کفش مخلوط پیچیده‌ای از موم‌ها، سیلیکون‌ها و پلیمرهای حل شده (۲۰-۴۰ درصد از کل ترکیب) در حلال‌های مناسب از جمله نفتا، ترانتین و دیگر انواع حلال‌ها (حدود ۷۰ درصد از کل ترکیب) و رنگ‌ها (حدود ۲-۳ درصد از کل ترکیب)، می‌باشد. براساس اینکه چه حلالی به عنوان ماده اولیه مصرفی مورد استفاده قرار گیرد، نوع آلاینده مواجهه یافته با آن ممکن است متغیر باشد (۱۹، ۲۰). اما به طور کل، با توجه به مطالعات مذکور، کارگران شاغل در صنایع تولیدی واکس کفش در مواجهه با سطوح قابل توجهی از ترکیبات آلی فرار به ویژه ترکیبات BTEX می‌باشند.

سیستم تهویه ناکارآمد مشاهده‌شده در این مطالعه که مشکلی رایج در صنایع مشابه است، سطح مواجهه با آلاینده‌های انتشاری را به دلیل تعبیه غیراصولی ورودی‌ها و خروجی‌های هوا و همچنین نرخ پایین تهویه، تشدید می‌کند. این مسئله با یافته‌های مطالعات انجام شده نیز همخوانی دارد که نشان می‌دهند غلظت VOCها در محیط‌های داخلی غالباً به دلیل نرخ پایین تعویض هوا از محیط‌های خارجی بیشتر است (۶).

محدودیت‌های آزمایشگاه ما در اندازه‌گیری تمام ۴۶ ترکیب شناسایی‌شده بر نیاز به تکنیک‌های تحلیلی پیشرفته‌تر و راهبردهای پایش گسترده‌تر تأکید دارد. روش آنالیز توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی که در سایر مطالعات نیز استفاده شده است، می‌تواند رویکرد مؤثری برای ارزیابی جامع مواجهه باشد.

در نتیجه، این مطالعه بر ضرورت ارزیابی جامع ریسک مواجهه با ترکیبات آلی فرار و اقدامات کنترلی چون حذف و یا جایگزینی

زایلن و تری متیل بنزن که دارای اثر بهداشتی مشابه بر روی سیستم اعصاب مرکزی بودند، جداگانه تعیین غلظت شدند (۱۶). بنابر نتایج حاصل از آنالیز کمی ترکیبات هدف، مواجهه با مخلوط ترکیبات در کل نوبت کاری با در نظر گرفتن اثرات این آلاینده‌ها به صورت افزایشی در زمانی که سیستم تهویه ترقیقی موجود روش بود، بیش از حد مجاز تعیین شد ($\sum \frac{TWA_i}{STD_i} = 3.07$) که از این میان بیشترین سهم را تری متیل بنزن و بنزن با نسبت TWA/STD، $1/84$ و $0/94$ داشت. غلظت تجمعی بیش از ۳ برابر حد مجاز مواجهه، با توجه به اثرات بهداشتی آنها بسیار نگران کننده می‌باشد.

مطالعات مختلف اصلی‌ترین آلاینده موجود در مواجهه با واکس کفش را ترکیباتی مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) گزارش کرده‌اند. در بین ترکیبات مذکور، بنزن و در رتبه بعدی تولوئن و اتیل بنزن به دلیل سمیت بالای آنها ($TLV \leq 20 \text{ ppm}$)، حائز اهمیت می‌باشند. در این راستا، در مطالعه‌ای که لیم و همکاران در مورد ارزیابی ریسک مواجهه با واکس کفش به عنوان یک محصول مصرفی سال ۲۰۱۴ انجام دادند، گزارش نمودند که غلظت تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به ترتیب به میزان 806 ppm ، 277928 ppm و 87298 ppm اندازه‌گیری شد (۵). همچنین در مطالعه به و همکاران نیز که در سال ۲۰۰۴ انجام شد، به نتایج مشابهی همچون مطالعه لیم و همکاران رسیدند، آنها مشاهده کردند که حجم کار روزانه بیشتر با واکس کفش، غلظت‌های بنزن، تولوئن و زایلن (ایزومرهای ارتو، متا و پارا) را در محیط به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد (۶). در یک جمع‌بندی مروری که توسط لی و همکاران در سال ۲۰۲۱ انجام شد، بیان کردند که واکس کفش به عنوان یک محصول مصرفی، به طور میانگین حاوی $270-92600 \mu\text{g/g}$ ترکیبات BTEX است که می‌تواند مصرف کنندگان آن را با خطر مواجهه با ترکیبات آلی فرار رو به رو سازد (۳).

