فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۰/ شماره ۳/ پاییز ۱۳۹۹ صفحات ۲۳۷-۲۵۰

ارزیابی مقایسه ای ریسک سرطانزایی مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در یک صنعت پتروشیمی با استفاده از دو روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور

محسن صادقی یارندی، فریده گلبابایی*، علی کریمی، علی اصغر ساجدیان، وحید احمدی

گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۴/۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۹

چکیده

مقدمه: ۳،۱- بوتادین یکی از مهم ترین ترکیبات سرطانزای موجود در هوای تنفسی کارکنان شاغل در صنایع پتروشیمی می باشد. یکی از مهم ترین راه های تعیین سطح اثرات سرطانزایی و بهداشتی ناشی از مواجهه تنفسی با آلاینده های موجود در محیط کار، استفاده از روش های ارزیابی ریسک می باشد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی مقایسه ای ریسک سرطانزایی مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در یک صنعت پتروشیمی با استفاده از دو روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور انجام گردید.

روش کار: مطالعه حاضر از نوع مقطعی بوده و در سال ۱۳۹۷ در یک صنعت پتروشیمی تولید کننده کوپلیمرهای آکریلونیتریل، بوتادین و استیرن (ABS) انجام گردید. میزان مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین با استفاده از متد شماره ۱۰۲۴ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی اندازه گیری گردید. سپس به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی از دو روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور استفاده گردید.

یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در بین کلیه افراد مقدار ۰/۳۶۷ ± ۰/۲۵۳ پی پی ام بوده و در کلیه موارد پایین تر از حد مجاز مواجهه می باشد. میانگین شاخص سرطانزایی طول عمر (LCR) در روش پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در بین کلیه افراد مورد مطالعه مقدار ۳- ۱۰ ×۲/۷۱ مشخص گردید. همچنین در این روش ۸۲/۲ درصد از افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی قطعی و ۱۷/۸ درصد نیز در محدوده ریسک احتمالی قرار دارند. نتایج حاصل از روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور نیز نشان داد که ۹۱/۲ درصد از افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی احتمالی و ۸/۸ درصد از افراد نیز در محدوده ریسک قطعی قرار دارند.

نتیجه گیری: یافته های مطالعه حاضر نشان داد که نتایج روش ارزیابی ریسک نیمه کمی سنگاپوری سازگاری مناسبی با نتایج روش کمی پیشنهادی توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ندارد. لذا با توجه به دقت و جامعیت بالای روش ارزیابی ریسک سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان روشی مرجع در دنیا به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی و بهداشتی مواجهه با مواد شیمیایی، پیشنهاد می گردد در مطالعات آینده از این روش به جای روش سنگاپوری استفاده گردد.

کلمات کلیدی: *۳،۱- بوتادین، ریسک سرطانزایی، روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور.*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *fgolbabaei@tums.ac.ir*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

مقدمه

ترکیبات آلی فرار یکی از عوامل اصلی آلوده کننده هوا بوده و به علت سرعت تبخیر بالا و انتشار سریع در محیط اطراف، باعث مواجهه بسیاری از افراد و متعاقب آن اثرات جبران ناپذیری بر سلامت آنان در مشاغل مختلف می گردد (۱, ۲). همچنین این ترکیبات میزان توانایی اکسیداسیون اتمسفر را افزایش داده و دارای تاثیرات منفی بسیاری بر روی کیفیت هوای تنفسی می باشد. اثرات ترکیبات آلی مذکور بر روی افراد بسیار متنوع بوده و از تحریک تا ایجاد انواع سرطان های شغلی را شامل می شود (۳-۵).

پالایشگاه ها و پتروشیمی ها، از جمله بزرگترین منتشر کننده های ترکیبات آلی فرار در بین کلیه صنایع مرتبط با مواد شیمیایی هستند (۶, ۷). مواد منتشره از پالایشگاه ها و پتروشیمی ها عمدتا شامل ترکیبی از مواد شیمیایی سمی همچون ترکیبات آلی فرار (مثل ۳،۱- بوتادین، بنزن و ...)، فلزات سنگین، هیدروکرین های آروماتیک چند حلقه ای و بی فنیل های پلی کلرینه می باشد (۸). همانطور که گفته شد، یکی از ترکیبات آلی فرار خطرناک مورد استفاده در محیط های کاری از جمله پتروشیمی ها، ماده ۳،۱- بوتادین می باشد. ۳،۱- بوتادین یک گاز بی رنگ بوده، به راحتی در هوا تجزیه شده، بویی شبیه به بوی بنزین داشته و حد آستانه بویایی آن ۰/۴۵ پی پی ام می باشد (۹). مطالعات کوهورت انجام شده در زمینه مواجهات شغلی، نشان داده اند که بین تماس شغلی با ۳،۱- بوتادین و ایجاد سرطان در سیستم های خون و لنف ارتباطی قوی وجود دارد (۱۰-۱۲). آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (IARC[1])، این ماده شیمیایی را به عنوان یک سرطانزای انسانی از طریق استنشاق معرفی کرده و در گروه ۱ مواد سرطانزا قرار داده است (۱۳). علاوه بر این موارد، مطالعات پیشین نشان داده اند که برخی از متابولیت های ۳،۱- بوتادین مشکوک به ایجاد نقایص ژنتیکی نیز می باشند. از جمله اثرات غیر سرطانزایی و بهداشتی این ترکیب نیز می توان به تحریک سیستم عصبی، چشم ها، بینی، راه های هوایی، ایجاد سرد درد، خستگی، کاهش فشار خون و ضربان قلب و همچنین ایجاد آتروفی در تخمدان اشاره نمود (۱۰, ۱۴, ۱۵). حدود ۶۰ درصد از بوتادین تولیدی در صنایع پتروشیمی، بمنظور ساخت پلاستیک های سنتتیک همچون کوپلیمر ABS[2] (گرانول اکریلونیتریل، بوتادین و استایرن) مورد استفاده قرار می گیرد (۱۶, ۱۷). در اتحادیه اروپا، مطالعات اپیدمیولوژیکی انجام شده در دهه ۱۹۸۰ نشان داد که ۳۱۵۵۳ کارگر در مواجهه با سطوحی، بالاتر از سطح مجاز ۳،۱- بوتادین هستند (۱۶). مطالعات انجام شده در زمینه اندازه گیری و ارزیابی ریسک اثرات ترکیب ۳،۱- بوتادین در صنایع پتروشیمی نیز مشخص کرده اند که این ترکیب از جمله ترکیبات خطرناک موجود در هوای تنفسی کارکنان شاغل در صنایع پتروشیمی بوده و ریسک بالایی در ایجاد سرطان های شغلی برای افراد شاغل در چنین محیط های دارد (۴, ۸, ۱۸). کلیه موارد و اثرات گفته شده در رابطه با ترکیب ۳،۱- بوتادین، علل الخصوص در صنایع پتروشیمی با توجه به حجم بالای مواجهه با این ترکیب، لزوم ایجاد یک برنامه جامع پایش و ارزیابی ریسک به منظور پیشگیری و کاهش خطرات مواجهه با چنین ترکیباتی را هویدا می سازد.

