

Original Article

Risk Management of Occupational Exposure to Chemical Compounds (Chlorine, Formaldehyde, Isoflurane) in Selected Iranian Hospitals

Faezeh Shariati¹ , Samira Rahimnezhad², Majid Habibi Mohraz¹, Farshid Ghorbani Shahna¹, Abdalrahman Bahrami^{1*} 

¹ Research Center for Health, Safety, and Environment, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

² Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

Article history:

Received: 01 September 2025

Revised: 20 December 2025

Accepted: 26 February 2026

ePublished: 08 March 2026

***Corresponding author:**
Abdalrahman Bahrami, Research Center for Health, Safety, and Environment, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

E-mail: Bahrami@umsha.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The use of chemical substances, such as chlorine, formaldehyde, and isoflurane in sterilization, disinfection, and anesthesia processes in hospital environments, despite their vital role in infection prevention, can pose serious health risks to staff. This study was conducted to quantitatively assess the risk arising from occupational exposure to these compounds in hospitals across four provinces in Iran.

Materials and Methods: To estimate health risks, the United States Environmental Protection Agency (USEPA) quantitative risk assessment model was employed. The lifetime cancer risk (LCR) index was calculated for formaldehyde (a carcinogenic substance), and the hazard quotient (HQ) was calculated for isoflurane and chlorine (non-carcinogenic substances). The non-carcinogenic risk of formaldehyde was also assessed in this study. Individual data were collected through questionnaires and analyzed using SPSS software (version 16).

Results: The results showed that the risk of exposure to chlorine was unacceptable in all examined occupations, with HQ values exceeding 1 in every case, indicating the potential for acute health effects. The highest level of chlorine risk was observed in the hospital laundry operator at Clinic number 1 in Hamadan. Regarding formaldehyde, the LCR fell within the definite and probable risk range, and compared to WHO-recommended limits, the non-carcinogenic risk (HQ) was unacceptable in all occupations. The highest LCR was recorded among surgeons in a hospital in Kerman Province, Iran.

Conclusion: The findings emphasize the necessity of revising chemical use processes, enhancing ventilation systems, implementing source-control measures, providing comprehensive staff training, and ensuring widespread use of personal protective equipment.

Keywords: Chlorine, Formaldehyde, Hospital, Isoflurane, Occupational exposure, Risk management

Please cite this article as follows: Shariati F, Rahimnezhad S, Habibi Mohraz M, Ghorbani Shahna F, Bahrami A. Risk Management of Occupational Exposure to Chemical Compounds (Chlorine, Formaldehyde, Isoflurane) in Selected Iranian Hospitals. J Occup Hyg Eng. 2025; 12(3): 249-257 DOI: 10.53208/joohe.12.3.249

مدیریت ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی (کلر، فرمالدئید، ایزوفلوران) در بیمارستان‌های منتخب ایران

فائزه شریعتی^۱، سمیرا رحیم‌نژاد^۲، مجید حبیبی محرز^۱، فرشید قربانی شهنا^۱، عبدالرحمن بهرامی^{۱*}

۱. مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از مواد شیمیایی نظیر کلر، فرمالدئید و ایزوفلوران در فرایندهای استریلیزاسیون، گندزدایی و بیهوشی در محیط‌های بیمارستانی، باوجود نقش حیاتی در پیشگیری از عفونت، می‌تواند با خطرهای جدی برای سلامت کارکنان همراه باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی کمی ریسک ناشی از مواجهه شغلی با این ترکیبات در بیمارستان‌های چهار استان کشور انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور برآورد ریسک سلامت، مدل ارزیابی کمی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) استفاده شد. شاخص ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) برای فرمالدئید (ماده سرطان‌زا) و نسبت خطر (HQ) برای ایزوفلوران و کلر (مواد غیرسرطان‌زا) و ریسک غیرسرطان‌زایی فرمالدئید محاسبه شد. داده‌های فردی نیز از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری و با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ریسک مواجهه با کلر در همه مشاغل مورد بررسی قابل پذیرش نبوده و مقدار HQ در همه موارد بیش از ۱ گزارش شد که نشان‌دهنده پتانسیل ایجاد عوارض حاد بهداشتی است. بالاترین سطح ریسک کلر در متصدی رخت‌شوی‌خانه کلینیک شماره ۱ همدان مشاهده شد. درخصوص فرمالدئید، ریسک سرطان‌زایی (LCR) در محدوده ریسک قطعی و احتمالی قرار گرفت و در مقایسه با حدود توصیه‌شده سازمان جهانی بهداشت (WHO)، ریسک غیرسرطان‌زایی (HQ) در تمامی مشاغل غیرقابل پذیرش بود. بیشترین LCR در جراحان یک بیمارستان استان کرمان ثبت شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بر لزوم بازنگری در فرایندهای استفاده از مواد شیمیایی، تقویت سیستم‌های تهویه، اعمال اقدامات کنترلی در منبع، آموزش جامع کارکنان و استفاده گسترده از تجهیزات حفاظت فردی تأکید می‌کند.