در مطالعه حاضر نتایج نشان داد؛ علاوه بر ترکیبات BTEX، که در مطالعات گذشته نیز به آنها اشاره شد، کارگران واحد تولید و بسته‌بندی واکس کفش در معرض مواجهه با غلظت قابل توجهی تری متیل بنزن بودند. تری متیل بنزن که دارای اثر بهداشتی مشابه بر روی سیستم اعصاب مرکزی است، با توجه به حدود مجاز آن ($TLV = 10 \text{ ppm}$) در دسته ترکیبات با سمیت بالا قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای با هدف مشابه این پژوهش اما به شیوه‌ای متفاوت، یعقوب

تضاد منافع

پیش از اجرای نمونه‌برداری، توضیحات کافی در مورد نحوه اجرا به افراد داده شد و در صورت امضای آگاهانه‌ی رضایت‌نامه‌ی کتبی توسط آنها، نمونه‌برداری انجام شد. همچنین در استفاده از منابع علمی و انتشار نتایج حفظ صداقت و امانت رعایت گردید. براین اساس، نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافع وجود ندارد.

منابع مالی

این پژوهش بدون هیچ گونه حمایت مالی به اجرا در آمده است.

نقش نویسندگان

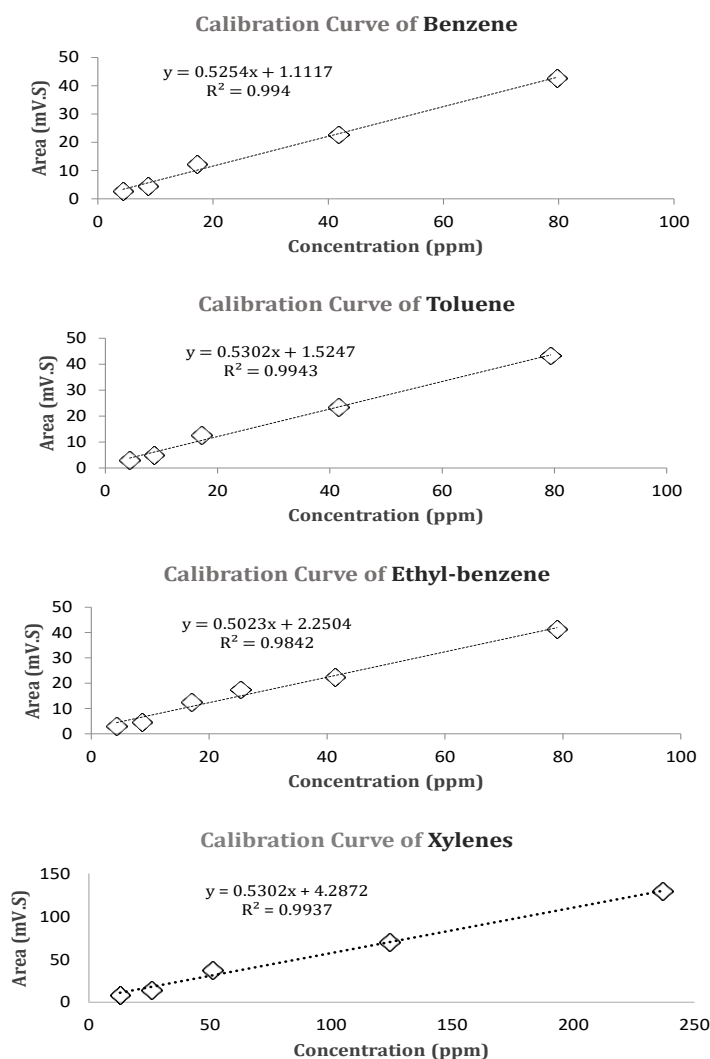
طراحی و اجرای مطالعه: زهرا یادگار، داود پناهی، سمیه فرهنگ دهقان. جمع آوری داده‌ها: زهرا یادگار، داود پناهی. تجزیه و تحلیل، تفسیر و اعتبارسنجی داده‌ها: زهرا یادگار، سمیه فرهنگ دهقان. نگارش دست نوشته، ویرایش، بازنگری و نهایی کردن مقاله: زهرا یادگار، سمیه فرهنگ دهقان.

