JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2025; 12(3): 207-219 Doi: 10.53208/joohe.12.3.207
https://johe.umsha.ac.ir

Original Aticle

Determination and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCS) in Different Departments of a Hospital

Jafar Khoshabi[1], Reza Hekmat-Shoar[2*], Mohsen Yazdani-Aval[3], Mohammad Miri[4]

[1] Department of Health, Safety and Environment Management, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
[2] Department of Health, Safety and Environment Management, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
[3] Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
[4] Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Article history:
Received: 17 January 2026
Revised: 31 January 2026
Accepted: 25 February 2026
ePublished: 08 March 2026

***Corresponding author:** Reza Hekmat Shoar, Department of Health, Safety and Environment Management, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

E-mail: rezahekmatshoar@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Evidence regarding indoor air quality in Iranian hospitals is very limited. Volatile Organic Compounds (VOCs) are considered important chemical pollutants in hospital environments. This study aimed to investigate the concentrations of VOCs in the air of different hospital departments and assess the associated exposure risks.

Materials and Methods: This descriptive cross-sectional study was conducted in 2024 in 20 departments of a hospital in Mashhad, Iran. Passive sampling was carried out using activated carbon adsorption tubes, and the collected samples were analyzed by GC/MS. Non-carcinogenic risks were assessed using the Monte Carlo technique in Crystal Ball software.

Results: The findings indicated that toluene had the highest concentrations in most departments (including operating rooms, delivery ward, neonatal intensive care unit, obstetrics and gynecology, pediatric surgery, intensive care units, emergency department, main hall, clinic, kitchen, radiology, laundry, waste disposal unit, and yard). In the central sterile services department and laboratory, m, p-xylene, and o-xylene were predominant, respectively ($P < 0.05$). Hazard quotient (HQ) analysis showed that m, p-xylene, and o-xylene had the highest HQ values of 626.99 and 478.09, respectively. The lowest HQ values were 0.001 and 0.91, corresponding to 1, 3 ,5-trimethylbenzene and cyclohexanone, respectively.

Conclusion: The results suggest that certain departments, particularly laboratories and operating rooms, may serve as critical hotspots for VOC exposure. Therefore, strengthening air quality monitoring and control programs in hospitals is recommended to protect the health of both staff and patients.

Keywords: Air Pollution, Health Risk Assessment, Hospital, Monte Carlo Method, Volatile Organic Compounds (VOCs)

Please cite this article as follows: Khoshabi J, Hekmat Shoar R, Yazdani Awl M, Miri M. Determination and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCS) in Different Departments of a Hospital. J Occup Hyg Eng. 2025; 12(3): 207-219. DOI: 10.53208/joohe.12.3.207

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

Copyright © 2025 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، صفحات: ۲۱۹-۲۰۷
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

شناسایی و ارزیابی ریسک‌های بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرآر در بخش‌های مختلف یک بیمارستان

جعفر خوش آبی[۱]، رضا حکمت شعار[۲*]، محسن یزدانی اول[۳]، محمد می‌ری[۴]

۱. گروه HSE مدیریت سلامت ایمنی و محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و گروه محیط ایمنی بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۳. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۴. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۱۷

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** رضا حکمت شعار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و گروه محیط ایمنی بهداشتی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

ایمیل: rezahekmatshoar@yahoo.com

چکیده

سابقه و هدف: شواهد موجود در مورد کیفیت هوای داخل بیمارستان‌های ایران بسیار محدود است. ترکیبات آلی فرآر (VOCs) از جمله آلاینده‌های شیمیایی مهم در محیط‌های بیمارستانی به‌شمار می‌روند. این مطالعه با هدف بررسی غلظت VOCها در هوای بخش‌های مختلف یک بیمارستان و ارزیابی ریسک مواجهه با این ترکیبات انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعهٔ توصیفی-مقطعی در سال ۱۴۰۳ در ۲۰ بخش مختلف یکی از بیمارستان‌های شهر مشهد انجام شد. نمونه‌برداری غیرفعال با استفاده از لوله‌های جاذب حاوی کربن فعال انجام شد و تحلیل نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GC/MS صورت گرفت. ارزیابی ریسک سرطان‌زایی با استفاده از تکنیک مونت کارلو و در نرم‌افزار کریستال بال انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد **تولوئن** در اغلب بخش‌ها (ازجمله اتاق عمل، بلوک زایمان، مراقبت ویژهٔ نوزادان، زنان و مامایی، جراحی زنان و اطفال، مراقبت‌های ویژه، اورژانس، سالن اصلی، کلینیک، آشپزخانه، رادیولوژی، لاندری، امحاء زباله و محوطه) بیشترین غلظت را داشت. در بخش خدمات استریل مرکزی و آزمایشگاه نیز به‌ترتیب m, p-زایلن و O-زایلن غالب بودند (P<۰/۰۵). محاسبهٔ ضریب خطر (HQ) نشان داد m, p-زایلن و O-زایلن به‌ترتیب دارای بیشترین ضریب خطر برابر ۶۲۶/۹۹ و ۴۷۸/۰۹ بودند. کمترین ضریب خطر نیز برابر ۰/۰۰۱ و ۰/۹۱ به‌ترتیب مربوط به ۵،۳،۱-تری متیل بنزن و سیکلوهگزانون بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن است که برخی از بخش‌ها، به‌ویژه آزمایشگاه‌ها و اتاق عمل، ممکن است به‌عنوان نقاط بحرانی برای مواجهه با VOC شناسایی شوند. بنابراین پیشنهاد می شود برنامه‌های پایش و کنترل کیفیت هوا در بیمارستان‌ها برای حفظ سلامت کارکنان تقویت شود.

واژگان کلیدی: ترکیبات آلی فرآر (VOCs)، ارزیابی ریسک سلامت، روش مونت کارلو، آلودگی هوا، بیمارستان.

استناد: خوش آبی، جعفر؛ حکمت شعار، رضا؛ یزدانی اول، محسن؛ می‌ری، محمد. شناسایی و ارزیابی ریسک‌های بهداشتی مواجهه با ترکیبات آلی فرآر در بخش‌های مختلف یک بیمارستان. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، پاییز ۱۴۰۴؛۱۲(۳): ۲۱۹-۲۰۷

مقدمه

کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها، به‌ویژه در محیط‌های بیمارستانی، نقش مهمی در سلامت کارکنان دارد. هوای داخلی ترکیبی از ذرات معلق، عوامل بیولوژیکی و آلاینده‌های شیمیایی است که می‌توانند منجر به بیماری‌های تنفسی، عفونت‌های بیمارستانی و اختلالات ایمنی شوند [۱، ۲].

پژوهش‌های متعددی درزمینهٔ آلودگی هوای بیمارستان‌ها انجام شده‌اند؛ برخی بر آلودگی‌های میکروبی و انتقال عفونت [۳، ۴] و برخی دیگر بر نقش آلاینده‌های محیطی خارج از بیمارستان تمرکز داشته‌اند. برای مثال، چامسِدین (Chamseddine) و همکارانش در مطالعه‌ای در سه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

بیمارستان در بیروت نشان دادند بین غلظت ذرات معلق در محیط بیرونی و داخلی بیمارستان‌ها هم‌بستگی بالایی وجود دارد [۵]. همچنین، در پژوهش مشابهی، آیودِله (Ayodele) و همکارانش با بررسی کیفیت هوای محوطهٔ بیمارستانی در نیجریه، غلظت بالای گازهای مونوکسید نیتروژن (NO) و دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) را به وجود یک ژنراتور دیزلی برق در نزدیکی بیمارستان نسبت دادند [۶].

در میان آلاینده‌های شیمیایی، VOCها به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی خاص خود، از اهمیت بالایی برخوردارند. این ترکیبات دارای فشار بخار بالا هستند، به‌راحتی وارد فاز گازی می‌شوند و می‌توانند محیط اطراف را آلوده کنند [۷، ۸]. VOCها در محیط بیمارستانی از منابع مختلفی مانند مواد بی‌حس‌کننده، تجهیزات پزشکی، ضدعفونی‌کننده‌ها، فرایند اتوکلاو و فعالیت‌های انسانی منتشر می‌شوند [۹، ۱۰]. برخی از VOCها مانند بنزن، ۱،۳-بوتادین و وینیل کلرید توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (IARC) در گروه ۱ به‌عنوان سرطان‌زا برای انسان طبقه بندی شده‌اند [۱۲-۱۴].

مواجههٔ طولانی‌مدت با VOCها می‌تواند منجر به بروز مشکلات بهداشتی متعدد شود که ازجمله می‌توان به تحریک مجاری تنفسی، تشدید بیماری‌های تنفسی، سرطان خون، نقص مادرزادی، اختلالات عصبی شناختی و سرطان مثانه اشاره کرد [۱۵-۲۰]. شدت این اثرات بسته به نوع ماده، غلظت و مدت مواجهه متفاوت است [۲۱]. در این زمینه، ارزیابی ریسک شیمیایی به‌عنوان ابزار کلیدی در پیشگیری از مواجههٔ خطرناک با این ترکیبات توصیه شده است [۲۲، ۲۳].