واژگان کلیدی: مدیریت ریسک، کلر، فرمالدئید، ایزوفلوران، مواجهه شغلی، بیمارستان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۰۶

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۱۷

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: عبدالرحمن بهرامی، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

ایمیل: Bahrami@umsha.ac.ir

استناد: شریعتی، فائزه؛ رحیم‌نژاد، سمیرا؛ حبیبی محرز، مجید؛ قربانی شهنا، فرشید؛ بهرامی، عبدالرحمن. مدیریت ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی (کلر، فرمالدئید، ایزوفلوران) در بیمارستان‌های منتخب ایران. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، پاییز ۱۴۰۴ (۳): ۲۴۹-۲۵۷

مقدمه

بیمارستان‌ها به‌منظور حفظ شرایط استریل، پیشگیری از عفونت و ارائه خدمات بیهوشی ایمن، به‌طور گسترده از مواد شیمیایی قوی استفاده می‌کنند [۱]. سه ترکیب شیمیایی پرکاربرد در این زمینه، شامل کلر (عمدتاً از محلول‌های هیپوکلریت سدیم برای گندزدایی سطوح و البسه)، فرمالدئید (در بخش‌های پاتولوژی، آناتومی و برخی فرایندهای استریلیزاسیون) و ایزوفلوران (به‌عنوان بیهوش‌کننده فرار

استنشاقی) می‌شوند [۲]. باوجود نقش حیاتی این ترکیبات در کنترل عفونت و مراقبت‌های پیرامون جراحی، مواجهه شغلی با آن‌ها می‌تواند از طریق مسیرهای مشخص انتشار، به بروز آثار حاد و مزمن در سلامت کارکنان منجر شود. کلر در محیط‌های بیمارستانی عمدتاً از محلول‌های هیپوکلریت سدیم حاصل می‌شود که برای ضدعفونی سطوح، شست‌وشوی لباس‌ها و کنترل آلودگی‌های میکروبی به کار

به‌عنوان ابزار کارآمد، به شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی خطرهای کمک می‌کند، تا منابع و زمان به‌طور مؤثر برای کنترل مخاطرات پرخطر صرف شود. انجام‌دادن این ارزیابی‌ها می‌تواند به تخصیص نامناسب منابع و نادیده‌گرفتن خطرهای مهم‌تر منجر شود.

با توجه به ماهیت خطرناک این مواد، ارزیابی کمی ریسک براساس چهارچوب‌های علمی معتبر، نظیر رویکرد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA)، امکان مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری‌شده با حدود مواجهه ایمن را فراهم می‌کند. محاسبه‌ی شاخص ریسک سرطان‌زای طول عمر (LCR) برای ترکیباتی همچون فرمالدئید و نسبت خطر (HQ) برای ترکیبات غیرسرطان‌زا، مانند کلر و ایزوفلوران، برای رتبه‌بندی بخش‌ها و وظایف شغلی، اولویت‌بندی اقدامات کنترلی شامل بهبود سامانه‌های تهویه، به‌کارگیری کنترل‌های مهندسی و مدیریتی و ارزیابی اثربخشی مداخلات در طول زمان، ابزار مؤثری در اختیار مدیران ایمنی و بهداشت بیمارستان قرار می‌دهد.

هدف این پژوهش تعیین سطح ریسک مواجهه‌ی فردی شاغلان با ترکیبات شیمیایی (کلر، فرمالدئید و ایزوفلوران) در بیمارستان‌های آموزشی چهار استان همدان، کرمان، مرکزی و زنجان با استفاده از روش U.S.EPA بوده است.

روش کار

طراحی مطالعه

این مطالعه به‌صورت تحلیلی - مقطعی (Analytical Cross-Sectional Study) در زمستان سال ۱۴۰۳ انجام شد. جامعه‌ی مورد مطالعه شامل تمام کارکنان در معرض ترکیبات شیمیایی کلر، فرمالدئید و ایزوفلوران در بیمارستان‌های آموزشی چهار استان همدان، کرمان، مرکزی و زنجان بود. روش نمونه‌گیری به‌صورت سرشماری انجام گرفت و تمامی اندازه‌گیری‌های ثبت‌شده از این آلاینده‌ها در سیزده بیمارستان آموزشی این استان‌ها بررسی شد. داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌ها از گزارش‌های مراکز بهداشت استانی استخراج شد.

