



"مقاله پژوهشی"

شناسایی و ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه شغلی با ترکیبات فرار (VOCs) و ترکیبات مورد استفاده در تولید حشره‌کش‌ها در یک شرکت تولیدی فرآورده‌های شیمیایی و ارائه راه کارهای کنترلی و پیشگیرانه

فریما صبحی^۱، فاطمه اردستانی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: Fatemehardestani1353@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱)

چکیده

در تحقیق حاضر، ریسک مواجهه شغلی با مواد شیمیایی در یک کارخانه تولید حشره‌کش به منظور تعیین مشاغل پر خطر و ارائه راه کارهایی برای کاهش ریسک بررسی شد. به منظور ارزیابی ریسک مواد شیمیایی از روش ارائه شده توسط انستیتو ایمنی و بهداشت شغلی سنگاپور استفاده گردید. ابتدا وظایف و فرآیندهای شغلی تعیین و درجه خطر و مواجهه کارکنان با هریک از مواد شیمیایی مشخص گردید. در نهایت با تعامل این دو پارامتر در فرمول نهایی، سطوح ریسک برای هر یک از مواد به دست آمد. نتایج نشان داد کارکنان تحت بررسی در این مطالعه با ۱۶ ماده شیمیایی شامل زایلن، وینیل استات، تولوئن، اتیل بنزن، نرمال بوتیل استات، نرمال هگزان، پروپیل بنزن، دی اتیل بنزن، تری متیل بنزن، سیکلوهگزان، متیل سیکلوهگزان، پرمترین، دی ترانس آلترین، تترامترین، سدیم نیتريت و سایپرمترین در تماس می باشند. بالاترین ضریب ریسک را وینیل استات داشته و تولوئن، اتیل بنزن، متیل سیکلوهگزان، پرمترین، دی ترانس آلترین، تترامترین، سدیم نیتريت و سایپرمترین نیز ریسک متوسط را برای تمامی شغل‌ها نشان دادند. کارکنان شاغل در سالن تولید به میزان بالایی در مواجهه با بخارات سمی وینیل استات قرار داشته‌اند. استفاده از سیستم تهویه مناسب، محصورسازی بالانس تانک‌ها به منظور کاهش انتشار بخارات و کاهش ساعت مواجهه افراد به عنوان راه کارهای کنترلی پیشنهاد می گردد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، صنایع تولید حشره‌کش، مواجهه شغلی، مواد شیمیایی

مقدمه

افراد در طی زندگی و به ویژه در محیط‌های کاری خود با مواد شیمیایی گوناگونی مواجه می‌باشند. برخی از این مواد شیمیایی دارای خطرهای بهداشتی بالقوه زیادی برای سلامتی بوده و مواجهه با آن‌ها می‌تواند باعث ایجاد اثرات مختلفی بر روی سلامتی کارگران گردد. اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با این مواد شیمیایی را می‌توان در سه گروه اثرات حاد یا مزمن، اثرات سیستمیک یا موضعی و اثرات برگشت‌پذیر و غیرقابل برگشت طبقه‌بندی نمود. به منظور دستیابی به اهداف بهداشتی در جهت صیانت از نیروی کار، لازم است که مواجهه افراد با مواد شیمیایی و ریسک‌های ناشی از این مواد مورد بررسی قرار گیرد. برای تصمیم‌گیری در مورد اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر عوارض سوء ناشی از مواد شیمیایی، لازم است ریسک‌های بهداشتی ناشی از مواجهه با این مواد به طور اختصاصی مورد ارزیابی قرار گیرد. کلید و راه حل اصلی برای ارزیابی ریسک‌های مرتبط با مواجهه-های شغلی و محیطی با مواد شیمیایی فرایند ارزیابی ریسک می‌باشد (۱و۲). در حال حاضر تعداد مواد شیمیایی شناسایی شده حدود ۱۸ میلیون ماده می‌باشد. سالانه ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ماده شیمیایی جدید نیز به این تعداد اضافه می‌شود و این در حالیست که سالانه یکصد هزار ماده شیمیایی متفاوت تولید یا استفاده می‌شود که فقط برای ده هزار نوع آن اطلاعات شیمیایی تهیه شده و از کل مواد شیمیایی شناسایی شده فقط ۱٪ آن مصرف عمومی دارد. بعضی از آمارهای سازمان جهانی بهداشت گویای این واقعیت است که ۴ میلیون نفر در سطح جهان در صنایع شیمیایی مشغول به کار هستند به طوری که یک میلیون انسان در اثر تماس غیر