یکی از اقدامات مهم و اولیه جهت کاهش ریسک این آلاینده‌ها در محیط‌های بیمارستانی ارزیابی ریسک شیمیایی است. شورای تحقیقات ملی آمریکا (National Research Committee/NRC) ارزیابی ریسک را به‌عنوان تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوهٔ مواجهه با خطرات محیطی تعریف می‌کند [۲۲، ۲۳]. با توجه به اهمیت موضوع ریسک، روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک آلاینده‌های شیمیایی از طرف سازمان‌های مرتبط با مسائل ایمنی و بهداشت صنعتی ارائه شده است [۲۴]. یکی از روش‌های مهم و متداول برای ارزیابی ریسک شیمیایی، ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان‌زایی به روش USEPA است.

باوجود انجام برخی مطالعات در ایران پیرامون غلظت VOCها در محیط‌های درمانی، شکاف‌های قابل‌توجهی در ادبیات پژوهش وجود دارد. بیشتر مطالعات محدود به گزارش غلظت VOCها بوده و کمتر به تحلیل دقیق ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با این ترکیبات پرداخته‌اند. همچنین داده‌های مربوط به توزیع مکانی آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان و تعیین نقاط بحرانی برای کارکنان در دسترس نیست. افزون‌براین، اغلب تحقیقات قبلی به شیوه‌ای نظام‌مند شاخص‌های بهداشتی مرتبط با VOCها را تحلیل نکرده‌اند.

با توجه به اهمیت موضوع و خلأ مطالعات موجود، هدف از مطالعهٔ حاضر، بررسی غلظت ترکیبات VOCها، شناسایی بخش‌های پرخطر بیمارستان، و ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با این ترکیبات در میان کارکنان بیمارستانی با استفاده از روش ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی مونت کارلو است.

روش کار

مطالعهٔ حاضر از نوع مقطعی به‌صورت توصیفی-تحلیلی است که در سال ۱۴۰۳ با هدف تعیین غلظت **VOCها (شامل** اتیل بنزن، بنزآلدهید، تولوئن، سیکلوهگزانون، پروپیل بنزن، دکان، ۱-اتیل-۳-متیل بنزن، ۱-اتیل-۴-متیل بنزن، ۱و۲و ۳-تری متیل بنزن، ۱و۲و ۴-تری متیل بنزن، ۱و۳و ۵-تری متیل بنزن، m-p، زایلن و o-زایلن) در هوای بخش‌های مختلف یکی از بیمارستان شهر مشهد و ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با این آلاینده‌ها انجام شد. در این مطالعه بخش‌های مختلف بیمارستان (شامل اتاق عمل، خدمات استریل مرکزی، بلوک زایمان، مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان، زنان و مامایی، جراحی زنان، جراحی اطفال، مراقبت‌های ویژه، اورژانس، سالن اصلی بیمارستان، سالن کلینیک، آشپزخانه، آزمایشگاه، رادیولوژی، لاندری، امحاء زباله، محوطهٔ جنوب‌شرقی، محوطهٔ جنوب غربی، محوطهٔ شمال شرقی، و محوطهٔ شمال غربی) ارزیابی شدند و به‌ازای هر بخش، یک نقطهٔ نمونه‌گیری تعریف شده است. نمونه‌گیری به‌صورت غیرفعال از هوای همهٔ بخش‌های بیمارستان انجام شد که درمجموع ۲۰ نمونه جمع‌آوری شد.

روش نمونه‌گیری

نمونه‌برداری به روش غیرفعال با استفاده از لولهٔ جاذب کربن فعال صورت گرفت. نمونه‌گیرهای غیرفعالVOC ها استفاده‌شده توسط شرکت زیست‌سفر بیهق توسعه یافته بودند (www.ZSBcompany.ir). این نمونه‌گیرهای دیفوزیونی از یک لولهٔ شیشه‌ای باز ساخته شده و با زغال دانه‌ای پر

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

شده‌اند. دو سر لوله با دو درپوش متخلخل سلولز استات ثابت شده که در طول نمونه‌گیری به‌عنوان مانع انتشار عمل می‌کنند. لوله در یک شیشه با درپوش پیچی پوشش‌دار PTFE قرار گرفت تا در طول حمل و نگهداری از آلودگی محافظت شود. به‌طور خلاصه، یک سر لولهٔ جاذب در محل نمونه‌برداری شکسته شده و در یک محفظهٔ ساده قرار گرفتند. نمونه‌گیرها در ارتفاع ۲متری از سطح زمین نصب شدند، بدون اینکه مزاحمتی برای افراد ایجاد کنند. همهٔ نمونه‌گیرها در یک روز نصب و پس از ۳۰ روز جمع‌آوری شدند. تمامی مراحل شامل آماده‌سازی، جمع‌آوری، انتقال، استخراج و تحلیل تحت نظارت QA/QC دقیق صورت گرفت.

برای کنترل کیفیت پس از پایان نمونه‌برداری، دو سر جاذب با درپوش پلاستیکی مسدود شد، در شرایط مناسب حمل و نگهداری شد، در یخدان به آزمایشگاه منتقل شد و تا زمان تحلیل در یخچال نگهداری شد. یک نمونهٔ Blank آزمایشگاهی برای بررسی آلودگی زمینه‌ای و برخی نمونه‌ها به‌صورت تکراری جهت ارزیابی قابلیت تکرار اندازه‌گیری‌ها تحلیل شدند. حد اشباع قبلاً در آزمایشگاه تست شده و غلظت حدود ۹۰ تا ۱۰۰ PPM بود که چنین غلظتی قطعاً در هوای محیط‌های غیرصنعتی وجود ندارد. پارامترهای هواشناسی ازقبیل دما و رطوبت نیز با استفاده از دماسنج و رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد. دستگاه‌های مورد استفاده در مطالعهٔ حاضر شامل دستگاهِ GC-MS مدل CP-3800 و طیف‌سنج جرمی Saturn 2200 ساخت شرکت Varian ژاپن و ستون کروماتوگرافی مویین CP-Sil 8 CB با طول ۶۰m و قطر داخلی ۰/۲۵ mm و ضخامت فیلم μm ۱/۵بود. گاز حامل هلیوم با دبی $(\frac{ml}{min})$ ۱ به کار گرفته شد. دمای تزریق‌گر ۲۸۰°C و برنامه‌ریزی دمای آون از ۵۵ درجه (۴ دقیقه) با نرخ افزایش ۱۰ درجه در دقیقه تا ۱۸۰ درجه انجام شد. برای تحلیل نتایج از نرم‌افزار Varian Workstation استفاده شد. همهٔ ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌ها شامل استانداردهای ایزومرهای VOC از شرکت Sigma-Aldrich، آلمان تهیه شدند. حد تشخیص (LOD) برای هر ترکیب VOCبین ۰/۱۲ تا ۰/۱۶ میکروگرم بر متر مکعب بود. مقدار VOCها در نمونه‌های شاهد کمتر از حد تشخیص بود.

روش تحلیل نمونه‌ها و شناسایی ترکیبات

به‌منظور تعیین زمان ماند هر یک از ترکیبات، ابتدا محلول استاندارد مادر حاوی ترکیبات VOC با غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر ساخته شد و با استفاده از آن محلول‌های استاندارد جهت رسم منحنی کالیبراسیون با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ میکروگرم بر لیتر تهیهو به دستگاه تزریق شد. درنهایت، با به‌دست‌آمدن مساحت زیر پیک و غلظت آلاینده‌ها در هر استاندارد کاربردی، منحنی کالیبراسیون رسم شد.

برای تعیین غلظت در نمونه‌های اصلی، ابتدا تیوب جاذب را شکستیم و جاذب حاوی آلاینده را درون ویال ۲ ml ریختیم. سپس ۱ ml حلال دی سولفید کربن به ویال اضافه کردیم و به‌منظور انتقال ترکیبات VOCs از جاذب به حلال، درب ویال را بستیم و ۳۰ دقیقه درون اولتراسونیک قرار دادیم. درنهایت، $1\mu l$ از محلول حاصله به دستگاه تزریق شد. نمونه‌های VOCها با استفاده از GC/MS ارزیابی شدند. با قراردادن مساحت پیک به‌دست‌آمده از کروماتوگرام مربوط به هریک از آلاینده‌ها در منحنی کالیبراسیون مربوطه، میزان غلظت آن‌ها برحسب میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد.