روش‌های جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه، داده‌ها از دو طریق جمع‌آوری شدند: تکمیل پرسش‌نامه و نمونه‌برداری از هوای محیط. اطلاعات دموگرافیک و شغلی کارکنان، شامل سن، سابقه‌ی کار، نوع

می‌رود. انتشار بخارات کلر غالباً در مراحل تهیه و رقیق‌سازی محلول، کاربرد به‌صورت اسپری یا شست‌وشوی سطوح و نیز برآثر واکنش‌های ناخواسته با مواد ناسازگار، مانند اسیدها یا آمونیاک، رخ می‌دهد. استفاده از روش‌های اسپری و تهویه نامناسب، احتمال افزایش غلظت بخارات و بروز تحریکات تنفسی و چشمی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد [۳-۵]. فرمالدئید به‌طور گسترده در بخش‌های پاتولوژی، هیستولوژی و آناتومی، به‌منظور فیکس کردن نمونه‌ها و فرآوری بافت‌ها، استفاده می‌شود. منابع اصلی انتشار آن شامل بازکردن ظروف حاوی محلول، جابه‌جایی و بررسی نمونه‌ها، ریخت‌وپاش یا نشستن و نگهداری نامناسب است. فرمالدئید نوعی ماده‌ی سرطان‌زای قطعی انسانی است و علاوه بر خطرهای سرطان‌زایی، می‌تواند سبب تحریک چشم، مجاری تنفسی فوقانی و بروز علائم شبه‌آسم شود [۳-۵].

ایزوفلوران در اتاق‌های عمل و بخش‌های مراقبت پس از بیهوشی به‌عنوان یکی از گازهای بیهوش‌کننده رایج استفاده می‌شود. این ماده به‌صورت گاز بیهوشی باقی‌مانده (WAG) از طریق نشت سیستم‌های بیهوشی، استنشاق حین القای بیهوشی، بازدم بیمار و تهویه یا سامانه‌های اسکاونج ناکافی وارد محیط کار می‌شود. قرارگیری مزمن یا مکرر در معرض این گاز با عوارضی نظیر سردرد، خستگی و پیامدهای تولیدمثلی در ارتباط است [۶].

دامنه‌ی آثار این ترکیبات از سمیت حاد تحریکی (چشم، پوست و مجاری تنفسی) تا خطرهای بلندمدت، شامل بروز سرطان و بیماری‌های مزمن متغیر است. شواهد اپیدمیولوژیک و بالینی درباره‌ی کلر، ارتباط استفاده مکرر با تحریکات تنفسی و مخاطی را نشان داده‌اند. شواهد علمی متعدد درخصوص فرمالدئید، بر خاصیت سرطان‌زایی و آثار غیرسرطان‌زایی آن در غلظت‌های رایج محیط‌های کنترل‌نشده تأکید دارند. همچنین، مطالعات مشاهده‌ای درباره‌ی ایزوفلوران، ارتباط مواجهه با علائم عصبی و اختلالات تولیدمثل را گزارش کرده‌اند [۶-۱۱].

باوجود تأثیرات سوءبهداشتی این ترکیبات، اطلاعات کمی درباره‌ی میزان مواجهه و سطح ریسک ناشی از آن‌ها در بیمارستان‌های ایران وجود دارد. اغلب مطالعات موجود بر اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها تمرکز کرده‌اند و به ارزیابی جامع ریسک با روش‌های معتبر، مانند دستورالعمل کمیته حفاظت از محیط زیست آمریکا (U.S.EPA)، کمتر پرداخته شده است. از طرفی، الزامات قانونی کشور بر لزوم مدیریت و کنترل عوامل زیان‌آور محیط کار تأکید دارد. مدیریت ریسک،

که در آن CDI مقدار جذب روزانه به صورت مزن و SF فاکتور شیب سرطان‌زایی (برابر با ۰/۰۴۵۵) است [۱۵-۱۶]. ایزوفلوران و کلر به دلیل قرارگیری در گروه ۳ عدم طبقه‌بندی به عنوان سرطان‌زا، ریسکشان با استفاده از شاخص نسبت خطر (HQ) محاسبه شد. فرمول محاسبه HQ به صورت زیر بود:

$$HQ = \frac{RFC}{C}$$

که در آن C میانگین غلظت آلاینده و RFC غلظت مرجع تنفسی است.

حدود پذیرش ریسک براساس دستورالعمل‌های سازمان جهانی بهداشت در نظر گرفته شد. برای ریسک سرطان‌زایی، LCR کمتر از ۶-۱۰ و برای ریسک غیرسرطان‌زایی، HQ کمتر یا مساوی ۱ به عنوان سطح قابل قبول در نظر گرفته شدند [۱۷-۱۸].

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل شدند. برای توصیف داده‌ها از آمار توصیفی (میانگین، میانه، واریانس) استفاده شد. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای کمی (سن و سابقه کار) با سطح ریسک از ضریب هم‌بستگی اسپیرمن و برای مقایسه سطح ریسک بین گروه‌های شغلی از آزمون ناپارامتری کروسکال والیس استفاده شد. در مقایسه‌های دوتایی مشاغل، به دلیل نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از آزمون ناپارامتری من ویتنی استفاده شد.

یافته‌ها

این مطالعه در سیزده بیمارستان آموزشی واقع در چهار استان مرکزی، همدان، کرمان و زنجان انجام شد و در مجموع، داده‌های مربوط به ۳۹ نفر از کارکنان مواجهه‌یافته با ترکیبات شیمیایی بررسی شد.