شورای تحقیقات ملی آمریکا (NRC[3]) ارزیابی ریسک را به عنوان تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوه مواجهه با خطرات محیطی تعریف می کند (۱۹, ۲۰). در آخرین ویرایش استاندارد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، ارزیابی ریسک به عنوان ابزاری در جهت تعیین ریسک های ناشی از مخاطرات موجود در محیط کار با در نظر گرفتن اقدامات کنترلی موجود و تصمیم گیری در مورد پذیرش یا عدم پذیرش آن تعریف شده است (۲۱). دو روش مهم و رایج در مبحث ارزیابی ریسک مواجهه با مواد شیمیایی، روش نیمه کمی دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور و روش کمی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA[4]) می باشد. در روش سنگاپوری در ابتدا

1 International Agency for Research on Cancer

2 Acrylonitrile, Butadiene, Styrene

3 United States National Research Council

4 United States Environmental Protection Agency

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

درجات مواجهه و خطر محاسبه گردیده و سپس سطح و رتبه ریسک و ضرورت انجام اقدامات اصلاحی مشخص می گردد (۲۲). در روش کمی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به منظور تعیین سطح ریسک سرطانزایی مواجهه با ترکیبات شیمیایی از شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR[5]) استفاده می گردد (۲۳). امروزه بسیاری از سازمان های بین المللی از جمله سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط زیست امریکا استفاده از روش های ارزیابی کمی ریسک را به عنوان مبنای قانون گذاری در مورد ترکیبات شیمیایی در نظر می گیرند (۲۴). مطالعات زیادی در ایران به منظور ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرار در صنایع پتروشیمی انجام شده است (۲۲, ۲۵) و در اکثر مطالعات مذکور به منظور تعیین سطح ریسک اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با ترکیبات شیمیایی از روش نیمه کمی سنگاپوری استفاده گردیده است. این در حالی است که اکثریت مطالعات انجام شده به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی و بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرار در دنیا با استفاده از روش های کمی همچون روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا صورت گرفته است (۱, ۴, ۲۳). لذا با توجه به موارد پیش گفت، تاثیرات مخرب ترکیب ۳،۱- بوتادین بر روی سلامت نیروی کار در محیط های با ریسک مواجهه بالا با ترکیب مذکور، همچون صنایع پتروشیمی ، که تاکنون مطالعه ای در داخل کشور به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی ترکیب مذکور در صنایع پتروشیمی انجام نشده است و همچنین به منظور مقایسه همزمان نتایج دو روش ارزیابی ریسک سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور جهت تعیین روش مطلوب در مباحث ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات آلی فرار در راستای صیانت از سلامت نیروی کار، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی مقایسه ای ریسک سرطانزایی مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در یک صنعت پتروشیمی با استفاده از دو روش سازمان حفاظت محیط زیست امریکا و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

5 Life Cancer Risk

روش کار

مطالعه حاضر از نوع توصیفی – تحلیلی و مقطعی بوده و در سال ۱۳۹۷ در یک صنعت پتروشیمی تولید کننده کوپلیمر اکریلونیتریل، بوتادین و استایرن (ABS) در ایران انجام شد. نتایج حاصل از مطالعات مقدماتی و بررسی اولیه صنعت پتروشیمی مورد مطالعه نشان داد که در واحد های شغلی ایمنی و آتش نشانی، پلی بوتادین لاتکس، درایر، کامپاند ۱ و ۲، کواگولیشن، نیروگاه، تعمیرات، تاسیسات، بسته بندی و آزمایشگاه، مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین وجود دارد، لذا در بخش های مذکور ارزیابی مواجهه و ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین انجام گردید. لازم به ذکر است که کلیه افراد حاضر در مطالعه قبل از انجام نمونه برداری های مربوطه، فرم رضایت نامه جهت شرکت در مطالعه را تکمیل نمودند. مراحل انجام مطالعه در ذیل آمده است:

نمونه برداری از ترکیب ۳،۱- بوتادین: به منظور نمونه برداری از روش بهینه معرفی شده توسط انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی (متد شماره ۱۰۲۴) استفاده گردید. نمونه ها به روش جذب سطحی و توسط لوله های جاذب ذغال فعال پایه بلند حاوی زغال فعال با منشاء پوست نارگیل (۶۰۰ میلی گرم) و ساخت شرکتSKC انگلستان جمع آوری گردیدند. در محل نمونه برداری دو طرف لوله نمونه گیر شکسته شده و به پمپ نمونه برداری فردی ساخت شرکت SKC و کالیبره شده با استفاده از فلومتر حباب صابون، با دبی ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه متصل گردیده و سپس توسط هولدر و گیره به یقه افراد و بصورت عمودی وصل گردید. لازم به ذکر است که به منظور ارزیابی مواجهه فردی از الگوی گروه های با مواجهه مشابه (Similar Exposure Groups) استفاده گردید. حجم نمونه مورد نیاز برای انجام پژوهش مطابق الگوی پیشنهادی موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا تحت عنوان گروه های با مواجهه مشابه (SEG) تعداد ۱۵۰ نمونه از هوای تنفسی ۵۰ شاغل، برآورد گردید. پس از اتمام نمونه برداری در هر مرحله

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

لوله های جاذب ذغال فعال در جعبه های حاوی یخ خشک و در دماهای پایین تر از ۴- درجه سانتیگراد نگهداری شده و جهت انجام امور آنالیز و تعیین مقدار به آزمایشگاه منتقل گردید.