ارزیابی ریسک شیمیایی

ازآنجاکه هیچ مقدار فاکتور شیب سرطان (CSF) برای ترکیبات سنجش‌شده وجود نداشت و این ترکیبات به‌عنوان سرطان‌زا دسته‌بندی نشده بودند، بنابراین، محاسبهٔ خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی (LTCR) امکان‌پذیر نبود. به همین دلیل تنها ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی با استفاده از تکنیک مونت کارلو و در نرم‌افزار کریستال بال انجام شد. این روش را سازمان محیط‌زیست آمریکا ارائه کرده است. تمامی پارامترهای استفاده‌شده در این مطالعه براساس راهنمای تکنیک و نرم‌افزار انتخاب شدند. غلظت مواجهه (EC) و ضریب خطر (HQ) از طریق مواجهه و استنشاق VOCها به شرح زیر برآورد شد [۲۵]:

$$EC = \frac{C \times ET \times ED \times EF}{AT}$$

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

در این مطالعه، **C** غلظت آلاینده (برحسب میکروگرم بر مترمکعب) است که در ۲۰ ایستگاه مختلف اندازه‌گیری شد. **ET** زمان مواجهه است که براساس ساعات کاری بیمارستان‌های ایران، برابر با **۶ ساعت در روز** در نظر گرفته شد. **EF** و **ED** به‌ترتیب به‌معنی **تعداد روزهای مواجهه در سال** و **مدت‌زمان مواجهه (سال)** هستند که به‌ترتیب برابر با **۳۳۵ تا ۳۶۵ روز در سال** و **۳۰ سال** در نظر گرفته شدند. **AT** میانگین زمان است که برابر **EF × ED** بود و مقدار آن ۱۰۹۵۰-۱۰۰۵۰ بود. **RfC** غلظت مرجع استنشاقی است که مقدار آن برای اتیل بنزن، تولوئن، سیکلوهگزانون، ۱-

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

اتیل-۴-متیل بنزن، ۱و۲و ۳-تری متیل بنزن، ۱و۳و ۵-تری متیل بنزن، m-p، زایلن، و o-زایلن به‌ترتیب برابر با ۱، ۵، ۶، ۷، ۵، ۶، ۰/۱ و ۰/۱ بود. براساس اطلاعات سازمان EPA مقدار **CSF** برای هیچ‌کدام از ترکیبات مورد بررسی در دسترس نبود.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون‌های تحلیل واریانس و هم‌بستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-V24 استفاده شد. ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی با استفاده از تکنیک مونت کارلو (Monte Carlo) و در نرم‌افزار کریستال بال (Oracle Crystal Ball) انجام شد.

یافته ها

نتایج توصیفی اندازه‌گیری VOCها در بخش‌های مختلف بیمارستان در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. بررسی‌ها نشان داد **اتیل‌بنزن** بالاترین غلظت را در آزمایشگاه ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۵۴/۸۸) و پایین‌ترین میزان را در اتاق عمل ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۱/۹۲) داشت. تحلیل آماری نشان داد اختلاف غلظت اتیل‌بنزن بین بخش‌های مختلف **معنی‌دار** بود (P<۰/۰۵) و به‌طور مشخص آزمایشگاه بیشترین میزان مواجهه را در مقایسه با سایر بخش‌ها نشان داد. در مورد **بنزآلدهید**، بیشترین غلظت در محوطهٔ شمال غربی بیمارستان ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۴۵۲) و کمترین مقدار در بخش جراحی ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۱۹۶) مشاهده شد. اگرچه اختلافاتی بین بخش‌ها وجود داشت، اما آزمون واریانس نشان داد این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵).

بررسی‌ها اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت تولوئن در بخش‌های مختلف بیمارستان نشان داد. براساس نتایج تولوئن در بخش آزمایشگاه بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۸۱/۲۷) و در بخش مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۳۰/۰۳) را نشان داد. همچنین دکان در آشپزخانه بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۲۲/۴۶) و در بخش آزمایشگاه کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۵۸۲) را نشان داد. در ارتباط با غلظت ۱-اتیل-۴-متیل-بنزن، در محوطهٔ شمال شرقی بیمارستان بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۱/۹۲) و در بخش امحاء زباله کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۶۲۴) را نشان داد. ۳،۲،۱-تری متیل بنزن نیز در محوطهٔ شمال شرقی بیمارستان بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۳۲/۰۵) و در اتاق عمل کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۵۸۷) را نشان داد.

براساس نتایج ۵،۳،۱-تری متیل بنزن در بلوک زایمان دارای غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۰۳۸) و در بخش مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان غلظت آن برابر ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۰۱۸) بود. در سایر بخش‌های بیمارستان غلظت ۵،۳،۱-تری متیل بنزن برابر صفر بود. ازسوی‌دیگر، m, p-زایلن در آزمایشگاه بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۲۲۳/۱۴) و در بخش لاندری کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۸/۰۳) بود. همچنین غلظت آنها در اتاق عمل برابر صفر بود. همچنین نتایج مطالعه نشان داد O-زایلن در آزمایشگاه بیشترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۱۰۲/۴۸) و در بخش لاندری کمترین غلظت ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۶/۲۸) بود.

جدول ۱. میانگین اندازهٔ غلظت VOC**ها** در بخش‌های مختلف بیمارستان ($\frac{\mu g}{m^3}$)

بخش	اتیل بنزن	بنزآلدهید	تولوئن	سیکلوهگزانون	دکان	۱-اتیل-۴-متیل بنزن	۱و۲و۳-تری متیل بنزن	۱و۳و۵-تری متیل بنزن	m-p، زایلن	o-زایلن
اتاق عمل	۱/۹۲	۰/۲۱۷	۳۰/۹۲	۰/۱۳۰	۱/۶۶	ND	۰/۵۸۷	ND	۳/۴۶	ND
خدمات استریل مرکزی	۲/۷۴	۰/۲۷۳	۳۹/۷۱	۵/۸۲	۱/۸۲	ND	۰/۶۸۴	ND	۳/۷۶	۴۷/۲۷
بلوک زایمان	۳/۲۴	۰/۳۲۸	۴۱/۴۰	۰/۴۷۹	۲/۱۵	ND	۰/۸۵۱	۰/۰۳۸	۵/۶۲	۲۵/۵۶
مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان	۲/۴۳	۰/۲۳۲	۳۰/۰۳	۰/۳۷۱	۱/۸۳	ND	۱/۱۵	۰/۰۱۸	۵/۷۶	۱۱/۹۷
زنان و مامایی	۲/۴۴	۰/۲۷۳	۴۴/۴۷	۱/۲۴	۲/۴۲	ND	۱/۱۱	ND	۱۱/۵۴	۱۰/۱۲
جراحی زنان	۴/۸۴	۰/۲۹۴	۴۹/۷۹	۱/۱۹	۲/۳۹	ND	۱/۱۸	ND	۱۱/۷۴	۸/۸۱
جراحی اطفال	۴/۵۸	۰/۱۹۶	۴۰/۳۲	۱/۴۴	۲/۴۴	ND	۰/۷۲۶	ND	۱۱/۳۲	۱۱/۵۰
مراقبت‌های ویژه	۵/۰۱	۰/۲۸۷	۴۹/۳۶	۱/۰۳	۳/۱۱	ND	۰/۹۵۶	ND	۹/۴۷	۸/۴۷
اورژانس	۶/۴۹	۰/۳۱۹	۵۳/۷۳	۱/۴۴	۲/۹۷	ND	۱/۱۹	ND	۱۵/۳۰	۱۱/۶۴
سالن اصلی بیمارستان	۶/۹۵	۰/۳۲۶	۵۱/۵۶	۱/۶۳	۲/۵۰	ND	۱/۲۸	ND	۲۰/۶۷	۱۴/۱۷

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

بخش	اتیل بنزن	بنزآلدهید	تولوئن	سیکلوهگزانون	دکان	۱- اتیل- ۴- متیل بنزن	۱و۲و ۳- تری متیل بنزن	۱و۳و ۵- تری متیل بنزن	m-p، زایلن	o- زایلن
سالن کلینیک	۱۰/۵۵	۰/۳۸۸	۷۶/۲۲	۲/۳۸	۴/۳۷	۱/۲۳	۱/۶۰	ND	۲۳/۴۶	۱۹/۶۵
آشپزخانه	۷/۴۷	۰/۳۳۱	۵۶/۳۷	۱/۶۳	۲۲/۴۶	۰/۸۸۷	۱/۱۲	ND	۱۴/۹۵	۱۲/۱۶
آزمایشگاه	۵۴/۸۸	۰/۳۲۱	۸۱/۲۷	۱۲/۹۳	۰/۵۸۲	ND	۳/۴۳	ND	۲۲۳/۱۴	۱۰۲/۴۸
رادیولوژی	۱۰/۱۱	۰/۲۶۶	۴۹/۳۶	۲/۴۲	۲/۸۳	۰/۹۶۹	۲/۱۴	ND	۳۳/۰۴	۱۹/۴۰
لاندری	۵/۴۸	۰/۲۸۵	۴۱/۴۳	۰/۷۸۲	۱/۷۴	ND	۰/۶۸۹	ND	۸/۰۳	۶/۲۸
امحاء زباله	۵/۶۷	۰/۲۸۹	۴۲/۰۸	۰/۸۱۹	۲/۰۱	۰/۶۲۴	۰/۷۰۲	ND	۸/۳۶	۶/۴۹
محوطهٔ جنوب شرقی	۹/۷۹	۰/۳۹۲	۶۸/۰۳	۱/۶۳	۳/۰۹	۱/۳۳	۱/۱۰	ND	۱۷/۶۱	۱۴/۸۵
محوطهٔ جنوب غربی	۶/۸۰	۰/۲۳۱	۴۶/۶۴	۱/۲۳	۲/۱۹	۱/۱۰	۰/۹۶۶	ND	۱۲/۹۷	۸/۸۸
محوطهٔ شمال شرقی	۹/۶۴	۰/۳۴۳	۷۲/۷۶	۱/۸۸	۲/۷۶	۱/۹۲	۳۲/۰۵	ND	۱۹/۶۱	۱۵/۸۵
محوطهٔ شمال غربی	۱۰/۱۸	۰/۴۵۲	۷۱/۰۹	۱/۷۴	۳/۵۸	۱/۳۷	۸/۰۷	ND	۲۱/۴۵	۱۳/۵۹
نمونهٔ شاهد	۶/۲۹	ND	۵۱/۴۶	۰/۷۹۴	۲/۹۴	۰/۷۱۹	۸/۱۴	ND	۱۰/۵۵	۵/۸۳