۱. نتایج ارزیابی مواجهه با آلاینده‌ها

نتایج نشان داد که میانگین غلظت ایزوفلوران در تمام بیمارستان‌های مورد مطالعه از حدود مجاز مواجهه کشوری کمتر بود. باین حال، میانگین غلظت فرمالدئید در ۵۰ درصد و میانگین غلظت کلر در ۴۰ درصد از بیمارستان‌ها از حدود مجاز کشوری بالاتر بود. بالاترین میانگین غلظت کلر در کلینیک شماره ۱ همدان ($1/24 \text{ mg/m}^3$)، بالاترین میانگین غلظت ایزوفلوران در بیمارستان شماره ۵ کرمان (mg/m^3)

شغل، طول شیفت کاری و مدت زمان مواجهه با هر ماده شیمیایی، از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. غلظت ترکیبات شیمیایی (فرمالدئید، ایزوفلوران و کلر) در هوای محیط، که کار شرکت‌های خصوصی و در گزارش مراکز بهداشتی است، براساس روش‌های استاندارد و معتبر اندازه‌گیری شده بود.

سنجش فرمالدئید با روش شماره NIOSH-3500 از طریق نمونه‌برداری با پمپ فردی و بطری‌های گازشوی حاوی جاذب بی‌سولفیت سدیم و آنالیز با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis-NIR در طول موج ۵۴۰ نانومتر انجام شد [۱۲]. ایزوفلوران با روش OSHA-103 با استفاده از پمپ نمونه‌برداری Pocket Pump TOUCH و لوله‌های جاذب Anasorb 747 برای نمونه‌برداری استفاده شد. تجزیه نمونه‌ها با دستگاه کروماتوگرافی گازی - آشکارساز شعله‌ای یونی (GC-FID) انجام شد [۱۳].

برای سنجش کلر از روش استاندارد OSHA ID-101 با استفاده از ایمپینجر حاوی محلول سولفامیک اسید و تجزیه با الکترواد اختصاصی کلر باقی‌مانده و دستگاه میلی‌ولت‌متر استفاده شد [۱۴].

ارزیابی ریسک (Risk Assessment)

ارزیابی ریسک مواجهه با ترکیبات شیمیایی براساس متدولوژی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (U.S.EPA) انجام شد. این فرایند شامل سه مرحله اصلی بود [۱۵-۱۶]: مرحله اول: شناسایی خطر؛ این مرحله شامل جمع‌آوری و ارزیابی داده‌های سم‌شناسی و خطرهای بهداشتی ترکیبات مورد مطالعه از منابع معتبر علمی، مانند سیستم اطلاعات جامع ریسک (IRIS) و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) بود؛

مرحله دوم: ارزیابی مواجهه؛ در این مرحله، میزان جذب روزانه به صورت مزن ((CDI) برای هر فرد و هر ماده شیمیایی با استفاده از غلظت اندازه‌گیری شده و پارامترهای فردی، مانند نرخ تنفس، وزن بدن و سابقه کار، محاسبه شد [۱۵-۱۶]؛

مرحله سوم: ارزیابی ریسک؛ با توجه به تقسیم‌بندی IARC، ریسک برای هر ماده به صورت زیر ارزیابی شد: فرمالدئید: به دلیل قرارگیری در گروه ۱ یا سرطان‌زا برای انسان، ریسک آن با استفاده از شاخص ریسک سرطان‌زایی طول عمر (LCR) محاسبه شد. فرمول محاسبه LCR به صورت زیر بود:

$$LCR = CDI \times SF$$

۷۳/۴۷) و بالاترین میانگین غلظت فرمالدئید در بیمارستان شماره ۲ زنجان ($1/1 \text{ mg/m}^3$) مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین غلظت آلاینده‌ها به تفکیک بیمارستان‌ها

بیمارستان	غلظت کلر (mg/m^3)	مقایسه با حد مجاز	غلظت ایزوفلوران (mg/m^3)	مقایسه با حد مجاز	غلظت فرمالدئید (mg/m^3)	مقایسه با حد مجاز
بیمارستان شماره ۱ همدان	۰/۰۹۴	کمتر	-	-	-	-
بیمارستان شماره ۲ همدان	۰/۲۴	کمتر	-	-	-	-
کلینیک شماره ۱ همدان	۱/۲۴	بیشتر	۰/۳۷	کمتر	-	-
کلینیک شماره ۲ همدان	-	-	۰/۱	کمتر	-	-
بیمارستان شماره ۱ زنجان	-	-	-	-	۰/۳۵	بیشتر
بیمارستان شماره ۲ زنجان	-	-	-	-	۱/۱	بیشتر
بیمارستان شماره ۳ زنجان	-	-	-	-	۰/۱۲	کمتر
بیمارستان شماره ۱ کرمان	-	-	۰/۱	کمتر	۰/۱۲	کمتر
بیمارستان شماره ۲ کرمان	۰/۱۴	کمتر	-	-	-	-
بیمارستان شماره ۳ کرمان	۰/۳۶	بیشتر	۲۸/۹۴	کمتر	۰/۳۶	بیشتر
بیمارستان شماره ۴ کرمان	-	-	۲/۸۵	کمتر	۰/۰۷	کمتر
بیمارستان شماره ۵ کرمان	-	-	۷۳/۴۷	کمتر	۰/۵	بیشتر
بیمارستان مرکزی	۰/۴۵	بیشتر	۲/۸۸	کمتر	۱/۶۷	کمتر