آماده سازی و آنالیز نمونه ها: محتوی ذغال فعال موجود در هر دو بخش جلویی (۴۰۰ میلی گرم) و عقبی (۲۰۰ میلی گرم) لوله نمونه بردار به ویال های جداگانه ای با حجم ۵ میلی لیتر منتقل گردید. سپس با استفاده از متد بهینه شماره ۱۰۲۴ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی، استخراج نمونه ها به روش بازیافت شیمیایی و با استفاده از ۴ میلی لیتر از متیلن کلراید ساخت کمپانی مرک آلمان به عنوان محلول بازیافت انجام شد (۲۶). به منظور تعیین مقدار آنالیت مورد نظر، ۱ میکرولیتر از محلول آماده سازی شده با حالت تقسیم (Split Ratio) ۱:۵، توسط سرنگ ۱۰ میکرو لیتری ساخت شرکت Hamilton برداشته شده و در محل پورت تزریق دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل VARIAN CP-3800ساخت کشور ژاپن، مجهز به دتکتور یونیزاسیون شعله ای (FID) و دارای ستون کاپیلاری با حداقل طول ۲۵ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر تزریق گردید. از گاز هلیوم نیز به عنوان گاز حامل با دبی ۲ میلی لیتر بر دقیقه استفاده گردید. دمای دتکتور ۲۲۰ درجه، دمای محل تزریق ۲۰۰ درجه، دمای اولیه ستون ۳۵ درجه بوده و پس از یک دقیقه، با نرخ تغییر دمای ۱۲ درجه سانتیگراد بر دقیقه، دمای ستون به ۶۵ درجه سانتیگراد رسید. پس از یک دقیقه با نرخ تغییر دمای ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه دمای نهایی ستون به ۱۳۰ درجه سانتیگراد رسید. در نهایت اطلاعات مربوط به هر کروماتوگرام از جمله ارتفاع و سطح زیر هر پیک استخراج گردید. همچنین تست نمونه های شاهد (Blank)، در نمونه برداری میدانی و آنالیز آزمایشگاهی به منظور بررسی سطوح آلودگی ها و خطاهای احتمالی در طی نمونه برداری، انتقال و آنالیز انجام گردید. طی مطالعه حاضر، مقدار حد مجاز مواجهه شغلی با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین (TLV – TWA)، براساس مقادیر اعلام شده توسط انجمن متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH)، مقدار ۲ پی پی ام (۴/۴۲ میلی گرم بر متر مکعب) در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه مقدار TLV – TWA ارائه شده با فرض ۸ ساعت کار در روز و ۵ روز کار در هفته می باشد، 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 (۴, ۲۷).

ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱-بوتادین با استفاده از روش پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا: یکی از روش های مورد استفاده در مطالعه حاضر، روش ارزیابی ریسک کمی پیشنهادی توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) و بانک اطلاعاتی ارائه شده توسط آن به نام سیستم اطلاعات جامع ریسک (IRIS) می باشد. در این روش به منظور برآورد میزان ریسک سرطان زایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین از شاخص سرطان زایی طول عمر (LCR) استفاده گردید، مقدار شاخص LCR برای ترکیب ۳،۱- بوتادین طی مطالعه حاضر از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۲۳).

$$LCR = CDI \times SF$$

که در آن SF فاکتور تشدید بوده و بر حسب ($kg.day.mg^{-1}$) بیان می شود. CDI نیز مقدار جذب روزانه بصورت مزمن بوده و بر حسب ($mg.kg^{-1}.day^{-1}$) بیان می گردد. فاکتور تشدید (SF^{6}) محدوده ی قابل قبولی است که در آن احتمال ایجاد پاسخ به ازای مصرف یک واحد ماده شیمیایی در طول عمر، وجود دارد و واحد آن کیلوگرم در روز بر میلی گرم است (۲۸, ۲۹). مقادیر فاکتور تشدید برای هر ترکیب سرطانزا در سیستم اطلاعات جامع ریسک ارائه شده است. مقدار فاکتور مذکور برای ترکیب ۳،۱- بوتادین طبق مطالعات پیشین ($kg.day.mg^{-1}$) ۰/۶ در نظر گرفته شد (۳۰). مقدار جذب روزانه به صورت مزمن (CDI^{7}) بیانگر قرار گرفتن

6 Slope Factor
7 Chronic Daily Intake

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

در معرض یک توده از ماده در واحد وزن بدن در واحد زمان در یک دوره زمانی نسبتا طولانی می باشد. واحد آن میلی گرم بر کیلوگرم در روز ($mg.kg^{-1}.day^{-1}$) بوده و مقدار آن طی مطالعه حاضر از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۴, ۳۰):

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

که در آن: Ca میانگین غلظت آلاینده بر حسب میلی گرم بر متر مکعب، IR میانگین نرخ تنفس بر حسب متر مکعب بر ساعت، ED مدت زمان مواجهه بر حسب ساعت در هفته، EF تواتر مواجهه بر حسب هفته در سال، LE طول مدت مواجهه بر حسب سال، BW وزن بدن بر حسب کیلوگرم، ATL متوسط طول عمر فرد بر حسب سال و NY تعداد روزهای سال (۳۶۵) می باشد. طی مطالعه حاضر، اطلاعات مربوط به سابقه کاری فرد، وزن بدن، مدت زمان مواجهه و تواتر مواجهه از طریق پرسشنامه جمع آوری گردید. مقدار میانگین نرخ تنفس شاغلین تحت بررسی متناسب با سن افراد مورد مطالعه و در بازه ۱۵/۷ تا ۱۶ متر مکعب بر روز با توجه مقادیر ارائه شده در هندبوک فاکتورهای مواجهه آژانس حفاظت از محیط زیست ایالت متحده انتخاب شده (۱۴, ۳۱) و متوسط طول عمر افراد نیز ۷۰ سال (۳۲) در نظر گرفته شد. میانگین غلظت ترکیب ۳،۱- بوتادین نیز در بخش قبل و توسط نمونه برداری از هوای تنفسی افراد مورد مطالعه محاسبه گردید. در مبحث طبقه بندی سطوح ریسک تحصیل شده در این روش، بر اساس مطالعات پیشین مقدار LCR بیشتر از 10^{-4} به عنوان ریسک قطعی (Definite Risk)، مقدار LCR بین 10^{-4} تا 10^{-5} به عنوان ریسک احتمالی (Probable Risk)، مقدار LCR بین 10^{-5} تا 10^{-6} به عنوان ریسک امکان پذیر (Possible Risk) و مقدار LCR کمتر از 10^{-6} به عنوان ریسک ناچیز (Negligible Risk) دسته بندی شده است (۴).

ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور: پس از تشکیل گروه کاری متشکل از سرپرست واحدها و متخصص بهداشت حرفه ای و شناسایی واحدهای شغلی دارای مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین مطابق با موارد گفته شده در بخش قبل، اقدام به ارزیابی ریسک نیمه کمی گردید. در این روش میزان ضریب مخاطره (HR) را می توان از دو طریق میزان سمیت و نحوه مواجهه و یا از طریق دوز کشنده (LD50) و غلظت کشنده (LC50) تعیین نمود. در این مطالعه با توجه به خاصیت سرطانزایی ترکیب ۳،۱- بوتادین، مقدار ضریب مخاطره از طریق میزان سمیت و تقسیم بندی IARC تعیین گردید. با توجه به اینکه ترکیب ۳،۱- بوتادین در گروه ۱ سرطانزاهای انسانی قرار دارد، مقدار ضریب مخاطره ۵ در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. سپس درجه مواجهه (ER) با استفاده از سطح مواجهه واقعی افراد و از طریق نتایج حاصل از اندازه گیری میزان مواجهه تنفسی افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین در طول شیفت کاری، با استفاده از معادله ذیل محاسبه گردید (۲۹):

$$E = \frac{M \times D \times F}{W}$$

که در آن: E میزان مواجهه هفتگی بر حسب میلی گرم بر متر مکعب یا پی پی ام، F فرکانس مواجهه در هفته، M میزان مواجهه بر حسب میلی گرم بر متر مکعب یا پی پی ام، D میانگین مدت زمان هر مواجهه بر حسب ساعت و W میانگین ساعات کاری در هفته بر حسب ساعت می باشد. لازم به ذکر است مطابق با موارد پیش گفت، پارامتر مقدار مواجهه تنفسی افراد در هر دو روش، طی نمونه برداری از منطقه تنفسی افراد محاسبه گردید. سپس مقدار مواجهه هفتگی بدست آمده از معادله بالا با مقادیر مواجهه مجاز بلند مدت (PEL) مقایسه شده و طبق جدول ۱ درجه مواجهه تعیین گردید (۲۱).