ND: Not Detectable

جدول ۲. میانگین غلظت آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان

آلاینده		مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	Sig.
اتیل بنزن	بین‌گروهی	۸/۷۹۳	۱۹	۴/۳۹۷	۴/۳۴۸	<۰/۰۰۱
	درون‌گروهی	۲۵۶۴/۳۹۶	۰	۱۲/۶۳۲		
	کل	۲۵۷۳/۱۸۹	۱۹			
بنزآلدهید	بین‌گروهی	۳۷/۸۲۶	۱۹	۱۸/۹۱۳	۰/۳۲۰	۰/۰۵۹
	درون‌گروهی	۲۹۰۹/۶۱۱	۰	۱۴/۳۳۳		
	کل	۲۹۰۹/۶۱۱	۱۹			
تولوئن	بین گروهی	۴/۷۹۴	۱۹	۲/۳۹۷	۲/۴۱۲	۰/۰۳۷
	درون‌گروهی	۷۷۹/۱۲۹	۰	۳/۸۳۸		
	کل	۷۸۳/۹۲۲	۱۹			
دکان	بین‌گروهی	۵/۰۱۸	۱۹	۲/۵۰۹	۲/۲۹۶	۰/۰۴۱
	درون‌گروهی	۴۴۲/۲۱۰	۰	۲/۱۷۸		
	کل	۴۴۷/۲۲۸	۱۹	۳/۶۰۱		
سیکلوهگزان	بین‌گروهی	۳/۶۱۲	۱۹	۳/۲۶۹	۲/۳۱۶	۰/۰۳۹
	درون‌گروهی	۶۶۷/۱۵۳	۰			
	کل	۶۹۷/۱۹۸	۱۹			
۱-اتیل-۴-متیل-بنزن	بین‌گروهی	۷۷/۶۲	۱۹	۳۸/۸۱۲	۳/۵۴۲	۰/۰۲۵
	درون‌گروهی	۴۶۴۹/۰۷۹	۰	۲۲/۹۰۲		
	کل	۴۷۲۶/۷۰۴	۱۹			
۱، ۲، و ۳- تری متیل بنزن	بین‌گروهی	۴۶/۲۸۶	۱۹	۲۳/۱۴۳	۳/۶۱۹	۰/۰۱۹
	درون‌گروهی	۴۰۴۴/۵۹۳	۰	۱۹/۹۲۴		
	کل	۴۰۹۰/۸۷۹	۱۹			
۱، ۳، و ۵- تری متیل بنزن	بین‌گروهی	۱۳۲/۹۸۳	۱۹	۶۶/۴۹۱	۵/۲۶۳	<۰/۰۰۱
	درون‌گروهی	۵۳۱۳/۹۵۴	۰	۲۶/۱۷۷		
	کل	۵۴۴۶/۹۳۷	۱۹			
m, p-زایلن	بین‌گروهی	۶۷/۹۳۶	۱۹	۳۳/۹۶۸	۴/۵۸۷	۰/۰۱۳

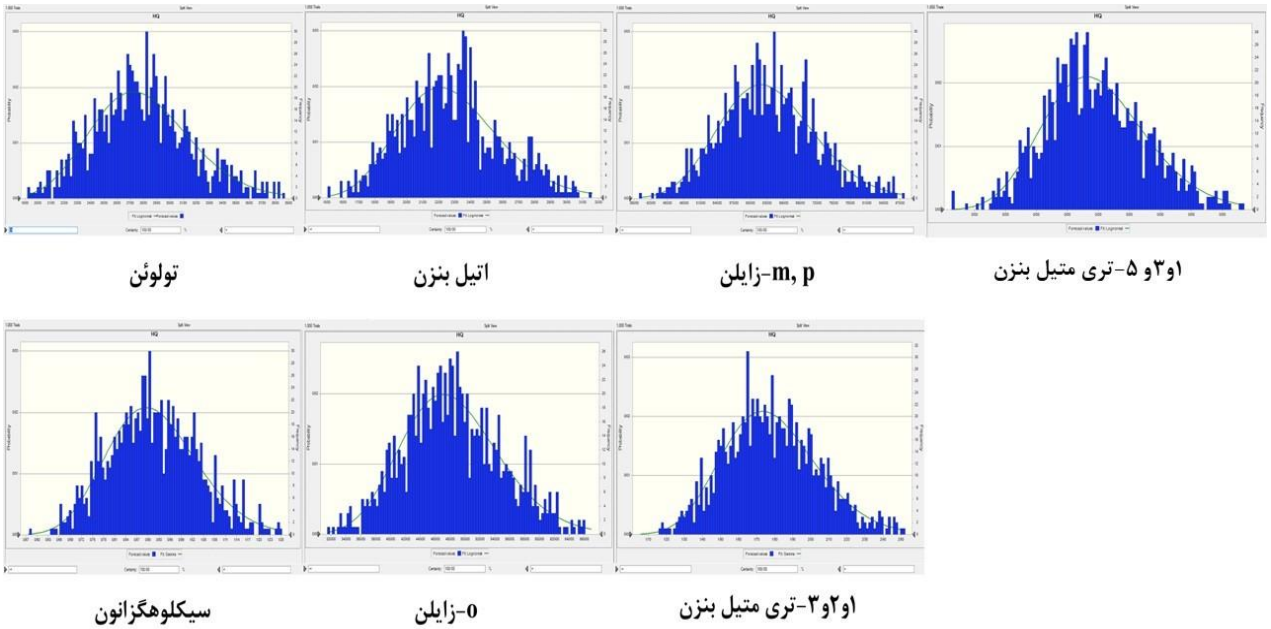
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

	درون‌گروهی	۲۰۸۵/۷۵۸	۰	۱۰/۲۷۵		
	کل	۲۱۵۳/۶۹۴	۱۹			
	بین‌گروهی	۱۲۹/۷۵۳	۱۹	۶۴/۸۷۷		
O-زایلن	درون‌گروهی	۸۲۴۶/۶۲۱	۰	۴۰/۶۲۴	۲/۴۳۱	۰/۰۳۳
	کل	۸۳۷۶/۳۷۴	۱۹			

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در میان VOCهای اندازه‌گیری‌شده، **تولوئن بیشترین غلظت مواجهه** ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۱۳۸/۷۰) را نشان داد. پس از آن، m, p-زایلن و o-زایلن و در رتبهٔ دوم و سوم به‌ترتیب دارای غلظت مواجهه ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۶۲/۶۹۹) و ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۴۷/۸۱) بودند. درمقابل، **کمترین غلظت مواجهه مربوط به ۱،۳،۵-تری‌متیل‌بنزن** ($\frac{\mu g}{m^3}$ ۰/۰۰۷) بود. براساس محاسبات شاخص خطر (HQ)، **بیشترین مقدار HQ مربوط به** m, p -زایلن **(۶۲۶.۹۹) و o**-زایلن **(۴۷۸/۰۹)** بود که هر دو به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از حد مجاز واحد(HQ>1) قرار دارند. درمقابل، **کمترین شاخص خطر مربوط به ۱،۳،۵-تری‌متیل‌بنزن (۰/۰۰۱) و سیکلوهگزانون (۰/۹۱)** به دست آمد که به‌دلیل کمتربودن از حد آستانه (HQ<1) نشان‌دهندهٔ نبودِ نگرانی جدی از نظر خطر غیرسرطان‌زایی هستند. شکل ۱، ریسک بیماری‌زایی ترکیبات VOCها براساس شبیه‌سازی مونته کارلو را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی ترکیبات VOC براساس غلظت مواجهه و ضریب خطر

آلاینده	EC	HQ
تولوئن	۱۳۸/۷۰	۲۷/۷۴
اتیل بنزن	۲۲/۶۲	۲۲/۶۲
سیکلوهگزان	۵/۴۸	۰/۹۱
m, p-زایلن	۶۲/۶۹۹	۶۲۶/۹۹
۱و۲و ۳-تری متیل بنزن	۸/۸۹	۱/۷۸
۱و۳و ۵-تری متیل بنزن	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
O-زایلن	۴۷/۸۱	۴۷۸/۰۹



شکل ۱. ریسک بیماری‌زایی ترکیبات VOCها براساس شبیه‌سازی مونته کارلو

براساس نتایج جدول ۴ بررسی هم‌بستگی بین شرایط محیطی و غلظت ترکیبات آلی فرآر نشان داد که دمای محیط ارتباط معنی‌داری با اکثر ترکیبات (ازجمله تولوئن، اتیل‌بنزن، سیکلوهگزان، بنزآلدهید، دکان و ایزومرهای تری‌متیل‌بنزن و زایلن‌ها) مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بااین‌حال، میان دما و غلظت ۱-اتیل-۴-متیل‌بنزن هم‌بستگی آماری معنی‌دار مشاهده شد (P<۰/۰۵)؛ **به** این معنا که افزایش دما موجب افزایش غلظت این ترکیب شد. همچنین، تحلیل داده‌ها نشان

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

داد رطوبت نسبی محیط با هیچ‌یک از VOCهای اندازه‌گیری‌شده ارتباط آماری معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بنابراین تغییرات رطوبت به‌تنهایی تأثیری بر غلظت آلاینده‌ها نشان نداد.

