DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 21, No. 3, Autumn

Received: 05.02.2024 Accepted: 26.01.2025 Published: 07.10.2025

Monitoring Important Indoor Air Quality Parameters in the Intensive Care Units of Selected Hospitals in Isfahan City, Iran, and Their Relationship with Environmental Parameters

Zahra Torabi[1], Yaghoub Hajizadeh[2], Farzaneh Mohammadi[3], Seyed Alireza Babaee[4]

Original Article

Abstract

Background: Improving air quality inside hospitals is very important for protecting the health of patients, staff, and visitors and controlling hospital infections. This study aimed to monitor indoor air quality parameters, including bacteria, particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$), volatile organic compounds (VOCs), carbon monoxide (CO), and carbon dioxide (CO_2) in the intensive care units (ICUs) of selected hospitals in Isfahan City, Iran, as well as investigating their relationship with environmental parameters.

Methods: This descriptive cross-sectional study was conducted during two seasons, autumn 2022 and spring 2023. A total of 72 samples were collected and measured from 18 ICUs in 7 hospitals. The concentrations of VOCs, CO_2, CO, PM_{10}, and $PM_{2.5}$ were measured with direct reading devices. An impinger containing phosphate buffer was used for sampling airborne bacteria, and tryptic soy agar (TSA) containing nystatin was used as culture media. Bacterial colonies were examined morphologically by Gram staining and observed under a microscope. Effective environmental factors were examined based on indoor air quality standards, and their relationship with air quality parameters was evaluated through statistical methods of analysis of variance (ANOVA) and Pearson correlation.

Findings: The average of total bacteria, gram-positive bacteria, and gram-negative bacteria were 33.02, 31.52, and 1.52 CFU/m^3, respectively. The average concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were 7.76 and 5.80 µg/m^3, respectively, and the average concentrations of VOCs, CO_2, and CO were determined to be 0.08, 141.05 ppm, and undetectable, respectively. Based on statistical analyses, no significant relationship was found between the concentrations of PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO_2, and CO and the level of bacteria, but the level of other air quality parameters was significantly related to some environmental factors such as temperature, humidity, air conditioning, and bed occupancy.

Conclusion: Although the values of some air quality parameters were higher in some hospitals, especially in the autumn, they were generally not higher than the World Health Organization (WHO)-recommended standard limits. The suitability of air quality, especially in terms of the chemical parameters, indicates the improvement of hospitals, the presence of a ventilation system, an appropriate cooling and heating system, continuous washing of tools and equipment, and the prevalence of positive air pressure in the wards. However, to further improve the air quality of ICUs, it is necessary to comply with the standard number of beds, establish positive air pressure, and limit visits by relatives.

Keywords: Indoor air quality; Bacteria; Particulate matter; Volatile organic compounds; Intensive care unit

Citation: Torabi Z, Hajizadeh Y, Mohammadi F, Babaee SA. **Monitoring Important Indoor Air Quality Parameters in the Intensive Care Units of Selected Hospitals in Isfahan City, Iran, and Their Relationship with Environmental Parameters.** J Health Syst Res 2025; 21(3): 330-9.

1- MSc Student, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health AND Research Institute for Primordial Prevention of Non-Communicable Diseases, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- PhD Student, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Yaghoub Hajizadeh; Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health AND Research Institute for Primordial Prevention of Non-Communicable Diseases, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Email: y_hajizadeh@hlth.mui.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613 Published by Vesnu Publications

پایش شاخص‌های مهم کیفیت هوای داخل در بخش‌های مراقبت ویژه بیمارستان‌های منتخب شهر اصفهان و ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی

زهرا ترابی[۱]، یعقوب حاجی‌زاده[۲]، فرزانه محمدی[۳]، سید علیرضا بابایی[۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: ارتقای کیفیت هوای داخلی بیمارستان‌ها در جهت حفاظت از سلامت بیماران، کارکنان و مراجعان و کنترل عفونت‌های بیمارستانی بسیار مهم است. پژوهش حاضر با هدف پایش شاخص‌های کیفی هوا شامل باکتری‌ها، ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$)، ترکیبات آلی فرار (Volatile organic compounds یا VOCs)، مونوکسیدکربن (Carbon monoxide یا CO) و دی‌اکسیدکربن (Carbon dioxide یا CO_2) در بخش‌های مراقبت ویژه (Intensive care unit یا ICU) بیمارستان‌های منتخب شهر اصفهان و بررسی ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی انجام شد.