ایمن با مواد شیمیایی دچار مرگ شده و یا از کار افتاده می‌گردند (۳). همچنین مواد شیمیایی زیادی وجود دارند که قبلاً به عنوان مواد بی خطر یا کم خطر برای انسان‌ها شناخته می‌شدند و بعداً به عنوان مواد سرطان زا (مانند آزبست) یا بانی اختلالات تناسلی (مانند تالیدومید) معرفی شدند (۴). نتایج مطالعه‌ای که توسط جهانگیری و همکاران انجام شد نشان داده که فرآیند تولید فوم از جمله صناعی است که در آن افراد با مواد شیمیایی گوناگونی مواجهه دارند. نتایج نشان داد کارکنان تحت بررسی در این مطالعه با ۷ ماده شیمیایی شامل تولوئن دی ایزوسیانات، پلی اتیلن گلیکول، اتیلن دی آمین، استات قطع (کاسموس)، متیلن کلراید و کلسیم کربنات در تماس می‌باشند. از بین موارد ذکر شده بالاترین ریسک را تولوئن دی ایزوسیانات در شغل اپراتورهای تولید فوم با ضریب ریسک ۳/۶۷ (اپراتوری کاتر) به خود اختصاص داد (۵). راهکارهایی همانند کاهش مدت زمان مواجهه با به کارگیری رویه‌های مدیریتی مانند گردش کاری بین افراد شاغل درون سالن تولید و شاغلین بیرون از سالن، رفع نشتی لوله و اتصالات میکسرها و مخازن‌ها و سرویس منظم دستگاه‌ها و اتصالات آن، نصب یک هود روی قسمت میکسرها، نصب سیستم تهویه در محل خشک کردن فوم‌ها، عدم به کارگیری کارکنان دارای مشکل تنفسی در سالن تولید و استفاده از وسایل حفاظتی مناسب به ویژه ماسک مخصوص (ماسک با فیلتر مخصوص برای بخارات آلی) می‌تواند تا حد زیادی باعث کاهش مواجهه شاغلین گردد (۶). در مطالعه‌ی ملکوتی و همکاران در سال ۲۰۱۴ ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه شغلی با مواد شیمیایی خطرناک در آزمایشگاه‌های مراکز آموزشی

درمانی دانشگاه علوم پزشکی قم انجام شد. نتایج نشان دادند که ۴۲٪ از آزمایشگاه‌های بررسی شده از مواد شیمیایی خطرناک در آزمایش‌های خود استفاده نمی‌کردند. در این بررسی بیش‌ترین ریسک مربوط به آزمایشگاه‌های پاتولوژی به علت استفاده از فرمالدهید بود. به طور کلی ۲۶٪ از آزمایشگاه‌های تحت مطالعه دارای ریسک قابل توجه بودند (۷). در واحدهای تولید حشره کش‌ها، بنزن ریسک بالایی را نشان داده است (۸). در پالایشگاه نفت آبادان بررسی‌ها نشان داده که بنزن در تعداد قابل توجهی از واحدهای عملیاتی دارای ریسک بسیار بالا بوده و در حالی که تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در تمام واحدها دارای ریسک بسیار کمی بودند (۹). در صنایع الکترونیکی، ریسک بالای مواجهه با نرمال هگزان گزارش شده است (۱۰). فن-آوری‌های نوین از فرایندهای پیرولیز برای تولید سوخت‌های زیستی از توده‌های زیستی میکروجلبک-ها همراه با حذف هیدروکربن‌های آروماتیک پلی سیکلیک از اکوسیستم‌های زیستی توسعه یافته است (۱۱). احتمال سرطان‌زایی این ترکیبات به ویژه ترکیبات گروه‌های 2A و 2B در انسان تایید شده است (۱۲). در یک مخلوط از ترکیبات شیمیایی خطرناک، ممکن است یک یا تعداد کمی از ترکیبات حاضر، مسئول ریسک بالای کل آن مخلوط باشند (۱۳). اثرات ترکیبی کروم، نیکل و هیدروکربن‌های آروماتیک پلی سیکلیک بر سلامت کارکنان شاغل در بسیاری از صنایع و از جمله تعمیرگاه‌های الکترومکانیکی و واحدهای رنگ آمیزی خودروها و آزمایشگاه‌های آنالیز مواد شیمیایی تایید شده است (۱۴). اثرات بنزن بر سیستم هماتوپوئیک، سیستم تنفسی و

ایمونولوژیک، التهاب، استرس اکسیداتیو و آسیب-های DNA در کارکنان پالایشگاه‌های نفت و افرادی که در مناطق نزدیک به این پالایشگاه‌ها زندگی می‌کنند گزارش شده است (۱۴ و ۱۵). مطالعه ۳۰ منطقه ژئوگرافیکی جداگانه در زرنند کرمان در دو فصل زمستان و تابستان نشان داده که سطح مواد شیمیایی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فصل تابستان در حد ۲۶ تا ۷۹ میکروگرم در متر مکعب بوده و در فصل زمستان به محدوده ۲۹ تا ۳۷ میکروگرم در متر مکعب رسیده است. همچنین پتانسیل تولید ازن نیز در تابستان تقریباً ۳ برابر زمستان بوده اما در هر دو فصل، به میزان ۱۰۰ میکروگرم در متر مکعب بیش‌تر از حدود مجاز توصیه شده از سوی سازمان بهداشت جهانی بوده است (۱۶).