۲. نتایج ارزیابی ریسک

ریسک کلر

ارزیابی ریسک کلر نشان داد که ریسک مواجهه با این ماده در تمامی بیمارستان‌های چهار استان غیرقابل پذیرش است ($HQ < 1$). بالاترین ریسک مواجهه با کلر در کلینیک شماره ۱ همدان ($HQ = 8855/14$) و بیمارستان مرکزی (0.9) ($HQ = 3238$) ثبت شد.

ریسک ایزوفلوران

ریسک مواجهه با ایزوفلوران به‌طور کلی در اکثر بیمارستان‌ها قابل‌پذیرش بود ($HQ \leq 1$). باین‌حال، در بیمارستان‌های شماره ۱، ۲ و ۳ در استان کرمان، این ریسک

قابل‌پذیرش نبود ($HQ > 1$). بیمارستان شماره ۳ کرمان بالاترین ریسک را برای ایزوفلوران داشت.

ریسک فرمالدئید

در مقایسه با حدود توصیه‌شده EPA، ریسک سرطان‌زایی فرمالدئید در تمام بیمارستان‌ها در محدوده ریسک قطعی (Definite Risk) و ریسک احتمالی (Probable Risk) قرار داشت. در مقایسه با حدود سازمان جهانی بهداشت، این ریسک در تمام بیمارستان‌ها قابل‌پذیرش نبود. بالاترین ریسک سرطان‌زایی فرمالدئید در بیمارستان شماره ۱ کرمان (0.069) محاسبه شد. ریسک غیرسرطان‌زایی فرمالدئید نیز در تمامی بیمارستان‌ها قابل‌پذیرش نبود ($HQ > 1$) (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج ارزیابی ریسک به تفکیک بیمارستان‌ها

بیمارستان	ریسک کلر (HQ)	ریسک ایزوفلوران (HQ)	ریسک فرمالدئید (LCR)	ریسک غیرسرطان‌زایی فرمالدئید (HQ)
بیمارستان شماره ۱ همدان	۶۷۱/۴۲	-	-	-
بیمارستان شماره ۲ همدان	۱۷۱۴/۲۸	-	-	-
کلینیک شماره ۱ همدان	۸۸۵۵/۱۴	۰/۳۶	-	-
کلینیک شماره ۲ همدان	-	۰/۰۴۹	-	-
بیمارستان شماره ۱ زنجان	-	-	$8/76 \times 10^{-5}$	۹۷/۲۲
بیمارستان شماره ۲ زنجان	-	-	$6/58 \times 10^{-4}$	۳۰۵/۵
بیمارستان شماره ۳ زنجان	-	-	$8/72 \times 10^{-5}$	۳۳/۳

بیمارستان شماره ۱ کرمان	-	۰/۰۱	$5/12 \times 10^{-5}$	۳۳/۳
بیمارستان شماره ۲ کرمان	۱۰۰۰	-	-	-
بیمارستان شماره ۳ کرمان	۳۶۰۰	۳/۸۳	$16/9 \times 10^{-4}$	۱۰۰
بیمارستان شماره ۴ کرمان	-	۰/۴۵	$4/44 \times 10^{-5}$	۱۹/۷۲
بیمارستان شماره ۵ کرمان	-	۶۲/۸۳	$2/77 \times 10^{-4}$	۱۳۸/۸
بیمارستان مرکزی	۳۲۳۸/۰۹	۰/۳۸	$7/85 \times 10^{-4}$	۴۶۳/۸

۳. توزیع ریسک براساس مشاغل

ریسک مواجهه با کلر در تمام مشاغل مورد مطالعه (آزمایشگاه، خدمات، متصدی رختشویخانه) قابل پذیرش نبود.

ریسک ایزوفلوران در ۶۰ درصد جراحان و ۱/۹ درصد تکنسین‌های اتاق عمل در محدوده غیرقابل پذیرش قرار داشت، درحالی‌که در مشاغل دیگر قابل پذیرش بود. ریسک سرطان‌زایی فرمالدئید در ۱۰۰ درصد جراحان، ۵۰ درصد پرسنل آزمایشگاه و ۳۳/۳ درصد تکنسین‌های اتاق عمل در محدوده ریسک قطعی قرار داشت. ریسک

غیرسرطان‌زایی فرمالدئید نیز در تمامی مشاغل غیرقابل پذیرش بود (جدول ۳). کارگران رختشویخانه مواجهه بالا با کلر داشتند و میزان ریسک ۱۰۰ درصد است.