جدول ۴. همبستگی پیرسون بین غلظت VOCها با دما و رطوبت

آلاینده	دما		رطوبت	
	ضریب	Sig.	ضریب	Sig.
تولوئن	۰/۳۲۸	۰/۱۴۶	۰/۰۳۱	۰/۸۹۵
اتیل بنزن	-۰/۰۰۵	۰/۹۸۲	۰/۰۱۲	۰/۹۵۹
سیکلوهگزان	-۰/۱۳۴	۰/۵۶۲	-۰/۰۷۷	۰/۷۴۱
بنزآلدهید	۰/۴۰۷	۰/۰۶۷	-۰/۲۰۸	۰/۳۶۵
دکان	۰/۰۶۴	۰/۷۸۳	-۰/۲۰۵	۰/۳۷۲
۱-اتیل-۴-	۰/۶۶۳	۰/۰۰۱	۰/۴۱۶	۰/۰۶۰
۱و۲و ۳-تری	۰/۳۱۸	۰/۱۶۰	۰/۱۸۴	۰/۴۲۴
۱و۳و ۵-تری	-۰/۱۸۹	۰/۴۱۱	۰/۱۸۵	۰/۴۲۲
m-p، زایلن	-۰/۱۷۳	۰/۴۵۲	-۰/۰۳۵	۰/۸۸۲
o-زایلن	-۰/۱۷۳	۰/۴۵۲	-۰/۰۳۵	۰/۸۸۲

بحث

مطالعهٔ حاضر، که در سال ۱۴۰۳ انجام شد، با هدف تعیین کمیت غلظت VOCها و ارزیابی خطرات سلامت مرتبط برای کارکنان مراقبت‌های بهداشتی انجام شد.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد بیشترین غلظت اتیل‌بنزن در آزمایشگاه، سالن کلینیک، رادیولوژی و محوطهٔ شمال غربی بیمارستان مشاهده شد. این الگو می‌تواند ناشی از کاربرد گستردهٔ حلال‌های آلی و مواد شیمیایی حاوی اتیل‌بنزن در بخش‌های آزمایشگاهی و کلینیکی باشد. همچنین، حضور منابع احتمالی دیگر مانند مواد مصرفی در فرایندهای تشخیصی و تجهیزات رادیولوژی می‌تواند در افزایش غلظت این ترکیب نقش داشته باشد. یافته‌های مطالعهٔ حاضر تاحدی با نتایج گزارش‌شدهٔ خیرمند (Kheirmand) و همکاران [۲۶] هم‌خوانی دارد؛ آنان نیز بیشترین غلظت اتیل‌بنزن را در بخش‌های اداری و نظافتی گزارش کردند که احتمالاً ناشی از استفاده از مواد شوینده و پاک‌کننده‌های حاوی ترکیبات آروماتیک بوده است. بااین‌حال، تفاوت در محل‌های بیشترین غلظت میان دو مطالعه ممکن است به‌دلیل تفاوت در نوع فعالیت‌های شغلی، تهویه، و شرایط اقلیمی بیمارستان‌ها باشد.

همچنین نتایج میری (Miri) و همکاران [۲۷] که بیشترین غلظت اتیل‌بنزن را در بخش جراحی عمومی گزارش کردند، مؤید نقش منابع احتراق و دود جراحی در افزایش این آلاینده است؛ موضوعی که در مطالعهٔ دیگری نیز به ارتباط غلظت اتیل‌بنزن با مدت زمان جراحی اشاره شده است [۲۸].

دربارهٔ بنزآلدهید، نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد این ترکیب در محوطهٔ بیمارستان، سالن کلینیک، آشپزخانه، بلوک زایمان و سالن اصلی بیشترین غلظت را داشته است. این یافته می‌تواند ناشی از انتشار ترکیبات حاصل از مواد غذایی، فعالیت‌های پخت‌وپز در آشپزخانه و استفاده از مواد شیمیایی در بخش‌های بالینی و درمانی باشد. مقایسهٔ این نتایج با مطالعهٔ کای (Cai) و همکاران [۲۹] نشان می‌دهد که اگرچه آنان بیشترین غلظت بنزآلدهید را در بخش امحاء زباله، داروخانه و لاندری گزارش کردند، اما وجه مشترک هر دو مطالعه تأکید بر نقش فعالیت‌های انسانی و منابع داخلی تولیدکنندهٔ ترکیبات آلی فرّار است. تفاوت در بخش‌های با غلظت بالا احتمالاً به‌دلیل تفاوت در زیرساخت‌ها، تهویه و نوع فعالیت‌های غالب در هر بیمارستان است.

تولوئن نسبت به دیگر آلاینده‌ها غلظت بالاتری را نشان داد. به‌ترتیب در آزمایشگاه، سالن کلینیک، و محوطهٔ بیمارستان بیشترین غلظت تولوئن اندازه‌گیری شد. در مطالعهٔ خیرمند (Kheirmand) بیشترین غلظت تولوئن مربوط به بخش‌های اداری و حسابداری بیمارستان بود [۲۶]. در مطالعهٔ وطنی شجاع و همکاران بیشترین غلظت تولوئن به‌ترتیب در بخش‌های پاتولوژی، امحاء زباله و رختشورخانه به‌دست آمد [۳۰]. در مطالعهٔ لو (Lu) و همکاران نیز همانند مطالعهٔ حاضر بیشترین غلظت در میان ترکیبات VOCها در بخش‌های مختلف بیمارستان مربوط به تولوئن بود [۳۱]. میری (Miri) و همکاران در مطالعهٔ خود بیان کردند که تولوئن در بخش جراحی عمومی بیشترین غلظت را داشت [۲۷].

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد تولوئن نسبت به سایر آلاینده‌ها غلظت بالاتری داشت و بیشترین میزان آن در آزمایشگاه، سالن کلینیک و محوطهٔ بیمارستان مشاهده شد. این الگو احتمالاً به‌دلیل کاربرد گستردهٔ تولوئن به‌عنوان حلال در فرایندهای آزمایشگاهی و استفاده از مواد شیمیایی در محیط‌های کلینیکی است. یافته‌های ما با مطالعهٔ لو (Lu) و همکاران [۳۱] هم‌سو است؛ آنان نیز گزارش کردند که در میان ترکیباتVOC ها تولوئن بالاترین غلظت را در بخش‌های مختلف بیمارستان داشت. همچنین نتایج مطالعهٔ میری (Miri) و همکاران [۲۷]، که بیشترین غلظت تولوئن را در بخش جراحی عمومی یافتند، مؤید آن است که فعالیت‌های جراحی و استفاده از مواد بی‌هوشی و حلال‌ها می‌توانند منبع مهمی از انتشار این ترکیب **باشند**. بااین‌حال، در مطالعات

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

خیرمند (Kheirmand) و همکاران [۲۶] و وطنی شجاع و همکاران [۳۰] بیشترین غلظت تولوئن در بخش‌های اداری، حسابداری، پاتولوژی، امحاء زباله و رختشورخانه گزارش شد. این تفاوت می‌تواند ناشی از نوع فعالیت‌های غالب در هر بخش، تفاوت در سیستم تهویه، شرایط اقلیمی بیمارستان‌ها و میزان مصرف مواد حاوی تولوئن باشد.