در تحقیق حاضر ارزیابی ریسک مواجهه شغلی کارکنان با مواد شیمیایی در یک کارخانه تولید حشره کش به منظور تعیین مشاغل پر خطر و ارائه راهکارهایی در جهت کاهش ریسک مشاغل مورد بررسی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

روش کار سنگاپور

روش ارزیابی نیمه کمی ریسک در یازده مرحله شامل تشکیل یک گروه کاری شامل نمایندگان از هر دو طرف مدیریت و کارگران، تجزیه فرایندها به وظایف کوچک‌تر، شناسایی و ثبت تمام مواد شیمیایی، تعیین ضریب مخاطره مواد، بازرسی دقیق و مصاحبه با کارکنان در حین بازرسی، تعیین میزان مواجهه برای کارگرانی که در معرض مواد شیمیایی سمی قرار می‌گیرند، تعیین ضریب مواجهه و ضریب ریسک، اجرای اقدامات اصلاحی برای شغل‌های پر ریسک، مستند

غوطه وری و شستشو، تمیزکاری و چربی زدایی سطوح فلزات مورد استفاده قرار گیرد.

$$C_{eq} = \frac{720 V_p \left(\frac{1}{MW} + \left(\frac{1}{29} \right)^{0.25} \right)}{MW^{0.16} Q K \Delta X^{0.25}} \quad (3)$$

فرض می‌شود دمای مواد و دمای هوای موجود در محل برابر با ۲۹۸ کلوین و فشار هوا برابر یک اتمسفر باشد. سرعت جریان هوا ۸/۵۰ سانتی‌متر بر ثانیه در جهت موازی با استخر و مایع درون آن در نظر گرفته می‌شود. ضمناً فرض می‌شود که شرایط پایدار حاکم است. گرمای مورد نیاز برای تبخیر به وسیله محیط اطراف تامین می‌شود. پراکندگی و لبریز از لبه‌های استخر و در جهت جریان هوا ناچیز و قابل چشم پوشی است. هیچ گونه اختلاط در سطح روی استخر مایعات وجود ندارد. هیچ تهویه موضعی یا مانع فیزیکی در لبه‌های استخر وجود ندارد. قانون گاز ایده آل برقرار است (۱۷).

تخمین میزان مواجهه کارگر با مایعات داخل

استخرهای تبخیر یا جوش

مدل پخش آلودگی به شکل استخری در نظر گرفته می‌شود که مواد شیمیایی در داخل آن ریخته شده‌اند. معادله ۴ برای تخمین سرعت تبخیر و فرار یک مایع از داخل یک ظرف روباز استفاده می‌شود.

$$Q_m = \frac{MKAP_{sat}}{R_8 T_L} \quad (4)$$

که در آن Q_m سرعت تبخیر بر حسب کیلوگرم بر ثانیه، M وزن مولکولی آلاینده بر حسب کیلوگرم بر کیلومول، K ضریب انتقال جرم، A سطح تماس یا سطح استخر حاوی مایع (متر مربع)، P_{sat} فشار بخار

سازی ارزیابی‌ها و در صورت لزوم بازنگری ارزیابی‌ها اجرا می‌گردد.

تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تخمین در

روش سنگاپور

در این روش میزان مواجهه بر حسب ppm محاسبه می‌شود. میزان مواجهه به دست آمده می‌تواند با مقادیر حدود مواجهه مجاز درازمدت^۱ مقایسه شده و برای به دست آوردن ضریب مواجهه (ER) استفاده شود. لازم به ذکر است که اگر مواجهه کم‌تر از ۸ ساعت باشد، میزان مواجهه بایستی قبل از مقایسه با حدود مواجهه مجاز دراز مدت با استفاده از رابطه ۱ به متوسط وزنی- زمانی ۸ ساعته (C_{TWA}) تبدیل شود:

$$C_{TWA} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{8} \quad (1)$$

که در آن C غلظت مواجهه (ppm) و T زمان مواجهه (hr) می‌باشد.

این رابطه برای پیش‌بینی مواجهه تنفسی در هریک از عملیات نقل و انتقال نظیر بار کردن تانکرها شبکه‌ها مناسب می‌باشد.

$$C_{ppm} = \frac{(1.67 \times 10^4)(V_p \times V \times f \times r)}{Q \times K} \quad (2)$$

C_{ppm} غلظت آلاینده بر حسب ppm، V_p فشار بخار بر حسب اتمسفر (atm)، f فاکتور اشباع که برابر با ۱ و ۰/۵ می‌باشد، Q فاکتور تهیه بر حسب متر مکعب بر دقیقه و r ضریب پراکندگی بر حسب واحد بر ساعت و K فاکتور اشباع که برابر با ۱ و ۰/۵ می‌باشد. رابطه پیش‌بینی مواجهه تنفسی (رابطه ۳) برای عملیات روباز می‌تواند برای فرآیندهایی مانند تمیز کاری یک تانک

^۱ PEL-Long Term

می‌تواند با توجه به تأثیرات سمی مواد شیمیایی تعیین گردد (جدول ۱).

تعیین ضریب مواجهه

ضریب مواجهه هم می‌تواند از طریق تعیین سطح مواجهه واقعی و هم می‌تواند از طریق تعیین شاخص‌های مواجهه به دست آید (۱۸).

اشباع مایع (پاسکال)، R_g ثابت عمومی گازهای کامل و T_L دمای مایع بر حسب کلوین است.