References

- Mateen A, Ebrahimi H, Pirani D, Khalilinejad A. Industrial Ventilation Design. 2 ed. Academic Jihad of Shahid Beheshti Medical Sciences 2020.
- Yaqub G, Hamid A, Khan N, Ishfaq S, Banzir A, Javed T. Biomonitoring of Workers Exposed to Volatile Organic Compounds Associated with Different Occupations by Headspace GC-FID. J Chem. 2020; 2020:8.
- Li AJ, Pal VK, Kannan K. A review of environmental occurrence, toxicity, biotransformation and biomonitoring of volatile organic compounds. Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2021; 3:91-116.
- Cheng SM, Zhang JL, Wang YJ, Zhang DQ, Teng GP, Chang GPC, et al. Global Research Trends in Health Effects of Volatile Organic Compounds during the Last 16 Years: A Bibliometric Analysis. Aerosol Air Qual Res. 2019;19(8):1834-43.
- Lim SK, Shin HS, Yoon KS, Kwack SJ, Um YM, Hyeon JH, et al. Risk Assessment of Volatile Organic Compounds Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene (BTEX) in Consumer Products. J Toxicol Env Health Part A. 2014;77(22-24):1502-21.
- Bae H, Yang W, Chung M. Indoor and outdoor concentrations of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadways in Seoul, Korea. Sci Total Environ. 2004;323(1-3):99-105.
- Morales A. Shoe Polish Dyestuff Carcinogenicity. JAMA. 1973;225(5):528.
- Leidel NA, Busch KA, Lynch JR, Safety NifO, Health, Systems Control i. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual: Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; 1977.
- ACGIH. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design. 28 ed: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2013.
- NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM): NIOSH 2020. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/nmam>.
- NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 5 ed: NIOSH; 2017 December 11, 2017.

12. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4 ed: NIOSH; 1996 May 15/ 1996.
13. Bahrami A. Methods of Sampling and Analysis of Pollutants in air. 2 ed. Hamadan university of Medical Science 2008. 330 p.
14. Shokoohi Y, Kakooei H. Standard Methods of Measurement and Evaluation of Hazardous Agents in the Workplace. Tehran university of Medical Sciences Research Deputy 2011.
15. Malaysia D. Industry Code of Practice on Indoor Air Quality 2010, JKPP DP (S) 127/379/4-39. Minist Hum Resour Dep Occup Saf Heal. 2010:1-50.
16. TLVs® and BEIs®. acgih.org: ACGIH; 2023.
17. Organization WH. White Spirit (Stoddard Solvent) Health and Safety Guide-Health and Safety Guide 103. 1996.
18. (CDC) CfDCaP. CDC/ATSDR Guidance on the Interpretation and Use of Blood Laboratory Analyses for Volatile Organic Compounds.
19. Burke PA. Shoe Polishes. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
20. Charles O. Shoes polish production using the concept of chemical engineering process. NIPES-Journal of Science and Technology Research. 2019;1(3).

پیوست



شکل ۱. منحنی‌های استاندارد دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز شعله‌ای یونی به منظور تعیین غلظت آلاینده‌های هدف