درخصوص سیکلوهگزانون نتایج نشان داد که بیشترین غلظت آن در بخش آزمایشگاه و سپس در بخش‌های خدمات استریل مرکزی، رادیولوژی، سالن کلینیک و محوطهٔ بیمارستان مشاهده شد. این یافته می‌تواند ناشی از مصرف حلال‌ها و مواد شیمیایی حاوی سیکلوهگزانون در فرایندهای آزمایشگاهی و تجهیزات پزشکی باشد. هرچند مطالعات پیشین نشان داده‌اند که اتاق‌های عمل به‌دلیل وجود تجهیزات ساخته‌شده از PVC می‌توانند منبع مهمی برای انتشار سیکلوهگزانون باشند [۳۲]، اما در مطالعهٔ حاضر غلظت این ترکیب در اتاق عمل پایین گزارش شد. این تضاد ممکن است به‌دلیل تفاوت در نوع تجهیزات مورد استفاده، شرایط تهویه یا روش‌های کنترل عفونت در اتاق‌های عمل بیمارستان مطالعهٔ حاضر باشد. همچنین، اگرچه مطالعه‌ای دیگر حضور متابولیت‌های سیکلوهگزانون در ادرار و بازدم کودکان بستری در بخش مراقبت‌های ویژه را گزارش کرده است [۳۳]، در مطالعهٔ حاضر هرچند این ترکیب در بخش‌های مراقبت ویژه و مراقبت ویژهٔ نوزادان شناسایی شد، اما غلظت آن در مقایسه با سایر بخش‌ها چندان بالا نبود. این یافته می‌تواند بیانگر کاربرد محدود منابع آلاینده در این بخش‌ها یا اثربخشی نسبی سیستم‌های تهویه باشد.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که بیشترین غلظت دکان در آشپزخانه بیمارستان به‌دست آمد و پس از آن، سالن کلینیک، محوطهٔ بیمارستان، اورژانس و رادیولوژی مقادیر بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها داشتند. ازآنجاکه دکان یک آلکان خطی است که معمولاً در مواد پاک‌کننده، حلال‌ها و برخی تجهیزات پزشکی یافت می‌شود، می‌توان افزایش سطح آن در آشپزخانه را به کاربرد مکرر مواد شوینده و ضدعفونی‌کننده‌های مبتنی‌بر الکل در فرایندهای پخت‌وپز و شست‌وشو نسبت داد. همچنین، حضور این ترکیب در سالن کلینیک و اورژانس می‌تواند ناشی از استفادهٔ مستمر از مواد استریل‌کننده و فرایندهای ضدعفونی باشد. این یافته با مطالعات پیشین همخوانی دارد که نشان داده‌اند فرایندهای نظافت و استریل‌سازی، به‌ویژه در محیط‌های بسته و با تهویهٔ ناکافی منجر به افزایش سطح آلکان‌ها، ازجمله دکان، می‌شوند [۳۴].

درخصوص ۱-اتیل-۴-متیل بنزن، بیشترین غلظت در محوطهٔ بیمارستان و سالن کلینیک مشاهده شد. ازآنجاکه این ترکیب در بسیاری از پاک‌کننده‌ها و مواد شیمیایی مصرفی وجود دارد، احتمالاً استفادهٔ مکرر از این مواد در محیط‌های پرتردد، مانند کلینیک‌ها و محوطه عمومی، عامل اصلی انتشار آن بوده است.

همچنین، نتایج نشان داد ۱و۲و ۳-تری متیل بنزن **در** محوطهٔ بیمارستان و آزمایشگاه بیشترین غلظت را داشت، درحالی‌که ۱و۳و ۵-تری متیل بنزن تنها در بلوک زایمان و بخش مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان شناسایی شد. حضور این ترکیبات می‌تواند ناشی از کاربرد حلال‌ها، ضدعفونی‌کننده‌ها و مواد استفاده‌شده در دستگاه‌های پزشکی باشد. مطالعات پیشین، از جمله تحقیق راتاینن (Rautiainen) و همکاران [۳۵] نیز سطوح قابل توجهی از تری‌متیل‌بنزن‌ها را در محیط‌های بیمارستانی گزارش کرده‌اند. میانگین حدود $3/6 \mu g/m^3$، که نزدیک به مقادیر مشاهده‌شده در مطالعهٔ حاضر $3/321 \mu g/m^3$ است. این هم‌خوانی نشان می‌دهد که منابع مصرفی مشابه و فرایندهای استریل‌سازی تکرارشونده در بیمارستان‌ها نقش کلیدی در افزایش این آلاینده‌ها دارند. تفاوت در الگوی انتشار میان بخش‌های مختلف نیز می‌تواند ناشی از تفاوت در شدت فعالیت‌ها، نوع مواد شیمیایی مصرفی و شرایط تهویه باشد.

براساس نتایج این مطالعه، غلظت m, p-زایلن در بخش آزمایشگاه به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر بخش‌ها بود. این موضوع می‌تواند ناشی از استفادهٔ گسترده از حلال‌ها و مواد شیمیایی حاوی زایلن در فرایندهای آزمایشگاهی مانند رنگ‌آمیزی، آماده‌سازی نمونه‌ها و فعالیت‌های تشخیصی باشد. همچنین، در بخش‌های رادیولوژی، سالن کلینیک، محوطهٔ بیمارستان و سالن اصلی بیمارستان نیز مقادیر قابل توجهی از این ترکیب مشاهده شد که می‌تواند به کاربرد گستردهٔ مواد شیمیایی در فرایندهای تصویربرداری، ضدعفونی‌کردن سطوح و همچنین تهویه ناکافی مرتبط باشد. در مورد o-زایلن نیز بیشترین غلظت در آزمایشگاه، خدمات استریل مرکزی و بلوک زایمان ثبت شد که احتمالاً به استفادهٔ مکرر از مواد ضدعفونی‌کننده و فرایندهای استریلیزاسیون در این محیط‌ها ارتباط دارد.

یافته‌های ما با مطالعات قبلی هم‌سو است؛ به‌عنوان مثال، پژوهش‌های انجام‌شده در اتاق‌های عمل و واحدهای مراقبت ویژه نشان داده‌اند که استفادهٔ گسترده از مواد استریل‌کننده و بی‌هوشی موجب افزایش قابل توجه غلظت m, p-xylene

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

می‌شود [۳۶]. همچنین در بخش‌های رادیولوژی، نتایج تحقیقات دیگر نیز غلظت‌های بالاتری از زایلن نسبت به سایر بخش‌های بیمارستانی گزارش کرده‌اند [۲۶، ۲۹] که این موضوع یافته‌های ما را تأیید می‌کند. بااین‌حال، تفاوت در شدت مقادیر گزارش‌شده می‌تواند ناشی از عواملی مانند شرایط تهویه، حجم استفاده از مواد شیمیایی و تفاوت در استانداردهای کنترل عفونت بین بیمارستان‌ها باشد.

در مقایسهٔ بین بخش‌های مختلف، نتایج نشان داد در اتاق عمل بیشترین غلظت آلاینده به تولوئن مربوط بود. وجود تولوئن در این بخش را می‌توان عمدتاً به استفاده از عوامل بی‌حسی، محصولات پاک‌کننده و مواد مصرفی در طول جراحی نسبت داد. علاوه‌براین، سیستم تهویهٔ اتاق عمل و مدت زمان جراحی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان تجمع این آلاینده هستند. مطالعهٔ کلانتری (Kalantari) و همکاران نیز نشان داد غلظت تولوئن در حین جراحی‌های ارتوپدی به ۴۳۰$\mu g/m^3$ رسید، که گرچه کمتر از حد مجاز NIOSH بود، اما به‌دلیل مواجههٔ مزمن می‌تواند خطرات سلامتی برای پرسنل ایجاد کند. همچنین ارتباط مثبت بین مدت زمان جراحی و افزایش غلظت تولوئن در این مطالعه تأیید شد [۲۸]. در مطالعهٔ حاضر، غلظت تولوئن در اتاق عمل برابر ۳۰/۹۲$\mu g/m^3$ برآورد شد که کمتر از مقادیر گزارش‌شده در برخی مطالعات مشابه بود. این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع عمل‌های جراحی، شرایط تهویه، میزان استفاده از مواد بی‌هوشی و تفاوت‌های محلی در روش‌های کنترل عفونت باشد.

یافته‌های ما با مطالعهٔ کلانتری (Kalantari) و همکاران هم‌سو است، چون آن‌ها نیز بالاترین غلظت‌ها در اتاق عمل را مربوط به ترکیباتی همچون بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل‌بنزن گزارش کردند [۲۸]. بااین‌حال، در مطالعهٔ حاضر برخلاف برخی مطالعات دیگر، بنزن در هوای اتاق عمل شناسایی نشد. دلیل احتمالی این تفاوت می‌تواند به شرایط خاص بیمارستان مورد بررسی، نوع مواد مصرفی، و نیز حساسیت روش‌های اندازه‌گیری مرتبط باشد. این در حالی است که سایر تحقیقات نشان داده‌اند بنزن معمولاً در میان VOCها بیشترین سهم را در محیط‌های بیمارستانی دارد [۲۶]. همچنین، مطالعات متعدد تأکید کرده‌اند که دود جراحی حاوی ترکیبات خطرناک VOCها است و تماس طولانی‌مدت پرسنل اتاق عمل می‌تواند اثرات زیان‌باری بر سلامت آن‌ها داشته باشد [۳۷]. مطالعهٔ لو (Lu) و همکاران نیز یافته‌های حاضر را تأیید می‌کند و گزارش می‌دهد که اتاق‌های عمل به‌دلیل استفادهٔ همزمان از گازهای بی‌هوشی و ضدعفونی‌کننده‌ها، بیشترین غلظت VOCها را در بین بخش‌های بیمارستانی نشان می‌دهند [۲۹].

در بخش خدمات استریل مرکزی، بلوک زایمان و مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان، بیشترین غلظت مربوط به o-زایلن و پس از آن تولوئن بود. این یافته نشان می‌دهد که فعالیت‌های مرتبط با استریل‌سازی تجهیزات و استفادهٔ مکرر از مواد شیمیایی در این بخش‌ها می‌تواند منبع اصلی انتشار این ترکیبات باشد. مطالعهٔ وطنی شجاع (Vatani Shoja) و همکاران نیز نتایجی مشابه گزارش کرده و بالاترین غلظت تولوئن را در آزمایشگاه پاتولوژی و بخش امحاء زباله و همچنین بالاترین غلظت زایلن را در بخش امحاء زباله یافتند [۳۰]. این شباهت می‌تواند بیانگر نقش مشترک فرایندهای دفع و استریل‌سازی در تولید VOCها در محیط‌های بیمارستانی باشد.