در نهایت میزان ریسک با استفاده از رابطه ذیل و با دارا بودن ضریب مخاطره و درجه مواجهه محاسبه گردید (۲۹):

$$Risk\ Rate = (HR \times ER)^{0/5}$$

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۱: تعیین درجه مواجهه (ER)

E/PEL	درجه مواجهه (ER)
< ۰/۱	۱
۰/۱ – ۰/۵	۲
۰/۵ – ۱/۰	۳
۱/۰ – ۲/۰	۴
≤۲/۰	۵

که در آن HR ضریب مخاطره و ER درجه مواجهه می باشد.

در نهایت مقادیر نرخ ریسک ۱-۲ در ناحیه ریسک ممکن، ۴-۲ در ناحیه ریسک احتمالی و بیشتر از ۴ نیز در ناحیه ریسک قطعی تقسیم بندی گردید (۲۹).

تجزیه و تحلیل داده ها: در نهایت تجزیه و تحلیل داده های حاصل از مطالعه، 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 معنی داری ۰/۰۵ و در محیط نرم افزار آماری SPSS Version 25 انجام پذیرفت. به منظور بررسی نرمال بودن/ نبودن توزیع داده ها نیز از آزمون آماری کولموگروف - اسمیرنوف استفاده گردید.

یافته ها

ارزیابی مواجهه تنفسی با بخارات ۳،۱- بوتادین

نتایج حاصل از بررسی میزان مواجهه افراد با ترکیب ۳،۱- بوتادین، نشان داد که میانگین مواجهه با ترکیب مذکور در بین کلیه افراد مورد مطالعه مقدار ۸۱۱±/۳۶ ۵۶۰/۸۲ میکروگرم بر متر مکعب (۳۶۷/ ± ۰/۲۵۳ پی پی ام) بوده و در کلیه موارد پایین تر از حدود مجاز مواجهه تصحیح شده براساس ویژگی های شغل (حد مجاز اعلام شده توسط ACGIH ۲ پی پی ام است) می باشد. میزان تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین در هوای تنفسی افراد مورد مطالعه، بر حسب واحدهای شغلی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاصل از جدول ۲ نشان داد که بیشترین میانگین تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین در هوای تنفسی افراد شاغل در بخش ایمنی و آتش نشانی با مقدار ۱۷۹۱/۴۲ میکروگرم بر متر مکعب وجود دارد. پس از واحد ایمنی و آتش نشانی، بیشترین تراکم ترکیب ۳،۱- بوتادین به ترتیب 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 متر مکعب، وجود دارد. بیشترین و کمترین حد تراکم آلاینده به ترتیب در واحدهای آزمایشگاه با مقدار ۲۹۳۹/۳ میکروگرم بر متر مکعب و واحد کواگولیشن با مقدار ۳۹/۷۸ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید.

در بخش بررسی میزان مواجهه افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین بر حسب نوع مشاغل، مشخص گردید بیشترین میزان مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین در وظیفه کارشناس آنالیز دستگاهی آزمایشگاه با مقدار تراکم ۲۹۳۹/۳ میکروگرم بر مترمکعب (۱/۳۳ پی پی ام) وجود دارد. پس از آن نیز وظایف سرپرست ایمنی و آتش نشانی، اپراتور سوپر میکسر واحد کامپاند، خدمات واحد پلی بوتادین لاتکس، آتش نشان و کارشناس سنجش ارتعاشات صنعتی و عیب یابی به ترتیب با مقادیر تراکم ۲۴۳۱، ۲۱۶۵/۸، ۱۹۰۵/۰۲، ۱۷۹۰/۱ و ۱۷۴۵/۹ میکروگرم بر متر مکعب، بیشترین مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین را در طول شیفت کاری خود دارند. لازم به ذکر است که در کلیه وظایف شغلی مورد بررسی، مقادیر تراکم موجود در هوای تنفسی افراد پایین تر از حدود مجاز تصحیح شده براساس ویژگی های شغلی افراد می باشد. نتایج حاصل از بررسی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۲: میزان مواجهه تنفسی کارکنان با ترکیب ۳،۱- بوتادین بر حسب واحدهای شغلی مورد مطالعه

واحد شغلی		تعداد افراد مورد مطالعه	تعداد نمونه	حداقل تراکم µg/m³ (ppm)	حداکثر تراکم µg/m³ (ppm)	میانگین تراکم µg/m³ (ppm)	p*
ایمنی و آتش نشانی		۵	۱۵	۰/۶ (۱۳۲۶)	۱/۱۵ (۲۵۴۱/۵)	۰/۸۱ (۱۷۹۱/۴۲)	۰/۰۳۲
آزمایشگاه		۶	۱۸	۰/۰۳۳ (۷۲/۹۳)	۱/۳۳ (۲۹۳۹/۳)	۰/۳۹۵ (۸۷۳/۸۳)	
بهره برداری	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)	
	بسته بندی	۲	۶	۰/۰۱۸ (۴۱/۹۱)	۰/۲ (۴۶۰/۱۹)	۰/۰۶۵ (۱۴۳/۶۵)	
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)	
	تاسیسات	۲	۶	۰/۰۴۴ (۹۸/۶۵)	۰/۱۹۳ (۴۲۷/۳۹)	۰/۱۵۴ (۳۴۲/۳۶)	
کلیه واحدها		۵۰	۱۵۰	۰/۰۱۸ (۳۹/۷۸)	۱/۳۳ (۲۹۳۹/۳)	۰/۲۵۳ (۵۶۰/۸۲)	

* Kruskal – Wallis test

ارتباط بین واحدهای شغلی مختلف و میزان مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین با استفاده از آزمون آماری ناپارامتریک کروسکال - والیس نشان داد که ارتباط معنی داری بین واحدهای شغلی مختلف مورد مطالعه و میزان مواجهه با ترکیب مذکور وجود دارد (P value = ۰/۰۳۲).

ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش USEPA

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش کمی ارائه شده توسط USEPA نشان داد که میانگین شاخص سرطانزایی طول عمر در بین کلیه افراد مورد مطالعه مقدار $۳\pm ۷۷/۰ \times ۱۰^{-۳}$ $۲/۷۱ \times ۱۰^{-۳}$ بوده و در محدوده ریسک قطعی قرار دارد ($LCR > ۱۰^{-۴}$). ۸۲/۲ درصد از کلیه افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک قطعی ($LCR > ۱۰^{-۴}$) و ۱۷/۸ درصد نیز در محدوده ریسک احتمالی ($۱۰^{-۵} < LCR < ۱۰^{-۴}$) قرار دارند. مقادیر جذب مزمن تنفسی روزانه و شاخص سرطانزایی طول عمر بر حسب واحدهای شغلی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه گردیده است.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطانزایی در واحدهای شغلی مختلف نشان داد که بیشترین مقدار شاخص سرطانزایی طول عمر مربوط به بخش ایمنی و آتش نشانی با شاخص $۷/۷۵ \times ۱۰^{-۳}$ می باشد. پس از واحد مذکور نیز به ترتیب واحدهای آزمایشگاه، درایر، کامپاند ۲، کامپاند ۱، تاسیسات و پلی بوتادین لاتکس با مقادیر شاخص سرطانزایی طول عمر $۵/۳۸ \times ۱۰^{-۳}$، $۵/۱۷ \times ۱۰^{-۳}$، $۳/۴۷ \times ۱۰^{-۳}$، $۲/۶۲ \times ۱۰^{-۳}$ ، $\times ۱۰^{-۳}$

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۳: میانگین جذب تنفسی روزانه (CDI) و شاخص سرطانزایی طول عمر (LCR) بر حسب واحدهای شغلی

واحد شغلی		جذب تنفسی روزانه (CDI) $mg.kg^{-1}.day^{-1}$	شاخص سرطانزایی طول عمر (LCR)	سطح ریسک سرطانزایی (درصد)		P^*
				قطعی ($LCR > 10^{-4}$)	احتمالی ($10^{-5} < LCR < 10^{-4}$)	
ایمنی و آتش نشانی		$1/29 \times 10^{-2}$	$7/75 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	۰/۰۲۳
آزمایشگاه		$8/96 \times 10^{-3}$	$5/38 \times 10^{-3}$	۸۰	۲۰	
بهره برداری	کامپاند ۱	$4/36 \times 10^{-3}$	$2/62 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
	پلی بوتادین لاتکس	$4/28 \times 10^{-3}$	$2/56 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
	درایر	$8/63 \times 10^{-3}$	$5/17 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
	کامپاند ۲	$5/79 \times 10^{-3}$	$3/47 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
	نیروگاه	$2/27 \times 10^{-3}$	$1/36 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
	کواگولیشن	$4/93 \times 10^{-4}$	$2/96 \times 10^{-4}$	۷۵	۲۵	
	بسته بندی	$7/6 \times 10^{-5}$	$4/56 \times 10^{-5}$	۰	۱۰۰	
تعمیرات/ بازرسی فنی/ مانیتورینگ/ خدمات	تعمیرات مکانیک	$2/11 \times 10^{-4}$	$1/26 \times 10^{-4}$	۵۰	۵۰	
	برق و ابزار دقیق	$1/03 \times 10^{-3}$	$6/18 \times 10^{-4}$	۵۰	۵۰	
	تاسیسات	$4/3 \times 10^{-3}$	$2/6 \times 10^{-3}$	۱۰۰	۰	
کلیه واحدها		$4/51 \times 10^{-3}$	$2/71 \times 10^{-3}$	۸۲/۲	۱۷/۸	

* Kruskal – Wallis test

۲/۶ و $10^{-3} \times 2/56$ دارای بیشترین ریسک سرطانزایی بوده اند. واحدهای بسته بندی و تعمیرات مکانیک نیز به ترتیب دارای مقادیر شاخص سرطانزایی $10^{-5} \times 4/56$ و $10^{-4} \times 1/26$ بوده و در بین واحدهای مورد بررسی، کمترین ریسک سرطانزایی را کسب کرده اند. بررسی ارتباط بین نوع واحد شغلی افراد و شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر ناشی از مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین در صنعت مورد مطالعه با استفاده از آزمون آماری ناپارامتریک کروسکال – والیس نشان داد که بین دو فاکتور فوق ارتباط معنی داری وجود دارد (۰/۰۲۳ = P value). همچنین مشخص گردید مقدار ضریب همبستگی بین سابقه کاری و تعداد ساعات کار در روز افراد با شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر به ترتیب مقادیر ۰/۴۳۱ و ۰/۴۹۰ بوده و ارتباط معنی داری بین موارد مذکور وجود دارد (P value < ۰/۰۵).

ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش نیمه کمی دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور نشان داد که ۹۱/۲ درصد از کلیه افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی احتمالی و ۸/۸ درصد از افراد نیز در محدوده ریسک قطعی قرار دارند. سایر مقادیر رتبه ریسک محاسبه شده در واحدهای شغلی مختلف در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطانزایی نیمه کمی در واحدهای شغلی مختلف نشان داد که بیشترین ریسک سرطانزایی مربوط به بخش ایمنی و آتش نشانی با رتبه ریسک ۳/۵۱۷ می باشد. پس از آن نیز به ترتیب واحدهای درایر، کامپاند ۱، پلی بوتادین لاتکس، آزمایشگاه و تاسیسات دارای مقادیر رتبه ریسک ۳/۴۴۶، ۳/۳۱۵، ۳/۱۰۸ و ۲/۸۶۸ بوده و دارای بیشترین مقادیر رتبه ریسک در بین کلیه واحدهای شغلی مورد مطالعه می باشند. کمترین رتبه ریسک نیز در دو واحد بسته بندی و تعمیرات مکانیک با مقدار ۲/۲۳۶ مشخص گردید. همچنین میزان ریسک سرطانزایی ناشی از مواجهه

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

جدول ۴: میانگین ریسک سرطانزایی در بین افراد مورد مطالعه به روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور

واحد شغلی		ضریب مخاطره (HR)	درجه مواجهه (ER)	رتبه ریسک (RR)	سطح ریسک (درصد)	
					قطعی	احتمالی
ایمنی و آتش نشانی		۵	۲/۵	۳/۵۱۷	۲۰	۸۰
آزمایشگاه		۵	۱/۸	۲/۸۶۸	۲۰	۸۰
بهره برداری	کامپاند ۱	۵	۲/۲	۳/۳۱۵	۰	۱۰۰
	پلی بوتادین لاتکس	۵	۲	۳/۱۰۸	۰	۱۰۰
	درایر	۵	۲/۴	۳/۴۴۶	۰	۱۰۰
	کامپاند ۲	۵	۱/۵	۲/۶۹۹	۰	۱۰۰
	نیروگاه	۵	۱/۵	۲/۶۹۹	۰	۱۰۰
	کواگولیشن	۵	۱/۲۵	۲/۴۶۷	۰	۱۰۰
	بسته بندی	۵	۱	۲/۲۳۶	۰	۱۰۰
تعمیرات/ بازرسی فنی/ مانیتورینگ/ خدمات	تعمیرات مکانیک	۵	۱	۲/۲۳۶	۰	۱۰۰
	برق و ابزار دقیق	۵	۱/۲۵	۲/۴۶۷	۰	۱۰۰
	تاسیسات	۵	۱/۸	۲/۸۶۸	۰	۱۰۰
کلیه واحدها		۵	۱/۶۴۴	۲/۷۸۷	۸/۸	۹۱/۲