تعیین ضریب مخاطره

مخاطرات ناشی از یک ماده شیمیایی به میزان سمیت و نحوه مواجهه بستگی دارد. ضریب مخاطره

جدول (۱): ضریب مخاطره

درجه خطر	توصیف درجه خطر با استفاده از اثرات سمی یا عوارض زیان آور مواد شیمیایی	مثال
۱	- بدون تأثیرات نامطلوب بر سلامتی - سرطان زایی A5 (ACGIH) - جزء مواد سمی و مضر نیست	کلرید سدیم، بوتان، استات بوتیل، کربنات کلسیم
۲	- تأثیرات نامطلوب بر مخاط و پوست (بدون شدت زیاد) - سرطان زایی A4 (ACGIH) - ایجاد حساسیت و تحریک برای پوست	استون، بوتان، اسیداستیک (۱۰٪)، املاح باریوم و ...
۳	- امکان سرطان زایی و جهش زایی در انسان یا حیوان - سرطان زایی A3 (ACGIH) - گروه 2B (IARC) - ماده خورنده ($PH < 9$ یا $PH < 3$) - تحریک تنفسی و جزء طبقه بندی مواد مضر	تولون، گزین، آمونیاک، اتانول، استالید، آنیلین، آنتیموان
۴	- احتمال سرطان زایی، جهش زایی و اختلالات ژنتیکی (بر اساس مطالعات انجام شده بر روی موجودات آزمایشگاهی) - سرطان زایی 2A (IARC) - گروه B (NTP) - ماده خیلی خورنده ($PH < 2$ یا $PH < 14/5$)	فرمالدئید، کادمیوم، متیلن کلراید
۵	- سرطان زا، جهش زا و بانی اختلالات ژنتیکی در نوزادان - سرطان زایی A1 (ACGIH) - گروه ۱ (IARC) - گروه A (NTP) - ماده خیلی سمی	اتیلن اکساید، آکریلونیتریل

الف - تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین

سطح مواجهه واقعی

مواقعی که نتایج حاصل از نمونه برداری و پایش هوا قابل دسترسی باشد، متوسط وزنی - زمانی هفتگی مواجهه (TWA_{week}) با استفاده از رابطه ۵ تخمین زده می شود.

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \quad (5)$$

که در آن E میزان مواجهه هفتگی بر حسب ppm، F تکرار مواجهه در هفته (تعداد در هفته)، M شدت مواجهه بر حسب ppm، W متوسط ساعت کار در هفته (۴۰ ساعت) و D متوسط طول مدت هر مواجهه (ساعت) می باشد.

تعیین ضریب ریسک

پس از تعیین ضریب مخاطره و ضریب مواجهه، ضریب ریسک طبق رابطه ۶ به دست می آید.

$$RR = \sqrt{(HR \times ER)} \quad (6)$$

که در آن RR ضریب ریسک، HR ضریب مخاطره و ER ضریب مواجهه است. ریسک هر وظیفه و رتبه بندی آن با توجه به جدول ۲ تعیین می شود.

جدول (۲): ضریب ریسک

رتبه	ضریب ریسک
ناچیز	۰-۱/۷
کم	۱/۷-۲/۸
متوسط	۲/۸-۳/۵
زیاد	۳/۵-۴/۵
خیلی زیاد	۴/۵-۵

نتایج پایش هوا برای وینیل استات و زایلن موجود بود و به همین دلیل برای این دو ماده از روش تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین سطح واقعی استفاده شد. برای محاسبه ضریب مواجهه از داده هایی مانند تکرار مواجهه (F)، شدت مواجهه (M)، متوسط ساعت کار در هفته (W)، متوسط طول مدت هر مواجهه (D) استفاده شد. داده های نام برده در فرمول میزان مواجهه هفتگی قرار داده شد. سپس میزان مواجهه هفتگی به دست آمد. در نهایت با مقادیر مواجهه مجاز بلند مدت (PEL) مقایسه شد و ضریب مواجهه (ER) بدست آمد. ضریب مخاطره (HR) نیز به کمک دز کشنده مواد شیمیایی (LD_{50}) و غلظت کشنده مواد شیمیایی (LC_{50}) به دست آمد. این محاسبات برای همه افراد مشغول در سالن حشره کش به طور مجزا انجام شد و در نهایت با استفاده از فرمول ارزیابی ریسک، میزان سمیت وینیل استات و زایلن مشخص گردید (۱۹).

ب- تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین

شاخص های مواجهه

برای ارزیابی ریسک مواد شیمیایی که نتایج پایش هوا برای آنها وجود ندارد از روش تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین شاخص های مواجهه استفاده شد. شاخص ها شامل فشار بخار، نسبت OT/PEL، میزان کنترل آلاینده، مقدار ماده مورد مصرف در هفته، ساعت کاری در هفته می باشد. هر کدام از این شاخص ها اندازه گیری شد و EI آن مشخص شد و به کمک آنها ضریب مواجهه به دست آمد. برای به دست آوردن ضریب مخاطره نیز از دز کشنده مواد شیمیایی (LD_{50}) و غلظت کشنده مواد شیمیایی (LC_{50}) استفاده شد و در نهایت ضریب

مخاطره و ضریب مواجهه در فرمول ضریب ریسک قرار داده شد. ضریب ریسک به دست آمده نشان دهنده سمیت آن ماده شیمیایی است.