در بخش‌های بلوک زایمان، مراقبت‌های ویژهٔ نوزادان و جراحی اطفال تولوئن بیشترین غلظت را داشت و در رتبهٔ دوم o-زایلن قرار گرفت. این الگو احتمالاً به‌دلیل استفادهٔ گسترده از حلال‌ها و ضدعفونی‌کننده‌ها در محیط‌های حساس مربوط به نوزادان و مادران است؛ جایی که رعایت استانداردهای بهداشتی اهمیت ویژه‌ای دارد. درمقابل، در بخش‌های زنان و مامایی، جراحی زنان، مراقبت‌های ویژه، اورژانس، سالن اصلی، سالن کلینیک، رادیولوژی، لاندری، امحاء زباله و محوطه‌های مختلف بیمارستان بیشترین غلظت به تولوئن و سپس m, p-زایلن تعلق داشت. این یافته هم‌سو با مطالعهٔ رفیعی (Rafiee) و همکاران است که بخش اتوکلاو پسماند بهداشتی را یکی از منابع مهم VOCها معرفی کرده‌اند [۳۸].

نکتهٔ قابل توجه در مطالعهٔ حاضر الگوی متفاوت محوطهٔ شمال شرقی بیمارستان بود. در این منطقه، تولوئن بیشترین غلظت را داشت اما برخلاف سایر بخش‌ها، ۱،۲،۳-تری‌متیل‌بنزن در رتبهٔ دوم قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد در این محوطه یک دستگاه دیزل‌ژنراتور وجود دارد و ازآنجاکه تری‌متیل‌بنزن‌ها به‌طور معمول در دود اگزوز موتورهای دیزل یافت می‌شوند، می‌توان این یافته را به انتشار ناشی از احتراق دیزل نسبت داد [۳۹]. این نکته علاوه‌بر توضیح غلظت بالای تری‌متیل‌بنزن می‌تواند بخشی از غلظت بالاتر تولوئن در این منطقه را نیز توجیه کند، زیرا سوخت‌های فسیلی منبع شناخته‌شده‌ای از ترکیبات VOCها هستند.

در بخش آشپزخانه نیز بیشترین غلظت مربوط به تولوئن و سپس دکان بود. این امر با توجه به استفادهٔ گسترده از شوینده‌ها و ضدعفونی‌کننده‌های حاوی حلال‌های آلی در محیط آشپزخانه منطقی به نظر می‌رسد. درنهایت، نتایج نشان داد چهار آلایندهٔ m, p-زایلن، o-زایلن، تولوئن و اتیل‌بنزن به‌طور بارز در آزمایشگاه بیشترین غلظت را داشتند. این یافته

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد که آزمایشگاه‌ها را به‌دلیل کاربرد گستردهٔ حلال‌های آلی، به‌ویژه در فرایندهای تحلیل و آماده‌سازی نمونه، به‌عنوان یکی از منابع اصلی انتشار VOC ها در محیط‌های بیمارستانی معرفی کرده‌اند.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد از بین ترکیبات اندازه‌گیری‌شده، تنها غلظت ۱-اتیل-۴-متیل‌بنزن با دما هم‌بستگی آماری معنی‌داری داشت و سایر ترکیبات با دما ارتباط معنی‌داری نشان ندادند. این موضوع می‌تواند ناشی از تفاوت در منابع انتشار و واکنش‌های فیزیکوشیمیایی VOC ها با تغییرات دما باشد؛ به‌عنوان مثال، برخی ترکیبات ممکن است به‌دلیل نقطه جوش بالاتر، کمتر تحت‌تأثیر نوسانات دما قرار گیرند. برخلاف یافته‌های حاضر، مطالعه‌ای نشان داد که غلظت VOCها در هوای تابستان بالاتر از زمستان است و رابطهٔ مستقیمی با دما دارد [۴۰]. ازسوی‌دیگر، برخی مطالعات دیگر نیز نشان دادند که رابطهٔ بین دما و غلظت VOCها معنی‌دار نبوده اما هم‌بستگی قابل توجهی با رطوبت مشاهده شده است [۴۱]. این تناقض‌ها می‌تواند به تفاوت در نوع VOCها، شرایط تهویه، منابع انتشار و فصل نمونه‌برداری مرتبط باشد و نشان می‌دهد که عوامل محیطی در هر بیمارستان باید به‌صورت محلی بررسی شوند.

در بررسی ریسک غیرسرطان‌زایی (HQ) مشخص شد که برای سیکلوهگزان و ۱و۳و۵-تری‌متیل‌بنزن مقدارHQ کمتر از ۱ بود که نشان‌دهندهٔ ریسک قابل قبول برای مواجههٔ غیرسرطانی است. بااین‌حال، سایر ترکیبات HQ بالاتر از ۱ داشتند که نشان‌دهندهٔ مواجههٔ بالاتر از دوز مرجع و خطر بالقوه برای اثرات نامطلوب سلامتی است. بیشترین ریسک غیرسرطان‌زایی به ترتیب مربوط به ترکیبات زایلن، تولوئن و اتیل‌بنزن بود. این یافته‌ها اهمیت پایش مستمر VOCها و طراحی راهکارهای کاهش مواجهه در محیط‌های بیمارستانی را برجسته می‌سازد. مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند ترکیبات VOCها، به‌ویژه زایلن و تولوئن، در محیط‌های بیمارستانی و آزمایشگاهی می‌توانند بیشترین خطر غیرسرطان‌زایی را ایجاد کنند و بنابراین تمرکز بر کنترل منابع انتشار و بهبود تهویه در این بخش‌ها ضروری است.

نقاط قوت این مطالعه شامل اندازه‌گیری VOCها در بخش‌های مختلف بیمارستان، شناسایی ترکیبات با بیشترین خطر و ارائهٔ مقایسه با مطالعات مشابه و متناقض بود که به فهم بهتر منابع انتشار و الگوهای مواجهه کمک می‌کند. از محدودیت‌های مطالعه می‌توان به بررسیِ تنها یک بیمارستان، نمونه‌برداری در دورهٔ زمانی محدود و اندازه‌گیری‌نکردنِ برخی ترکیبات بالقوه سمی اشاره کرد که می‌تواند بر تعمیم نتایج تأثیرگذار باشد.

درمجموع، یافته‌های حاضر تأکید می‌کند که پایش منظم VOCها و اجرای برنامه‌های مدیریتی و کنترلی عملی، به‌ویژه در بخش‌های حساس بیمارستانی، برای حفظ سلامت کارکنان ضروری است.

نتیجه گیری

مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی غلظت ترکیبات آلی فرآر (VOCs) در هوای بخش‌های مختلف یک بیمارستان در شهر مشهد و ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از مواجهه با این آلاینده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد غلظت VOCها در بخش‌های مختلف بیمارستان متفاوت است و این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از نوع فعالیت‌ها، مواد مصرفی، فرایندهای استریل‌سازی، استفاده از حلال‌ها و تجهیزات پزشکی و شرایط تهویه در هر بخش است. به‌ویژه، آزمایشگاه‌ها، خدمات استریل مرکزی و محوطه‌های حاوی ژنراتور دیزل به‌عنوان نقاط بحرانی با بالاترین غلظت VOCها شناسایی شدند.

تحلیل ریسک نشان داد ترکیبات زایلن، تولوئن و اتیل‌بنزن بیشترین خطر غیرسرطان‌زایی را دارند و مواجههٔ طولانی‌مدت کارکنان با این آلاینده‌ها می‌تواند اثرات نامطلوب برای سلامتی ایجاد کند. بنابراین، لازم است برنامه‌های نظارتی و کنترل کیفیت هوا در بیمارستان‌ها به‌صورت سیستماتیک و هدفمند اجرا شوند. این برنامه‌ها می‌توانند شامل پایش مستمر غلظت VOCها، بهبود سیستم‌های تهویه و فیلتراسیون هوا، محدودکردن استفاده از حلال‌ها و مواد شیمیایی در محیط‌های پرتراکم، و آموزش کارکنان برای کاهش مواجههٔ مستقیم با منابع آلاینده باشند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان بررسی غلظت مواد آلی فرآر در هوای بخش‌های مختلف یکی از بیمارستان‌های غیردولتی استان خراسان رضوی و ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با این آلاینده‌ها در سال ۱۴۰۳ است. این طرح مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی سبزوار و با حمایت این دانشگاه و با همکاری بیمارستان مادر انجام شد.

تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافعی با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

حمایت مالی

معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی سبزوار از مطالعه حاضر در قالب طرح منتج از پایان نامه کد ۴۰۲۰۰۵ پشتیبانی مالی کرده است.

سهم نویسندگان

نویسندگان سهم یکسانی در انجام این مطالعه داشته اند.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش تحت نظارت کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی سبزوار (IR.MEDSAB.REC.1402.115) و با رعایت کامل ضوابط اخلاقی انجام پذیرفت.