۴. ارتباط ریسک با سن و سابقه کار

آزمون هم‌بستگی اسپیرمن برای بررسی ارتباط بین سن و سابقه کار با ریسک غیرسرطان‌زایی آلاینده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که هیچ‌گونه ارتباط آماری معنی‌داری بین سن و سابقه کاری با ریسک مواجهه با کلر، ایزوفلوران و فرمالدئید وجود ندارد ($P > 0/05$) (جدول ۴).

جدول ۳. توزیع فراوانی ریسک به تفکیک مشاغل

شغل	ریسک کلر غیرقابل پذیرش (%)	ریسک ایزوفلوران غیرقابل پذیرش (%)	ریسک فرمالدئید (EPA) قطعی (%)	ریسک فرمالدئید (EPA) احتمالی (%)	ریسک فرمالدئید (WHO) غیرقابل پذیرش (%)
تکنسین اتاق عمل	-	۱/۹	۳۳/۳	۶۶/۷	۱۰۰
جراح	-	۶۰	۱۰۰	-	۱۰۰
آزمایشگاه	۱۰۰	-	۵۰	۵۰	۱۰۰
خدمات	۱۰۰	-	-	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۴. هم‌بستگی بین سن و سابقه کاری با ریسک غیرسرطان‌زایی

سن	کلر		ایزوفلوران		فرمالدئید	
	P Value	r	P Value	r	P Value	r
سن	۰/۰۷۱	۰/۶۶۷	۰/۵۳۷	۰/۱۱۰	۰/۲۲۹	۰/۵۲۳
سابقه کار	۰/۱۸۰	۰/۵۷۱	۰/۵۹۷	۰/۰۶۹	۰/۱۶۸	۰/۴۴۷

۵. ارتباط ریسک با نوع شغل

بررسی ارتباط بین نوع شغل و ریسک آلاینده‌ها نشان داد که فقط ارتباط بین نوع شغل و ریسک ایزوفلوران معنی‌دار است ($P = 0/012$). نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که ریسک مواجهه با ایزوفلوران در مشاغل تکنسین اتاق عمل به‌طور معنی‌داری بیشتر از جراحان است ($P = 0/035$).

بحث

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک ناشی از مواجهه شغلی با ترکیبات شیمیایی کلر، فرمالدئید و ایزوفلوران در

هوای سیزده بیمارستان آموزشی در چهار استان مرکزی، همدان، کرمان و زنجان انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که باوجود اعمال برخی اقدامات کنترلی اولیه، سطوح مواجهه و ریسک ناشی از آن در برخی موارد به‌طور قابل توجهی از حدود مجاز و توصیه‌شده بین‌المللی فراتر رفته است. این یافته‌ها اهمیت بازنگری در سیاست‌های ایمنی شغلی و ضرورت اجرای اقدامات کنترلی مؤثرتر را برجسته می‌کند.

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت ایزوفلوران در تمام بیمارستان‌ها پایین‌تر از حد مجاز کشوری است [۱۹] که

ایزوفلوران دارد. این یافته بر ضرورت اجرای اقدامات کنترلی هدفمند براساس نوع شغل در اتاق‌های عمل تأکید می‌کند. ریسک فرمالدئید، به‌ویژه در میان جراحان، کارکنان آزمایشگاه و تکنسین‌های اتاق عمل، در محدوده ریسک قطعی یا احتمالی (براساس EPA) و غیرقابل‌پذیرش (براساس WHO) قرار داشت. این نتایج با یافته‌های پورتنی و همکاران [۲۱] مطابقت دارد و خطر زیاد سرطان‌زایی این ماده را تأیید می‌کند. برخلاف انتظار، هیچ‌گونه هم‌بستگی معناداری بین سن و سابقه کاری با سطح ریسک مواجهه با آلاینده‌ها مشاهده نشد. این نتیجه ممکن است ناشی از ماهیت ایستگاهی مواجهه، جابه‌جایی شغلی کارکنان، یا محدودیت حجم نمونه باشد. مواجهه با آلاینده‌ها در محیط بیمارستان بیشتر به موقعیت کاری و وظایف روزانه افراد وابسته است تا سن یا سابقه آن‌ها. پیشنهاد می‌شود برای مدیریت مؤثر ریسک یک سلسله‌مراتب کنترلی، شامل کنترل‌های مهندسی، اداری و تجهیزات حفاظت فردی (PPE) به اجرا درآید. کنترل‌های مهندسی: تهویه عمومی مکانیکی با حداقل ده تا دوازده بار تعویض هوا در ساعت (ACH) در رخت‌شوی‌خانه‌ها و آزمایشگاه‌ها، نصب هودهای شیمیایی و حسگرهای تشخیص گاز کلر در محل‌های حساس؛ کنترل‌های اداری: آموزش کارکنان درباره روش‌های ایمن استفاده از مواد کلردار، مدیریت صحیح مواد شیمیایی و تدوین برنامه واکنش اضطراری؛ تجهیزات حفاظت فردی: استفاده از ماسک‌های تنفسی، دستکش و عینک ایمنی مناسب در زمان کار با کلر.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که مواجهه شغلی با کلر و فرمالدئید در بسیاری از بیمارستان‌های مورد مطالعه فراتر از حدود مجاز بوده و سلامت کارکنان را با مخاطرات جدی مواجه کرده است. مواجهه با ایزوفلوران نیز در برخی مشاغل و بیمارستان‌های خاص در سطح غیر قابل‌قبول ارزیابی شد. استفاده از مدل کمی ارزیابی ریسک USEPA ابزار قدرتمندی برای طبقه‌بندی مشاغل پرخطر و رتبه‌بندی آلاینده‌ها فراهم کرد. این پژوهش بر ضرورت اجرای فوری مداخلات کنترلی، بازنگری در سیاست‌های ایمنی شغلی و تقویت سیستم‌های تهویه و پایش مداوم تأکید دارد. به‌طور کلی، این مطالعه با شناسایی نقاط ضعف موجود، برای بهبود وضعیت راهکارهای عملی ارائه کرده است و بر