یافته‌ها

بررسی سمیت وینیل استات

جدول (۳): ارزیابی ریسک وینیل استات برای مشاغل مختلف در واحد تولید حشره کش‌ها

افراد	تکرار مواجهه در هفته (F)	شدت مواجهه (M)	متوسط طول مدت هر مواجهه (D)	میزان مواجهه هفتگی (E)	E/PEL	ضریب مواجهه (ER)	ضریب ریسک (RR)	ارزیابی
افسر HSE	۵۸	۶/۷۸	۶	۵۸/۹۸	۵/۸۹	۵	۳/۸۷	زیاد
اپراتور پرکن	۱۹۵	۶/۷۸	۱۴	۴۶۲/۷۳	۴۶/۲۷	۵	۳/۸۷	زیاد
کارشناس تولید	۹۲	۶/۷۸	۸/۷۵	۱۳۶/۴۴	۱۳/۶۴	۵	۳/۸۷	زیاد
فنی کار	۱۴	۶/۷۸	۸/۸	۲۰/۸۸	۲/۰۸	۵	۳/۸۷	زیاد
تدارکات	۲۱	۶/۷۸	۴/۷۵	۱۶/۹	۱/۶۹	۴	۳/۴۶	زیاد
کنترل کیفی	۶۱	۶/۷۸	۳	۳۱/۰۳	۳/۱	۵	۳/۸۷	زیاد
سرپرست کنترل کیفی	۶۰	۶/۷۸	۵	۵۰/۸۵	۵/۰۸	۵	۳/۸۷	زیاد
سرپرست تولید	۱۵	۶/۷۸	۱/۲۵	۳/۱۷	۰/۳۱	۲	۲/۴۴	متوسط
کمک انبار دار	۹۰	۶/۷۸	۲	۳۰/۵۱	۳/۰۵	۵	۳/۸۷	زیاد
پالت زن	۴	۶/۷۸	۳/۵	۲/۳	۰/۲۳	۲	۲/۴۴	کم

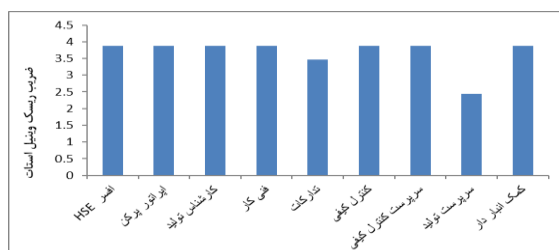
نمودار ضریب ریسک وینیل استات (شکل ۱)

نشان می‌دهد که ضریب ریسک این ماده شیمیایی تقریباً برای همه پرسنلی که با این ماده مواجهه دارند زیاد بوده است.

بررسی سمیت زایلین

جدول ۴ مربوط به ارزیابی ریسک زایلین برای مشاغل کاری مختلف در واحد تولید حشره کش‌ها را

ارائه می‌دهد. حد مجاز تعریف شده برای زایلین ۱۰۰ می‌باشد.



شکل (۱): ضریب ریسک وینیل استات برای مشاغل مختلف در واحد تولید حشره کش‌ها

جدول (۴): ارزیابی ریسک برای زایلن برای مشاغل مختلف در واحد تولید حشره کش ها

افراد	تکرار مواجهه در هفته (F)	شدت مواجهه (M)	متوسط طول مدت هر مواجهه (D)	میزان مواجهه هفتگی (E)	E/PEL	ضریب مواجهه (ER)	ضریب ریسک (RR)	ارزیابی
افسر HSE	۵۸	۰/۰۷۶	۶	۰/۶۶	۰/۰۰۶۶	۱	۱/۴۱	کم
اپراتور پرکن	۱۹۵	۰/۰۷۶	۱۴	۵/۱۸	۰/۰۵	۱	۱/۴۱	کم
کارشناس تولید	۹۲	۰/۰۷۶	۸/۷۵	۱/۵۲	۰/۰۱	۱	۱/۴۱	کم
فنی کار	۱۴	۰/۰۷۶	۸/۸۰	۰/۲۳	۰/۰۰۲۳	۱	۱/۴۱	کم
تدارکات	۲۱	۰/۰۷۶	۴/۷۵	۰/۱۸	۰/۰۰۱۸	۱	۱/۴۱	کم
کنترل کیفی	۶۱	۰/۰۷۶	۳	۰/۳۴	۰/۰۰۳۴	۱	۱/۴۱	کم
سرپرست کنترل کیفی	۶۰	۰/۰۷۶	۵	۰/۵۷	۰/۰۰۵۷	۱	۱/۴۱	کم
سرپرست تولید	۱۵	۰/۰۷۶	۱/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۰۰۳	۱	۱/۴۱	کم
کمک انبار دار	۹۰	۰/۰۷۶	۲	۰/۳۴	۰/۰۰۳۴	۱	۱/۴۱	کم
پالت زن	۴	۰/۰۷۶	۳/۵	۰/۰۲	۰/۰۰۰۲	۱	۱/۴۱	کم

بررسی سمیت بخارات ایستگاه های کاری ۱ تا ۷

در هفته معادل با ۴۸ ساعت و EI ساعت کاری در هفته برابر با ۵ در نظر گرفته شد.