روش‌ها: این مطالعه مقطعی- توصیفی در دو فصل پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ انجام شد. در مجموع، از ۷۲ مورد نمونه‌برداری در ۱۸ ICU در ۷ بیمارستان سنجش به عمل آمد. غلظت VOCs، CO_2، CO، PM_{10} و $PM_{2.5}$ با دستگاه‌های قرائت مستقیم اندازه‌گیری گردید. جهت نمونه‌برداری از باکتری‌های هوا، از ایمپینجر حاوی محلول جاذب بافر فسفات (Phosphate buffered saline یا PBS) و برای کشت از محیط تریپتیک سوی آگار (Tryptic Soy Agar یا TSA) حاوی نیستاتین استفاده شد. کلونی باکتری‌ها با روش رنگ‌آمیزی گرم و رؤیت در زیر میکروسکوپ مورد بررسی مورفولوژی قرار گرفت. عوامل محیطی مؤثر بر اساس استانداردهای کیفیت هوای داخلی ساختمان بررسی و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های کیفی هوا از طریق آزمون ANOVA و همبستگی Pearson ارزیابی گردید.

یافته‌ها: میانگین کل باکتری‌ها، باکتری‌های گرم مثبت و باکتری‌های گرم منفی به ترتیب ۳۳/۰۲، ۳۱/۵۲ و ۱/۵۲ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب به دست آمد. میانگین غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز به ترتیب ۷/۷۶ و ۵/۸۰ میکروگرم در مترمکعب و میانگین غلظت‌های VOCs، CO_2 و CO به ترتیب ppm ۰/۰۸، ۱۴۱/۰۵ و غیر قابل تشخیص گزارش گردید. ارتباط معنی‌داری میان غلظت PM_{10}، $PM_{2.5}$، CO_2 و CO و سطح باکتری‌ها مشاهده نشد، اما ارتباط معنی‌داری بین سطح سایر شاخص‌های کیفی هوا با عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، تهویه هوا و درصد اشغال تخت‌ها وجود داشت.

نتیجه‌گیری: اگرچه مقادیر بعضی شاخص‌های کیفی هوا در بعضی بیمارستان‌ها به ویژه در فصل پاییز بالاتر بود، اما از حدود استاندارد پیشنهادی World Health Organization (WHO) بیشتر نبود. مناسب بودن کیفیت هوا به خصوص از نظر شاخص‌های شیمیایی، نشان دهنده بهسازی بیمارستان‌ها، وجود سیستم تهویه، سیستم سرمایشی و گرمایشی مناسب، شستشوی مداوم ابزار و تجهیزات و حاکم بودن فشار مثبت هوا در بخش‌ها می‌باشد، اما برای ارتقای هرچه بیشتر کیفیت هوای ICU، رعایت استاندارد تعداد تخت‌ها، برقراری فشار مثبت هوا و محدودیت ملاقات توسط بستگان ضروری است.

واژه‌های کلیدی: کیفیت هوای داخل؛ باکتری‌ها؛ ذرات معلق؛ ترکیبات آلی فرار؛ بخش‌های مراقبت ویژه

ارجاع: ترابی زهرا، حاجی‌زاده یعقوب، محمدی فرزانه، بابایی سید علیرضا. **پایش شاخص‌های مهم کیفیت هوای داخل در بخش‌های مراقبت ویژه بیمارستان‌های منتخب شهر اصفهان و ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۴؛ ۲۱ (۳): ۳۳۹-۳۳۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۷ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۷/۱۵

مقدمه

امروزه آلودگی هوای تنفسی داخل ساختمان با ذرات معلق ریز، گازها و میکروارگانیسم‌های مختلف، یکی از تهدیدهای جدی برای سلامت بیماران و کارکنان بیمارستان محسوب می‌شود (۱). اهمیت کیفیت هوای داخل به این دلیل است که افراد زمان زیادی را در محیط‌های داخل ساختمان سپری می‌کنند (۲). کیفیت هوای داخلی بیمارستان‌ها بخش مهمی از پروتکل‌های مدیریت بیمارستان می‌باشد؛ چرا که منابع متنوعی از آلاینده‌ها را دارا هستند و بیماران ممکن است چندین روز در بیمارستان اقامت داشته باشند. علاوه بر این، افراد شاغل و همراهان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و پژوهشکده پیشگیری اولیه از بیماری‌های غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- دانشجوی دکتری تخصصی، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: یعقوب حاجی‌زاده؛ استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و پژوهشکده پیشگیری اولیه از بیماری‌های غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
Email: y_hajizadeh@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

نیز در معرض تماس با هوای آلوده بیمارستان قرار می‌گیرند (۳). قدیمی بودن سازه‌های بیمارستان‌ها، نداشتن سیستم‌های تهویه مطبوع و عدم رعایت مسابل ایمنی و بهداشت در کاربرد مواد ضد عفونی‌کننده، منجر به پایین آمدن کیفیت هوای داخلی بعضی بیمارستان‌ها می‌شود (۴). توجه به کیفیت هوا و نظارت بر آن در محیط‌های مراقبت‌های بهداشتی به ویژه در واحدهای مراقب ویژه (Intensive care unit یا ICU) که در آن بیماران اغلب آسیب‌پذیر هستند و به شرایط مطلوب برای بهبودی نیاز دارند، بسیار حیاتی است (۵).