می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً مناسب سیستم‌های تهویه و کنترل گازهای بیهوشی در اتاق‌های عمل باشد. این یافته با مطالعه محمدیان و همکاران [۲۰] در شهر ساری هم‌خوانی دارد. با این حال، غلظت فرمالدئید در ۵۰ درصد و کلر در ۴۰ درصد بیمارستان‌ها از حد مجاز فراتر رفته است. مواجهه با کلر، که معمولاً از مواد ضدعفونی‌کننده حاوی هیپوکلریت سدیم یا نشت تجهیزات ناشی می‌شود، نگرانی‌ای جدی است. در مطالعات ویندر و همکاران [۷] و برنستاین و همکاران [۸] نشان داده شده است که مواجهه کوتاه‌مدت با غلظت‌های بالا یا مواجهه مزمن با غلظت‌های کمتر می‌تواند به مشکلات تنفسی، تحریک چشم و آسیب ریوی منجر شود. این نتایج بر ضرورت بازنگری در سیستم‌های تهویه، آموزش کارکنان درباره رقیق‌سازی صحیح و استفاده از جایگزین‌های کم‌خطرتر تأکید دارند.

غلظت بالای فرمالدئید، که عمدتاً در آزمایشگاه‌های پاتولوژی و اتاق‌های نگهداری بافت استفاده می‌شود، با یافته‌های مطالعات پورتنی و همکاران [۲۱] در بیمارستان‌های نظامی تهران و چایکلیانگ و همکاران [۲۲] در آزمایشگاه‌های پزشکی مطابقت دارد. این یافته‌ها نگران‌کننده است؛ زیرا مطالعات گسترده‌ای مانند تحقیق ژانگ [۲۳] ارتباط مواجهه مزمن با فرمالدئید را با آسیب به DNA و افزایش خطر ابتلا به سرطان خون نشان داده‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که بالاترین ریسک برای کلر در کلینیک شماره ۱ همدان، برای ایزوفلوران در بیمارستان شماره ۲ کرمان و برای فرمالدئید در بیمارستان شماره ۱ کرمان مشاهده شد.

یافته‌های ما نشان داد که ریسک مواجهه با کلر در تمامی بیمارستان‌ها غیرقابل‌پذیرش است ($HQ > 1$). این نتیجه، که نشان‌دهنده انتشار گسترده این آلاینده در محیط‌های کاری بیمارستانی است، لزوم بازنگری فوری در سیستم‌های تهویه، آموزش صحیح کارکنان در زمینه استفاده از گندزداها و استفاده از جایگزین‌های ایمن‌تر را دوچندان می‌کند. هرچند ریسک ایزوفلوران در اغلب بیمارستان‌ها قابل‌پذیرش بود، در سه بیمارستان در کرمان (بیمارستان شماره ۱، ۲ و ۳) این ریسک از حد مجاز فراتر رفت. این یافته با نتایج مطالعات دهقانی و همکاران [۲۴] و نیز کیانی و همکاران [۱۲] هم‌خوانی دارد که به ریسک بالاتر ایزوفلوران، به‌ویژه در میان متخصصان بیهوشی، اشاره کرده‌اند. نتایج آماری این مطالعه نیز نشان داد که نوع شغل، به‌ویژه تکنسین‌های اتاق عمل و جراحان، ارتباط معنی‌داری با ریسک

حمایت مالی

معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان از این طرح حمایت مالی نموده است.

سهم نویسندگان

طراحی و نظارت علمی مطالعه را عبدالرحمان بهرامی و مجید حبیبی محرز انجام دادند. فائزه شریعتی و سمیرا رحیم‌نژاد کار علمی این تحقیق را بر عهده داشته‌اند. نوشتن مقاله بر عهده عبدالرحمان بهرامی، فرشید قربانی و فائزه شریعتی بوده است. همه نویسندگان نسخه پایانی مقاله را دریافت کرده‌اند.

ملاحظات اخلاقی

شرکت در مطالعه اختیاری بود و از شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه گرفته شد. به حفظ محرمانه بودن اطلاعات توجه شد.