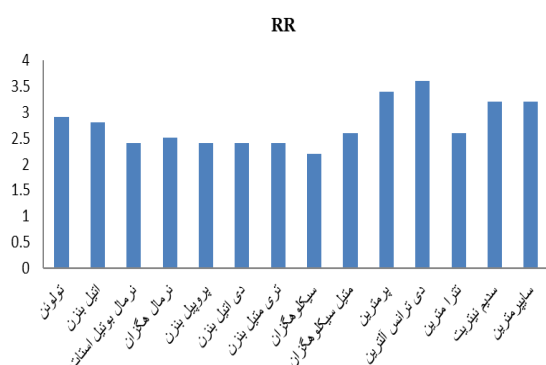
در جدول ۵ و شکل ۲ نتایج ارزیابی ریسک بخارات و مواد شیمیایی که نتایج پایش هوای آنها موجود نبوده ارائه شده است. برای به دست آوردن ضریب مواجهه و در نهایت ضریب ریسک این مواد از شاخص های مواجهه استفاده شده است.

در این بررسی ها وضعیت میزان کنترل آلاینده "کنترل کافی همراه با نگهداری نامنظم" در نظر گرفته شد. میزان کنترل آلاینده (EI) برابر با ۲ و ساعت کاری

جدول (۵): ارزیابی ریسک بخارات و مواد شیمیایی در ایستگاه های کاری ۱ تا ۷

ماده شیمیایی	فشار بخار (اتمسفر)	EI فشار بخار	نسبت OT/PEL	مقدار ماده مصرفی در هفته	EI مقدار ماده مصرفی در هفته	HR	ER	RR	ارزیابی
تولوئن	۲۸/۴	۴	۰/۱۶	-	-	۳	۲/۹۹	۲/۹	متوسط
اتیل بنزن	۶/۹	۳	-	-	-	۳	۲/۷۸	۲/۸	متوسط
نرمال بوتیل استات	۱۵	۴	۰/۲۲	-	-	۲	۲/۹۹	۲/۴	کم
نرمال هگزان	۴۰	۴	-	-	-	۲	۳/۳۷	۲/۵	کم
پروپیل بنزن	۹/۹۷	۳	-	-	-	۲	۳/۰۷	۲/۴	کم
دی اتیل بنزن	۱/۰۸	۳	-	-	-	۲	۳/۰۷	۲/۴	کم

تری متیل بنزن	۲/۱	۳	-	-	-	۲	۳/۰۷	۲/۴	کم
سیکلو هگزان	۷۸	۴	-	-	-	۲	۲/۵۱	۲/۲	کم
متیل سیکلو هگزان	۱۱۲/۵۰	۵	-	-	-	۲	۳/۶۳	۲/۶	متوسط
پرمترین	۶۷۵/۰۵	۵	-	۱۳۸۰۰	۵	۳	۳/۹۷	۳/۴	متوسط
دی ترانس آلترین	-	-	-	۱۳۸۰۰	۵	۳	۳/۶۳	۳/۶	متوسط
تترا مترین	-	-	-	۱۳۸۰۰	۵	۲	۳/۶۳	۲/۶	متوسط
سدیم نیتريت	-	-	-	۱۳۸۰۰	۵	۴	۳/۶۳	۳/۲	متوسط
سایپر مترین	۳/۲۸ ^{۱۰}	۱	-	۱۳۸۰۰	۵	۴	۲/۶۵	۳/۲	متوسط



شکل (۲): ارزیابی ریسک بخارات و مواد شیمیایی در ایستگاه‌های کاری ۱ تا ۷

مطالعات متعدد اثرات گشادکنندگی عروق، توسط نیتريت در دوزهای پایین در موش‌های صحرایی، گوسفند، سگ، پریمات و انسان را تایید کرده است. در حالتی که اکسیژن به میزان کافی باشد اکسیدازت و دی اکسید نیتروژن را از آرژنین تولید می‌کند. مقداری از این اکسیدازت به ماهیچه‌های صاف رسیده و باعث اتساع عروق می‌شود. در حالی که مقداری از آن در خون به نترات و در بافت به نیتريت تبدیل می‌شود. اثرات سمیت اکسیدازت به طور مستقیم، نسبتاً زیاد نمی‌باشد. اما در اثر واکنش با سوپر اکسایدها و تشکیل پروکسی نیتريت، اثر سمیت آن به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (۲۲).

در حالی که برخی از مطالعات ثابت نکردند که تولوئن هماتوتوکسیسیته ایجاد می‌کند یا شواهد قطعی دال بر آسیب خونی دائم و بیماری‌های خونی از مواجهه با تولوئن وجود ندارد برخی از تحقیقات، نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند. لوکوپونی، لنفوسیتوز، ماکروسیتوزیس، اتوزینوفیلیا و در برخی موارد آنمی آپلاستیک طی تماس با تولوئن گزارش شده است. هرچند که برخی اعتقاد دارند این آسیب‌ها احتمالاً به علت ناخالصی بنزن است (۲۰ و ۲۱).

سرطان‌زایی و جهش‌زایی نیتروزامین‌ها در بسیاری از حیوانات به اثبات رسیده است و از این رو در خصوص تولید این ماده در فرآورده‌های گوشتی عمل‌آوری شده نگرانی‌های زیادی وجود دارد. هنگامی که pH معده اسیدی باشد و باکتری‌های روده‌ای در روده موجود باشند، نیتريت به آسانی با آمین‌های ثانویه و آمیدها واکنش می‌دهد و ترکیبات سرطان‌زای N-nitrose را تولید می‌کند. به نظر می‌رسد که سطح نیتريت بدن پستانداران به صورت حفاظت شده می‌باشد. در انسان‌ها نیتريت پلاسما در محدوده ۱۲۱ تا ۳۵۰ نانومول قرار دارد و کاهش این میزان همراه با اختلال اندوتلیال و افزایش فاکتورهای خطرناک بیماری‌های عروق کرونری بوده است.