مطالعات گسترده اپیدمیولوژیک، ارتباط میان آلودگی هوای محیطی به ویژه ذرات معلق ریز را با شیوع مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی- عروقی نشان داده است (۶). ذرات با قطر آئرودینامیک کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) به خصوص کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) به علت توانایی نفوذ به داخل آلوئول‌های ریوی، دارای بیشترین اثرات بهداشتی هستند (۷). ضد عفونی‌کننده‌ها، گازهای بیهوشی، محصولات دارویی و فعالیت‌هایی که در بیمارستان‌ها انجام می‌شود، ترکیبات آلی فرار (VOCs یا Volatile organic compounds) را به محیط بیمارستان وارد می‌کنند (۸). سطح گاز دی‌اکسید کربن (Carbon dioxide یا CO_2) تحت تأثیر عوامل بسیاری مانند فعالیت انسان، تراکم افراد، عملکرد نامناسب سیستم‌های تهویه و حتی غلظت آن در فضای بیرون می‌باشد (۹). غلظت بالای CO_2 سبب ایجاد علایمی همچون سردرد، تحریک چشم، تحریک راه هوایی فوقانی و ایجاد خستگی می‌شود (۱۰). مونوکسید کربن (Carbon monoxide یا CO) جزء گازهای خروجی ناشی از احتراق ناقص و منبع اصلی آن در بیمارستان‌ها از نفوذ هوای بیرونی است. کاهش انتشار آن برای بهبود کیفیت هوای داخلی به دلیل ایجاد مشکلات سلامتی برای افراد بسیار مهم می‌باشد (۱۱). بیوآئروسل‌ها شامل باکتری‌های زنده و مرده (انواع بیماری‌زا و غیر بیماری‌زا)، آلرژن‌هایی با وزن مولکولی بالا، آندوتوکسین باکتریایی، سموم قارچی و پپتیدوگلیکان‌ها می‌باشند که حدود ۲۵ درصد حجمی ذرات منتقل شونده توسط هوا را تشکیل می‌دهند (۱۲). منبع و محل انتشار میکروارگانیسم‌های موجود در محیط بیمارستان ممکن است شخص بیمار و یا لباس آلوده باشد که در اثر فعالیت افراد جدا و به هوا پراکنده می‌شود. همچنین، سیستم‌های تهویه، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در بیمارستان‌ها از منابع انتشار بسیاری از عوامل بیماری‌زا به شمار می‌رود (۱۳). به طور کلی، میزان رطوبت، وسعت فضا و وضعیت تهویه از عوامل مؤثر بر تراکم بیوآئروسل‌ها است که برای کنترل آن باید نقش هر کدام از این عوامل بررسی و در برنامه‌های کاهش آلودگی به همه آن‌ها توجه گردد (۱۴). سیستم‌های نامناسب گرمایشی و یا سرمایشی هوا، میزان تهویه نامناسب، تجمع بیش از اندازه افراد، سیستم تصفیه هوای ضعیف و رطوبت بالا از عوامل خطرساز در هوای داخل بیمارستان‌ها است (۱۶، ۱۵).