جدول ۵: ریسک سرطانزایی مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین به تفکیک نوع مشاغل

نوع مشاغل	روش سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا			روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور		
	ریسک سرطانزایی (LCR)	سطح ریسک		رتبه ریسک (RR)	سطح ریسک	
		قطعی	احتمالی		قطعی	احتمالی
کارشناس آنالیز دستگاهی آزمایشگاه	$۱/۸ \times ۱۰^{-۲}$	۱۰۰	۰	۴/۴۷	۱۰۰	۰
سرپرست ایمنی و آتش نشانی	$۹/۳ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۳/۶۶	۵۰	۵۰
اپراتور سوپر میکسر واحد کامپاند	$۴/۲ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۳/۲۰۸	۰	۱۰۰
خدمات واحد پلی بوتادین لاتکس	$۶/۲ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۲/۸۵۳	۰	۱۰۰
آتش نشان	$۶/۸۵ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۳/۴۴۶	۰	۱۰۰
کارشناس سنجش ارتعاشات صنعتی و عیب یابی	$۶/۶۵ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۳/۴۶	۰	۱۰۰
تکنسین ارشد مکانیک و ماشینری	$۶/۲ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰۰	۰	۲/۸۵۳	۰	۱۰۰
اپراتور آماده سازی واحد درایر	۴×۱۰^{-۳}	۱۰۰	۰	۲/۶۱۲	۰	۱۰۰

تنفسی با ۳،۱- بوتادین در کلیه مشاغل محاسبه شده و در جدول ۵ اقدام به مقایسه نتایج حاصل از دو روش ارزیابی ریسک سرطانزایی کمی و نیمه کمی در بین مشاغلی که بیشترین مقادیر ریسک سرطانزایی را به خود اختصاص داده اند، گردیده است.

بحث

نتایج حاصل از بررسی میزان مواجهه تنفسی افراد نشان داد که میانگین مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین در بین کلیه افراد مورد مطالعه مقدار ۳۶/ ۸۱۱± ۵۶۰/۸۲ میکروگرم بر متر مکعب (۳۶۷/ ۰± ۰/۲۵۳ پی پی ام)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

بوده و در کلیه موارد پایین تر از حدود مجاز مواجهه تصحیح شده براساس ویژگی های شغل می باشد. مطالعات انجام شده در صنایع پتروشیمی در فنلاند و پرتقال نشان داد غلظت ترکیب ۳،۱- بوتادین در ۷۰ درصد از نمونه های جمع آوری شده از منطقه تنفسی افراد، کمتر از ۰/۲ پی پی ام می باشد (۳۳)، در مطالعه حاضر نیز مشخص گردید که ۶۵/۵ درصد از نمونه های جمع آوری شده حاوی غلظت های کمتر از ۰/۲ پی پی ام از ترکیب ۱ و ۳ بوتادین می باشد. در مطالعه انجام شده توسط Chan و همکاران در صنایع پتروشیمی، مشخص گردید که میزان مواجهه افراد با سطوح بخارات ۳،۱- بوتادین کمتر از حدود مجاز مورد استفاده می باشد (۳۴). همچنین در طی مطالعه انجام شده توسط Anttinen-Klemetti و همکاران در صنایع پتروشیمی، مشخص گردید میانگین مواجهه تنفسی افراد با ۳،۱- بوتادین پایین تر از حدود مجاز بوده و مقدار ۰/۱۶۹ پی پی ام می باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۳۳). از جمله دلایل بیشتر بودن میزان مواجهه افراد در مطالعه حاضر می توان به تنوع فاکتورهایی همچون وسعت صنعت مورد مطالعه، تجهیزات موجود در صنعت (تمام اتوماتیک – نیمه اتوماتیک)، نوع فرآیند، مدت زمان انجام نمونه برداری، حجم کار، مدت زمان کار در روز و میزان مطلوبیت سیستم های تهویه عمومی و موضعی موجود در سالن های مورد مطالعه اشاره نمود.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطانزایی مواجهه با ۳،۱- بوتادین با استفاده از روش ارائه شده توسط USEPA نشان داد که میانگین شاخص سرطانزایی طول عمر در بین کلیه افراد مورد مطالعه مقدار $۲/۷۱ \times ۱۰^{-۳}$ بوده و در محدوده ریسک قطعی قرار دارد. ۸۲/۲ درصد از کلیه افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی قطعی و ۱۷/۸ درصد نیز در محدوده ریسک احتمالی قرار دارند که این موضوع می تواند بطور جدی سلامت افراد را تهدید نماید. نکته حائز اهمیت این است که علی رغم مواجهه با غلظت های به مراتب پایین تر از حدود مجاز، اکثریت مقادیر ریسک سرطانزایی بدست آمده در محدوده ریسک قطعی قرار دارد. دلیل این امر می تواند درجه خطر بالای ترکیب ۳،۱- بوتادین باشد که باعث شده است، نسبت به سایر هیدروکربن های فرار فاکتور شیب (SF) بالایی نیز داشته باشد. از آنجایی که این ترکیب توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان در گروه ۱ ترکیبات سرطانزا قرار گرفته است و همچنین به دلیل دارا بودن فاکتور شیب بالا، مواجهه های در سطوح ناچیز با این ترکیب در محیط های شغلی و غیر شغلی نیز می تواند به شدت سلامت افراد را تحت تاثیر قرار دهد. از دیگر دلایل مقادیر بالای شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر در مطالعه حاضر می توان به وجود سابقه کاری بالای ۱۰ سال در اکثریت افراد مورد مطالعه، تواتر بالای مواجهه و همچنین ساعات کاری بالای ۴۸ ساعت در هفته در کلیه واحدهای مورد مطالعه اشاره نمود که از جمله فاکتورهای تاثیر گذار در میزان جذب مزمن تنفسی روزانه و به تبع آن شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر می باشد. نتایج حاصل از مطالعه Zhang و همکاران در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه در چین نشان داد که میانگین ریسک سرطانزایی طول عمر (LCR) ناشی از مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در نواحی پالایشگاه مقدار $۱/۳۷ \times ۱۰^{-۴}$ می باشد که بیشتر از مقدار ۱×۱۰^{-۴} بوده و در ناحیه ریسک سرطانزایی قطعی قرار دارد، که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۴). Kumar و همکاران در طی مطالعه خود در هند بدین نتیجه رسیدند که بیشترین شاخص سرطانزایی طول عمر ناشی از مواجهه با ۳،۱- بوتادین در مجاورت نواحی صنعتی وجود داشته و میانگین مقدار شاخص مذکور در نواحی صنعتی ۷×۱۰^{-۴} بوده و در ناحیه ریسک قطعی قرار دارد (۳۵). مشخص گردید مقدار ضریب همبستگی بین سابقه کاری و تعداد ساعات کار در روز افراد با شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر به ترتیب مقادیر ۰/۴۳۱ و ۰/۴۹۰ بوده و ارتباط معنی داری بین موارد مذکور وجود دارد ($P\ value < ۰/۰۵$). با توجه به اینکه افزایش ساعات کار در روز منجر به افزایش جذب تنفسی مزمن روزانه و به تبع آن شاخص ریسک سرطانزایی طول عمر می گردد، می توان دلیل این ارتباط