افزایش متوسط تعداد لنفوسیت‌ها و کاهش هموگلوبین در کارگرانی که در مواجهه طولانی مدت و مزمن با حلال‌های حاوی اتیل بنزن با غلظت ۱/۶۴ ppm بوده‌اند مشاهده شده است (۲۱). با این حال در برخی از مطالعات، عوارض خونی ناشی از مواجهه با غلظت‌های پایین اتیل بنزن دیده نشده است. به طور مثال عوارض خونی در کارگران مرد شاغل در مرکز تولید اتیل بنزن (غلظت ۶/۴ میلی گرم در متر مکعب) در طی یک دوره ۲۰ ساله دیده نشد (۲۱).

با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به سمیت زیاد وینیل استات (درجه خطر ۳) و از طرفی بالا بودن درجه مواجهه ($ER=5$)، سمیت متوسط تولوئن (درجه خطر ۳) و درجه مواجهه ($ER=2.99$)، سمیت متوسط اتیل بنزن (درجه خطر ۳) و درجه مواجهه ($ER=2.78$)، سمیت متوسط پرمترین (درجه خطر ۳) و درجه مواجهه ($ER=3.97$)، سمیت متوسط دی ترانس آلترین (درجه خطر ۳) و درجه مواجهه ($ER=3.63$)، سمیت متوسط سدیم نیتريت (درجه خطر ۴) و درجه مواجهه ($ER=3.63$)، سمیت متوسط سایپرترین (درجه خطر ۴) و درجه مواجهه ($ER=2.65$) برای کاهش ریسک بهداشتی این مواد و بخارات می‌توان از طریق کاهش درجه مواجهه با طراحی سیستم تهویه مناسب و استفاده از وسایل حفاظت فردی به طور منظم و کاهش زمان مواجهه و تعبیه تهویه مناسب اقدام نمود.

نتیجه‌گیری

ارزیابی ریسک بهداشتی بخارات و مواد شیمیایی در واحد تولید حشره‌کش به روش ارائه شده توسط انستیتو ایمنی و بهداشت شغلی سنگاپور انجام گردید.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ضریب ریسک (سمیت) بخار وینیل استات برای اکثر کارکنان و کارگران سالن تولید حشره‌کش زیاد است. ضریب ریسک برای بخارات تولوئن، اتیل بنزن، متیل سیکلوهگزان و مواد شیمیایی پرمترین، دی ترانس آلترین، تترامترین، سدیم نیتريت و سایپرترین متوسط می‌باشد. ضریب ریسک بخارات زایلن، نرمال بوتیل استات، نرمال هگزان، پروپیل بنزن، دی اتیل بنزن، تری متیل بنزن، سیکلوهگزان برای همه کارکنان و کارگران سالن تولید حشره‌کش کم است. راهکارهای مدیریتی برای کاهش مدت زمان مواجهه افراد با بخارات و مواد شیمیایی با خطر زیاد و متوسط شامل گردش کاری افراد در بخش‌های مختلف، تعمیرات و نگهداری مناسب تجهیزات تولید، رفع نشتی لوله و اتصالات میکسرها و مخازن‌ها، بررسی مداوم وضعیت سلامتی کارکنان و الزام به استفاده از ماسک‌های فیلتردار، نصب هود و سیستم تهویه مناسب در قسمت میکسرها و محل خشک کردن فوم‌ها می‌تواند ریسک مواجهه با این مواد را تا حد زیادی کاهش دهد.

تضاد منافع

تضاد منافی در این مطالعه وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر به جهت فراهم نمودن امکانات علمی و آزمایشگاهی در راستای اجرای این پروژه اعلام می‌نمایند.