REFERENCES

1. El-Sharkawy MF, Noweir ME. Indoor air quality levels in a University Hospital in the Eastern Province of Saudi Arabia. *J Fam Community Med.* 2014;**21**(1):39-47. PMID: 24696632 DOI: 10.4103/2230-8229.128778
2. Leung M, Chan AH. Control and management of hospital indoor air quality. *Med Sci Monit.* 2006;**12**(3):SR17-SR23. PMID: 16501436
3. Larypoor M, Soltani M. Overview of air microbial contamination and prevention methods of nosocomial infections. 2010. Link
4. Noroozi R, Noorisepehr M. Qualitative and quantitative evaluation of air pollution in the Panjom Azar and Sayyad Shirazi hospitals of Gorgan. *J Environ Health Eng.* 2016;**3**(2):155-168. Link
5. Chamseddine A, El-Fadel M. Exposure to air pollutants in hospitals: indoor-outdoor correlations. *WIT Trans Built Environ.* 2015;**168**:707-716. DOI: 10.2495/AIR150591
6. Ayodele C, Fakinle B, Jimoda L, Sonibare J. Investigation on the ambient air quality in a hospital environment. *Cogent Environ Sci.* 2016;**2**(1):1215281. DOI: 10.1080/23311843.2016.1215281
7. Hu R, Liu G, Zhang H, Xue H, Wang X. Levels, characteristics and health risk assessment of VOCs in different functional zones of Hefei. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018;**160**:301-307. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.04.047
8. Tong R, Zhang L, Yang X, Liu J, Zhou P, Li J. Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing. *J Clean Prod.* 2019;**208**:1096-1108. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.157
9. Farshad A, Gholami H, Farzadkia M, Mirkazemi R, Kermani M. The safety of non-incineration waste disposal devices in four hospitals of Tehran. *Int J Occup Environ Health.* 2014;**20**(3):258-263. DOI: 10.1179/2049396714Y.0000000108
10. Hadar J, Tirosh T, Grafstein O, Korabelnikov E. Autoclave emissions-hazardous or not. *Appl Biosaf.* 1997;**2**(3):44-51. Link
11. Hazrati S, Rostami R, Fazlzadeh M. BTEX in indoor air of waterpipe cafés: levels and factors influencing their concentrations. *Sci Total Environ.* 2015;**524-525**:347-353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.025
12. Bakdash A. Shammah (smokeless tobacco) and public health. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2017;**18**(5):1183-1190. DOI: 10.22034/APJCP.2017.18.5.1183
13. International Agency for Research on Cancer. Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for IARC Monographs during 2010-2014. Lyon (France): IARC; 2008. Link
14. Brajenović N, Karačonji IB, Bulog A. Evaluation of urinary BTEX, nicotine, and cotinine as biomarkers of airborne pollutants in nonsmokers and smokers. *J Toxicol Environ Health A.* 2015;**78**(17):1133-1136. DOI: 10.1080/15287394.2015.1102986
15. Alghamdi MA, Khoder MI, Abdelmaksoud AS, Harrison RM, Hussein T, Lihavainen H, et al. Seasonal and diurnal variations of BTEX and their potential for ozone formation in the urban background atmosphere of the coastal city Jeddah, Saudi Arabia. *Air Qual Atmos Health.* 2014;**7**(4):467-480. DOI: 10.1007/s11869-014-0275-7
16. Fazlzadeh Davil M, Rostami R, Zarei A, Feizizadeh M, Mahdavi M, Mohammadi A, et al. A survey of 24-hour variations of BTEX concentration in the ambient air of Tehran. *J Babol Univ Med Sci.* 2011;**14**(1):50-55. Link
17. 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. *Sci Total Environ.* 2011;**409**(3):452-459. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.10.021
18. Song HN, Kim CH, Lee WY, Cho SH. Simultaneous determination of volatile organic compounds with a wide range of polarities in urine by headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography/mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2017;**31**(7):613-622. DOI: 10.1002/rcm.7831
19. Alwis KU, Blount BC, Britt AS, Patel D, Ashley DL. Simultaneous analysis of 28 urinary VOC metabolites using ultra-high performance liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry (UPLC-ESI/MSMS). *Anal Chim Acta.* 2012;**750**:152-160. DOI: 10.1016/j.aca.2012.08.036
20. Tunsaringkarn T, Siriwong W, Rungsiyothin A, Nopparatbundit S. Occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds in Bangkok, Thailand. *Int J Occup Environ Med.* 2013;**3**(3):117-125. Link
21. Fustinoni S, Rossella F, Campo L, Mercadante R, Bertazzi PA. Urinary BTEX, MTBE and naphthalene as biomarkers to gain environmental exposure profiles of the general population. *Sci Total Environ.* 2010;**408**(14):2840-2849. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.04.033
22. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. Risk assessment in the federal government: managing the process. New York: Routledge; 1983. Link
23. Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Chamgordani SB, Gharibi V. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. *J Health Saf Work.* 2018;**8**(3). Link
24. Golbabaie F, Eskandari D, Azari M, Jahangiri M, Rahimi A, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. *Iran Occup Health.* 2012; **9**(3). Link
25. Dehghani M, Fazlzadeh M, Sorooshian A, Tabatabaee HR, Miri M, Baghani AN, et al. Characteristics and health effects of BTEX in a hot spot for urban pollution. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018;**155**:133-143. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.02.016
26. Kheirmand M, Barkhordari A, Mosaddegh MH, Farajzadegan Z. Determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in administration room's air of hospitals using solid phase microextraction/gas chromatography/flame ionization detector. *Int J Environ Health Eng.* 2014;**3**(1):27. Link
27. Moslem AR, Rezaei H, Yektay S, Miri M. Comparing BTEX concentration related to surgical smoke in different operating rooms. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020;**203**:111027. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111027
28. Kalantari S, Chehrehgosha M, Royani Z, Seyedghasemi N, Mehdinejad MH. Determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene compounds in surgical smoke and its relationship with body mass index and duration of surgery. *J Clin Basic Res.* 2022;**6**(2):36-44. Link
29. Lü H, Cai QY, Wen S, Chi Y, Guo S, Sheng G, et al. Carbonyl compounds and BTEX in the special rooms of hospital in Guangzhou, China. *J Hazard Mater.* 2010;**178**(1-3):673-679. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.01.106
30. Vatani SJ, Kardan YH, Seyyed SM. Surveying the

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]

emissions of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in indoor air of Emam Hossien Hospital of Shahrood. 2015. Link
31. Lü H, Wen S, Feng Y, Wang X, Bi X, Sheng G, et al. Indoor and outdoor carbonyl compounds and BTEX in the hospitals of Guangzhou, China. *Sci Total Environ.* 2006;**368**(2-3):574-584. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.03.044
32. New Jersey Department of Environmental Protection. New Jersey Department of Environmental Protection. Trenton (NJ): NJDEP; 1996. Link
33. Ong CN, Chia SE, Phoon WH, Tan KT, Kok PW. Monitoring of exposure to cyclohexanone through the analysis of breath and urine. *Scand J Work Environ Health.* 1991;**17**(6):430-435. PMID: 1787758
34. Dewenter R, Jaschinski T, Kuchinke BA. Hospital market concentration and discrimination of patients. *J Contextual Econ.* 2013;**133**(3):345-374. DOI: 10.3790/schm.133.3.345
35. Rautiainen P, Hyttinen M, Ruokolainen J, Saarinen P, Timonen J, Pasanen P. Indoor air-related symptoms and volatile organic compounds in materials and air in the hospital environment. *Int J Environ Health Res.* 2019;**29**(5):479-488. DOI: 0.1080/09603123.2019.1595878
36. Niaz K, Bahadar H, Maqbool F, Abdollahi M. A review of environmental and occupational exposure to xylene and its health concerns. *EXCLI J.* 2015;**14**:1167-1186. DOI: 10.17179/excli2015-539
37. Ball K. Surgical smoke evacuation guidelines: compliance among perioperative nurses. *AORN J.* 2010;**92**(2):e1-e23. DOI: 10.1016/j.aorn.2010.05.007
38. Rafiee A, Delgado-Saborit JM, Gordi E, Quémerais B, Moghadam VK, Lu W, et al. Use of urinary biomarkers to characterize occupational exposure to BTEX in healthcare waste autoclave operators. *Sci Total Environ.* 2018;**631**:857-865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.307
39. Chin JY, Batterman SA, Northrop WF, Bohac SV, Assanis DN. Gaseous and particulate emissions from diesel engines at idle and under load: comparison of biodiesel blend and ultralow sulfur diesel fuels. *Energy Fuels.* 2012;**26**(11):6737-6748. DOI: 10.1021/ef301489j
40. Cruz LP, Alve LP, Santos AV, Esteves MB, Gomes IV, Nunes LS. Assessment of BTEX concentrations in air ambient of gas stations using passive sampling and the health risks for workers. *J Environ Prot.* 2017;**8**(1):12-25. DOI: 10.4236/jep.2017.81002
41. Cerón Bretón JG, Cerón Bretón RM, Martínez Morales S, Kahl JD, Guarnaccia C, Lara Severino RC, et al. Health risk assessment of the levels of BTEX in ambient air of one urban site located in Leon, Guanajuato, Mexico during two climatic seasons. *Atmosphere.* 2020;**11**(2):165. DOI: 10.3390/atmos11020165

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-19]