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

را توجیه نمود. مشخص گردید که بیشترین مقدار شاخص سرطانزایی طول عمر مربوط به واحد ایمنی و آتش نشانی با شاخص $۷/۷۵ \times ۱۰^{-۳}$ می باشد. همانطور که پیش تر نیز بدان اشاره شد، بیشترین میانگین مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در مقایسه با سایر واحدها نیز در همین واحد شغلی وجود دارد. از جمله دلایل آن می توان به حضور مستمر افراد آتش نشان در سالن های مختلف و همچنین اطراف مخازن ترکیب ۳،۱- بوتادین به منظور پایش مداوم وضعیت ایمنی صنعت اشاره نمود که موجب تشدید میزان مواجهه افراد حاضر در شغل آتش نشانی و ایمنی با بخارات ۳،۱- بوتادین می گردد. پس از واحد مذکور نیز به ترتیب واحدهای آزمایشگاه، درایر، کامپاند ۲، کامپاند ۱، تاسیسات و پلی بوتادین لاتکس با مقادیر شاخص سرطانزایی طول عمر $۵/۳۸ \times ۱۰^{-۳}$، $۱۰ \times ۵/۱۷$، $۳/۴۷ \times ۱۰^{-۳}$، $۲/۶۲ \times ۱۰^{-۳}$ ، $۲/۶ \times ۱۰^{-۳}$ و $۲/۵۶ \times ۱۰^{-۳}$ دارای بیشترین ریسک سرطانزایی بوده اند. در واحد آزمایشگاه با توجه به انجام تست های تحقیقاتی و همچنین تعیین درجه خلوص ترکیب بوتادین مورد استفاده در صنعت، انجام غلظت سازی های مختلف و ... تحت شرایط استفاده از هودهای آزمایشگاهی غیر استاندارد، میزان مواجهه افراد با بخارات ترکیب مذکور تا حد قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. همچنین مشخص گردید که مطابق با تست های انجام شده، استفاده از سیستم های تهویه عمومی و موضعی غیر استاندارد و همچنین دمای بالای سالن های تولید از جمله مهم ترین دلایل میزان مواجهه ی تنفسی افراد شاغل در واحد های مذکور می باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک نیمه کمی با استفاده از روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور نشان داد که ۹۱/۲ درصد از کلیه افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی احتمالی و ۸/۸ درصد از افراد نیز در محدوده ریسک قطعی قرار دارند. مشخص گردید که در هر دو روش ارزیابی ریسک مورد استفاده، بیشترین مقادیر ریسک سرطانزایی در واحد ایمنی و آتش نشانی محاسبه شده و کمترین مقادیر ریسک نیز در واحدهای بسته بندی و تعمیرات مکانیک محاسبه گردیده است (جداول ۳ و ۴). با توجه به اینکه بیشترین و کمترین میانگین مواجهه تنفسی با ۳،۱- بوتادین در این واحدها مشاهده شده است، می توان دلیل این امر را توضیح داد. در سایر موارد مقادیر ریسک در روش USEPA نسبت به نتایج روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور در سطوح به مراتب بالاتری قرار داشت که با نتایج حاصل از مطالعه رحیم نژاد و همکاران و همچنین محمدیان و همکاران همخوانی دارد (۲۱, ۲۹). با توجه به اینکه مهم ترین فاکتور تاثیر گذار در روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور میزان مواجهه تنفسی افراد می باشد، واحد ها و مشاغلی که بیشترین میزان مواجهه در آن ها وجود داشته است، بیشترین رتبه ریسک را نیز کسب کرده اند. نتایج نشان داد که در بین کلیه واحدها و مشاغل مورد مطالعه تنها واحدهای ایمنی و آتش نشانی و آزمایشگاه و مشاغل کارشناس آنالیز دستگاهی در آزمایشگاه و سرپرست ایمنی و آتش نشانی در روش دپارتمان بهداشت سنگاپور دارای مقادیر رتبه ریسک در محدوده سطح ریسک قطعی می باشند که دلیل آن میزان مواجهه بالا با بخارات ۳،۱- بوتادین در واحدها و مشاغل مذکور می باشد (جداول ۴ و ۵). این در حالی است که در روش USEPA اکثریت واحدها و مشاغل مورد بررسی، در سطح ریسک قطعی قرار داشتند. موارد مذکور نشان می دهند که روش نیمه کمی دپارتمان بهداشت سنگاپور تنها غلظت های بسیار بالا را به عنوان ریسک سرطانزایی قطعی قلمداد می کند. یکی از مهم ترین دلایل تفاوت موجود این است که در روش USEPA فاکتورهای مهمی همچون مدت زمان مواجهه فرد از زمان اشتغال در کار فعلی، وزن بدن و نرخ تنفس متناسب با سن افراد نیز در نظر گرفته می شود. نتایج نشان داد که در واحدهای آزمایشگاه و کامپاند ۲ میزان سابقه کاری افراد بالاتر از سایر واحدها می باشد، به دلیل عدم در نظر گرفتن فاکتور سابقه کار، مقادیر ریسک سرطانزایی محاسبه شده در واحدهای مذکور در روش دپارتمان بهداشت سنگاپور به مراتب پایین تر از نتایج حاصل از روش USEPA می باشد.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