منابع

- [11] Li, G., Hu, R., 2022, Cultivation of microalgae in adjusted wastewater to enhance biofuel production and reduce environmental impact: Pyrolysis performances and life cycle assessment. *J. Clean. Prod*; 355: 131768.
- [12] Jameson, C.W., 2019, Polycyclic aromatic hydrocarbons and associated occupational exposures. In *Tumour Site Concordance and Mechanisms of Carcinogenesis*. International Agency for Research on Cancer (IARC): Lyon, France; 7: 59-64.
- [13] Drakvik, E., Altenburger, R., 2020, Statement on advancing the assessment of chemical mixtures and their risks for human health and the environment. *Environ. Int*; 134: 105267.
- [14] Colman Lerner, JE., Elordi, ML., 2018, Exposure and risk analysis to particulate matter, metals, and polycyclic aromatic hydrocarbon at different workplaces in Argentina. *Environ. Sci. Pollut. Res*; 25: 8487-8496.
- [15] Cordiano, R., Papa, V., 2022, Effects of Benzene: hematological and hypersensitivity manifestations in resident living in oil refinery areas. *Toxics*; 10(11): 678.
- [16] Maria, L., Ledda, C., 2022, Biological monitoring of exposure to benzene in port workers. *Frontiers (Front) in Public Health*.
- [17] Malakootian, M., Maleki, S., 2022, Source identification, spatial distribution and ozone formation potential of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) emissions in Zarand, an industrial city of southeastern Iran. *Journal of Air Pollution and Health*; 7(3): 217-232.
- [18] Karimi Zeverdegani, S., Barakat, S., 2016, Chemical risk assessment in a chemical laboratory based on three different techniques. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*; 5(3):168-175.
- [19] Karimi, A., Slukloei, J., 2014, Designing SQCRA as a software to semiquantitative chemical risk assessment in workplace. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*; 1(2):47-56.
- [20] Karimi Zeverdegani, S., Barakat, S., 2016, Chemical risk assessment in a chemical laboratory based on three different techniques. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*; 5(3):168-175.
- [21] Abouee-Mehrizi, A., Saed-Moucheshi, Sh., 2023, Toxicological effects of
- [1] Abbas, M., Zakaria, A., 2017, Implementation of Chemical Health Risk Assessment (CHRA) program at Chemical Laboratories of a University. *Journal of Safety Studies*; 3(1): 53-72.
- [2] Cai, Y., Li, F., 2018, Occupational Health Risk Assessment in the Electronics Industry in China Based on the Occupational Classification Method and EPA Model. *International journal of environmental research and public health*. 15(10): 2061.
- [3] Jahangiri, M., parsarad, M., 2011, Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry iran occupational risk; 7(4): 18-24. [Persian].
- [4] Jnem, V., 2010, Onubeze DPM. Toluene diisocyanate-linked occupational airflow obstruction and peak expiratory flow rate patterns among foam makers. *African Journal of Respiratory Medicine*; 5: 12-6.
- [5] Jahangiri, M., parsarad, M., Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry iran occupational risk. 2011; 7(4): 18-24. [Persian].
- [6] Herber, RFM., Duffus, JH., 2001, Risk assessment for occupational exposure to chemicals. A review of current methodology. *Pure and Applied Chemistry*; 73(6): 993-1031.
- [7] Malakouti, J., Jang, S., 2014, Health risk assessment of occupational exposure to hazardous chemicals in laboratories of Qom University of Medical Sciences. *Iran Occupational Health*; 11(2).
- [8] Laal, F., Hormozi, M., 2017, Health risk assessment of occupational exposure to harmful chemical agents in a pesticide manufacturing plant. *J Occup Health Epidemiol*; 6 (3) :171-177
- [9] Jalilian, S., Sabzalipour, S., 2022, Health Risk Assessment of Occupational Exposure of Refinery Unit Site Workers to BTEX in an Oil Refinery Company. *J Health Sci Surveillance Sys*; 10(1):134-141.
- [10] Zhu, J., Su, Sh., 2022, Application of multiple occupational health risk assesmentmodels in the prediction of occupational health risks of n-Hexan in the air-conditioned closed workshop. *Frontiers (Front) in Public Health*.

- simultaneous exposure to Toluene and noise on some sexual and stress parameters in New Zealand white rabbits. *Pollution*; 9(1): 126-138.
- [22] Zhang, Zh., Liu, X., 2022, Hematological effects and benchmark doses of long-term co-exposure to Benzene, toluene, and Xylenes in a follow-up study on petrochemical workers. *Toxics*; 10(9): 502.
- [23] Cai, H., Shen, Ch., 2023, Seasonal variability, predictive modeling and health risks of N-nitrosamines in drinking water of Shanghai. *Science of the Total Environment*. 857 (2): 159530.

“Research article”

Identification and risk assessment for occupational exposure to volatile organic compounds (VOCs) and insecticides in a chemical process plants with introducing corrective and prevention actions**Farima Sobhi¹, Fatemeh Ardestani^{2*}**¹MSc, Department of Chemical Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran²Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran

*Corresponding author: Fatemehardestani1353@gmail.com

(Received: 16 November 2024, Accepted: 1 March 2025)

Abstract

Insecticide manufacturing industry is one of the processes in which people and personnel are exposed to a lot of chemicals. This study evaluated the risk of occupational exposure to chemicals in an insecticide factory in order to determine dangerous jobs and provide some solutions to reduce the risk of them. This study is cross-sectional and it was carried out in one of the insecticide production industries. The method of the Institute of Occupational Safety and Health of Singapore was used to assess the risk of chemicals. For this purpose, at first, job duties and job processes were determined and the degree of exposure of employees to each of the identified chemicals was evaluated. Finally, by interaction of these two parameters in the final formula, the risk levels were obtained for each material. The results showed that the under-study employees are in contact with 16 chemicals including xylene, vinyl acetate, toluene, ethyl benzene, normal butyl acetate, normal hexane, benzene propyl, diethyl benzene, trimethyl benzene, promethrin, detrans althrin, tetramethrin, sodium nitrite and cypermethrin. Among the mentioned cases, the highest risk was recorded for vinyl acetate for all jobs and also it was found that toluene, ethyl benzene, methyl cyclohexane, permethrin, detrans althrin, tetramethrin, sodium nitrite and cypermethrin had the average risk. Employees working in the production hall have been exposed to high levels of toxic vinyl acetate vapors. Using a proper ventilation system, and closing the balance tanks to control the vapor emissions could reduce people's exposure time and was recommended as a preventing method.

Conflict of interest: None declared.**Keywords:** Chemical risk assessment, Insecticide production industrie, Occupational exposure, Chemicals