REFERENCES

- Rai R, El-Zaemey S, Dorji N, Rai BD, Fritschi L. Exposure to occupational hazards among health care workers in low- and middle-income countries: a scoping review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(5). PMID: 33807727 DOI: 10.3390/ijerph18052603
- Charlier B, Coglianese A, De Rosa F, De Caro F, Piazza O, Motta O, et al. Chemical risk in hospital settings: overview on monitoring strategies and international regulatory aspects. *J Public Health Res*. 2021;10(1). PMID: 33415184 DOI: 10.4081/jphr.2021.1993
- Mahmudiono T, Ramaiah P, Maleki H, Doewes RI, Shalaby MN, Alsaikhan F, et al. Evaluation of the impact of different disinfectants on new coronavirus and human health. 2023;38(3):451-60. Link
- Adamović D, Čepić Z, Adamović S, Stošić M, Obrovski B, Morača S, et al. Occupational exposure to formaldehyde and cancer risk assessment in an anatomy laboratory. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(21). PMID: 34769731 DOI: 10.3390/ijerph182111197
- Morim A, Guldner GT. Chlorine gas toxicity. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Link
- Taghavi Soghondikolae F, Mohammadyan M, Yazdani Charati J, Babanejad E, Soleimani A. Investigation of personnel's occupational exposure to isoflurane vapor in hospital operating rooms in Sari, Iran. *J Health Res Commun*. 2018;4(3):56. Link
- Winder C. The toxicology of chlorine. *Environ Res*. 2001;85(2):105-14. PMID: 11161660 DOI: 10.1006/enrs.2000.4109
- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, et al. The health effects of non-industrial indoor air pollution. *J Allergy Clin Immunol*. 2008;121(3):585-91. PMID: 18155285 DOI: 10.1016/j.jaci.2007.10.045
- Protano C, Buomprisco G, Cammalleri V, Pocino RN, Marotta D, Simonazzi S, et al. The carcinogenic effects of formaldehyde occupational exposure: a systematic review. *Cancers*. 2021;14(1):165. PMID: 35008325 DOI: 10.3390/cancers14010165
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: list of classifications. Lyon: IARC; 2016. Link
- Govier P, Coulson JM. Civilian exposure to chlorine gas: a systematic review. *Toxicol Lett*. 2018;293:249-52. DOI: 10.1016/j.toxlet.2018.04.019
- The National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods: method 3500, formaldehyde by VIS. Cincinnati: NIOSH; 2020. Link
- Occupational Safety and Health Administration. Chemical sampling information: formaldehyde. Washington, DC: OSHA; 2025. Link
- Occupational Safety and Health Administration. Chemical sampling information: chlorine in workplace atmospheres, method ID-101. Washington, DC: OSHA; 2025. Link
- United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Washington, DC: USEPA; 2018. Link
- The Risk Assessment Information System. Chemical risk assessment search. Oak Ridge: RAIS; 2018. Link
- International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 214: human exposure assessment. Geneva: World Health Organization; 2000. Link
- Sexton K, Linder SH, Marko D, Bethel H, Lupo PJ. Comparative assessment of air pollution-related health risks in Houston. *Environ Health Perspect*. 2007;115(10):1388-93. PMID: 17938728 DOI: 10.1289/ehp.10043
- Ministry of Health and Medical Education of Iran. Occupational exposure limits. Tehran: Centre of Environmental and Occupational Health; 2015. Link
- Kiani F, Jorfi S, Soltani F, Ghanbari S, Rezaee R, Mohammadi MJ. Exposure to anesthetic gases in the operating rooms and assessment of non-carcinogenic risk among health care workers. *Toxicol Rep*. 2023;11:1-8. PMID: 38161434 DOI: 10.1016/j.toxrep.2023.12.003
- Pourtaghi GH, Bahrami A, Shaban I, Taheri E, Pirmohamadi Z. Exposure risk assessment of formaldehyde in four military hospitals in Tehran. *J Occup Hyg Eng*. 2020;7(1):21. Link
- Chaiklieng S, Tongsantia U, Autrup HN. Risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde among workers in medical laboratories. *Asia Pac J Sci Technol*. 2021;26(4):APST-26-04-15. DOI: 10.14456/apst.2021.45
- Zhang L, Tang X, Rothman N, Vermeulen R, Ji Z, Shen M, et al. Occupational exposure to formaldehyde, hematotoxicity, and leukemia-specific chromosome changes in cultured myeloid progenitor cells. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2010;19(1):80-8. PMID: 20056626 DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-09-0762

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل کار پایان‌نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشگاه علوم پزشکی همدان است که معاون پژوهش و فناوری این دانشگاه آن را با کد ۱۶۲۷۴۲۶۰۷ تأیید کرده است.

تضاد منافع

هیچ تضاد منافی بین نویسندگان مقاله وجود ندارد.

24. Dehghani F, Kamalinia M, Omid F, Fallahzadeh RA. Probabilistic health risk assessment of occupational exposure to isoflurane and sevoflurane in the operating

room. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2021;**207**:111270. [PMID: 33075666](#) [DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111270](#)