در نهایت مشخص گردید که در روش USEPA مقادیر ریسک سرطانزایی در سطوح به مراتب بالاتری قرار دارند، زیرا در این روش فاکتورهای مهمی همچون غلظت آلاینده، مدت زمان مواجهه، تواتر مواجهه، وزن بدن، سابقه کاری و نرخ تنفس افراد متناسب با سن آن ها در نظر گرفته می شود. همچنین در این روش مقادیر فاکتور تشدید سرطانزایی (Slope Factor) مطابق با مطالعات انجام شده برای هر ترکیب بصورت اختصاصی ارائه گردیده است، در حالیکه در روش دپارتمان بهداشت سنگاپور مقادیر نرخ خطر آلاینده های مختلف به صورت رتبه ای به دسته ای از مواد با خاصیت سمیت تقریبا مشابه داده می شود که این امر از حساسیت و دقت روش می کاهد. لذا با توجه به نتایج حاصل از مقایسه مقادیر ریسک در دو روش مورد استفاده پیشنهاد می گردد در مطالعات آتی به منظور تعیین مقادیر ریسک سرطانزایی از روش کمی سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده استفاده گردد. همچنین با توجه به مقادیر ریسک بدست آمده در طی مطالعه حاضر پیشنهاد می گردد استراتژی های کنترلی مهندسی و مدیریتی به منظور کاهش میزان مواجهه افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین هر چه سریع تر انجام گیرد. از جمله محدودیت های موجود در مطالعه حاضر می توان به عدم در نظر گرفتن تاثیر فصول مختلف و همچنین دمای هوا در پراکندگی بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین، به علت محدودیت زمانی اشاره نمود، زیرا فاکتورهای مذکور می توانند نقش بسزایی را در میزان مواجهه تنفسی افراد با بخارات ۳،۱- بوتادین ایفا کنند. از جمله نقاط قوت مطالعه حاضر نیز می توان به ارزیابی ریسک کمی و نیمه کمی سرطانزایی ناشی از مواجهه با بخارات ترکیب ۳،۱- بوتادین در یکی از صنایع پتروشیمی کشور به عنوان صنایع با ریسک بالای مواجهه با ترکیب ۳،۱- بوتادین و مقایسه سطوح ریسک سرطانزایی آن به دو روش کمی و نیمه کمی و برای اولین بار در ایران اشاره نمود. نتایج حاصل از این مطالعه می تواند باعث ایجاد دیدگاهی جدید در حوزه ریسک سرطانزایی ناشی از مواجهه با بخارات ترکیبات آلی خطرناکی همچون ۳،۱- بوتادین در صنایع با ریسک بالای مواجهه با ترکیب مذکور همچون پالایشگاه ها و پتروشیمی ها به عنوان صنایع مادر در کشور گردیده و همچنین نشان دهنده اهمیت و لزوم استفاده از روش های کمی ارزیابی ریسک سرطانزایی همچون روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، به جای روش های نیمه کمی در محیط های شغلی می باشد.

نتیجه گیری

یافته های مطالعه حاضر نشان داد که نتایج روش ارزیابی ریسک نیمه کمی سنگاپوری سازگاری مناسبی با نتایج روش کمی پیشنهادی توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ندارد. لذا با توجه به دقت و جامعیت بالای روش ارزیابی ریسک سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان روشی مرجع در دنیا به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی و بهداشتی مواد شیمیایی، پیشنهاد می گردد در مطالعات آینده از این روش به جای روش سنگاپوری استفاده گردد. همچنین با توجه به قرار گیری اکثریت افراد مورد مطالعه در محدوده ریسک سرطانزایی قطعی ناشی از مواجهه با بخارات ۳،۱- بوتادین، انجام اقدامات کنترلی در راستای کاهش مقادیر مواجهه تنفسی افراد، امری کاملا ضروری و حیاتی می باشد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر نتایج بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده ی اول، آقای محسن صادقی یارندی با کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1398.022 می باشد که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام گردیده است، لذا نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی را از دانشگاه علوم پزشکی تهران به دلیل حمایت مالی، ابراز می نمایند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

REFERENCES

1. Zhou J, You Y, Bai Z, Hu Y, Zhang J, Zhang N. Health risk assessment of personal inhalation exposure to volatile organic compounds in Tianjin, China. Science of the Total Environment. 2011;409(3):452-9.
2. GOLHOSSEINI M, KAKOOEI H, SHAHTAHERI S, REZAZADEH-AZARI M, AZAM K. Evaluation of volatile organic compounds levels inside taxis passing through main streets of Tehran. International Journal of Occupational Hygiene. 2013;5(4):152-8.
3. 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):15132-44.
4. Zhang Z, Yan X, Gao F, Thai P, Wang H, Chen D, et al. Emission and health risk assessment of volatile organic compounds in various processes of a petroleum refinery in the Pearl River Delta, China. Environmental pollution. 2018;238:452-61.
5. 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. Journal of Health and Safety at Work. 2018;8(1):55-64.
6. Edokpolo B, Yu Q, Connell D. Health risk assessment for exposure to benzene in petroleum refinery environments. International journal of environmental research and public health. 2015;12(1):595-610.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Sadeghi-Yarandi M, Golbabaei F, Karimi A. Evaluation of pulmonary function and respiratory symptoms among workers exposed to 1, 3-Butadiene in a petrochemical industry in Iran. Archives of Environmental & Occupational Health. 2020:1-8.
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 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. Chen M-J, Lin C-H, Lai C-H, Cheng L-H, Yang Y-H, Huang L-J, et al. Excess lifetime cancer risk assessment of volatile organic compounds emitted from a petrochemical industrial complex. Aerosol and Air Quality Research. 2016;16(1954–1966).
19. NRC U. Risk assessment in the federal government: managing the process. National Research Council, Washington DC. 1983;11:3.
20. Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati Chamgordani S, Gharibi V. Carcinogenic and non-

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]

carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. Journal of Health and Safety at Work. 2018;8(3):299-308.

21. Bahrami A, Ghorbani Shanh F, Rahimpoor R. Comparation of health risk assessment carcinogenic hydrocarbons in Workplace air in an oil-dependent industry by the Environmental Protection Agency (EPA) and the Department of Human Resources Malaysia. Iran Occupational Health. 2017;14(5):107-17.
22. 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).
23. Sun J, Wang J, Shen Z, Huang Y, Zhang Y, Niu X, et al. Volatile organic compounds from residential solid fuel burning in Guanzhong Plain, China: Source-related profiles and risks. Chemosphere. 2019;221:184-92.
24. 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.
25. Jahangiri M, Motovagheh M. Health Risk Assessment of Harmful Chemicals: Case Study in a Petrochemical Industry. Iran Occupational Health Journal. 2011;7(4):4-0.
26. Eller PM. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 1,3-BUTADIENE: METHOD 1024, Fourth Edition. Diane Publishing. 1994.
27. Traumann A, Tint P, Järvik O, Oja V. Management of health hazards during shale oil handling. Agronomy Research. 2013;11(2):479-86.
28. Guo H, Lee S, Chan L, Li W. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. Environmental Research. 2004;94(1):57-66.
29. Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Moghadam SR, Moghadam AMB. Health risk assessment of occupational exposure to styrene in Neyshabur electronic industries. Environmental Science and Pollution Research. 2019:1-8.
30. 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.
31. USEPA. Exposure Factors Handbook, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, 2011 Edition. 2011.
32. WHO. Life expectancy: Life expectancy Data by country. Glob Health Obs Data Repos. 2013.
33. 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.
34. 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.
35. 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.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-16]