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که عفونت‌های بیمارستانی در افزایش میزان مرگ و میر دخیل می‌باشد و بسیاری از این عفونت‌ها توسط پاتوژن‌های موجود در هوا منتقل می‌شود که در این میان، ICU بیمارستان‌ها از پرخطرترین مکان‌ها برای ابتلا به عفونت به شمار می‌روند (۱۷). بر اساس آمار سازمان جهانی بهداشت (Word Health Organization یا WHO)، سالانه ۱/۱ میلیون عفونت بیمارستانی در دنیا رخ می‌دهد. از هر ۲۹ نفر بستری، ۱ نفر دچار عفونت بیمارستانی می‌شود که این اتفاق سالانه منجر به مرگ ۹۹ هزار نفر می‌شود و حدود ۳۲-۲۰ میلیون دلار هزینه به جامعه تحمیل می‌کند. این عفونت‌ها در ایالات متحده آمریکا باعث مرگ ۸۰ هزار نفر در سال می‌شود (۱۸). این رقم درکشورهای در حال توسعه بیشتر است؛ به طوری که پنجمین علت مرگ و میر بیمارستانی می‌باشد (۱۹). کیفیت هوای داخلی در بعضی بخش‌های بیمارستان‌ها ممکن است به دلیل تعداد بالای افراد، ناکافی بودن تهویه هوا و رطوبت، پایین باشد (۲۰). همچنین، رفت و آمد افراد و استفاده از مواد ضد عفونی‌کننده و پاک‌کننده، منجر به افزایش غلظت VOCs و $PM_{2.5}$ هوای داخل بیمارستانی می‌شود (۲۱). در مطالعه‌ای در بیمارستان نانجینگ چین، غلظت گاز CO_2 هوا در فصل گرما به دلیل بسته شدن درب و پنجره‌ها برای حفظ دمای مناسب، بسیار بالاتر از فصل سرما گزارش گردید (۳). در تحقیقی در تهران مشخص شد که بخش‌های کودکان به علت رفت و آمد افراد و سیستم تهویه ناکافی، از آلوده‌ترین بخش‌ها می‌باشد (۲۲). نتایج پژوهشی در بیمارستان قم، آلوده‌ترین بخش را بخش عفونی با میانگین باکتری ۳۰۰ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب و کمترین آلودگی را اتاق عمل با میانگین ۹۴ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب نشان داد (۲۳). ترافیک و رفت و آمد در مسیرهای دسترسی بیمارستان، بر کیفیت هوای داخلی به خصوص $PM_{2.5}$ تأثیر مستقیمی دارد و سبب افزایش غلظت این ذرات می‌شود (۲۴). از آن‌جایی که کیفیت هوای داخلی هم از نظر میکروبی و هم از نظر شیمیایی، منجر به شیوع انواع بیماری‌ها و عفونت‌های بیمارستانی می‌شود و عدم توجه به عوامل محیطی بر کیفیت هوای داخلی تأثیر می‌گذارد و با توجه به این که تاکنون در سطح استان اصفهان ارزیابی کیفی هوای بیمارستان‌ها و ارتباط آن با عوامل محیطی انجام نشده است، پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت باکتری‌ها، VOCs، ذرات معلق، گازهای CO_2 و CO در هوای ICU بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و ارتباط آن با عوامل محیطی و یافتن علل آلودگی انجام شد.

روش‌ها

زمان و نقاط نمونه‌برداری: این مطالعه به صورت مقطعی در دو فصل پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ از هوای ۱۸ واحد ICU در ۷ بیمارستان منتخب شهر اصفهان شامل بیمارستان‌های الزهرا (س) (شماره ۱)، خورشید (شماره ۲)، عیسی بن مریم (شماره ۳)، امید (شماره ۴)، امام حسین (ع) (شماره ۵)، آیت‌اله کاشانی (شماره ۶) و امام موسی کاظم (ع) (شماره ۷) انجام شد.

حجم نمونه: ۷۲ نمونه با در نظر گرفتن سطح معنی‌داری ۵ درصد و توان ۸۵ درصد، بر اساس میانگین تراکم کل باکتری بر حسب واحد تشکیل کلونی در مترمکعب (همبستگی بین میزان انتشار باکتری‌ها و شرایط محیطی) انتخاب گردید، اما در نهایت، حجم نمونه ۶۱ برآورد شد (رابطه ۱).

$$u_p = \frac{1}{2}\ln\frac{1+\rho}{1-\rho} = \frac{1}{2}\ln\frac{1+0.34}{1-0.34} = 0.354 \text{ ، } n = \frac{(z_{1-\alpha}+z_{1-\beta})^2}{u_p^2} + 3 = \frac{(1.64+1.06)^2}{(0.354)^2} + 3 = 61 \quad \text{رابطه ۱}$$

جهت اطمینان، با افزایش حدود ۱۵ درصد، نمونه تا ۷۲ عدد افزایش داده شد که ۳۶ نمونه در فصل پاییز و ۳۶ نمونه در فصل بهار جمع‌آوری گردید. همچنین، ارتباط بین غلظت شاخص‌های کیفی هوا و عوامل محیطی از جمله دما، رطوبت، فشار هوا، تعداد کارکنان، ضد عفونی‌کننده دست، گندزدایی کف، ماده شوینده ملحفه و پتو، نوع سیستم گرمایشی و سرمایشی، وجود یا عدم وجود تصفیه هوا، تعداد تخت، وسعت فضا، تهویه هوا، تعداد بیماران و عیادت‌کنندگان

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

در ICUها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نمونه‌برداری از باکتری‌های هوا: جهت سنجش میکروبی هوا، نمونه‌برداری به روش فعال و با استفاده از ایمپینجر حاوی محلول جاذب بافر فسفات (Phosphate buffered saline یا PBS) صورت گرفت. هوا از طریق پمپ با دبی ۱۲/۵ لیتر در دقیقه و به مدت ۳ ساعت از محتوای ایمپینجر عبور داده شد. نمونه‌برداری هوا در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین برای شبیه سازی ناحیه تنفسی و با فاصله بیش از ۱ متر از دیوارها انجام شد (۲۵). نمونه‌ها درون جعبه سرد با دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و به آزمایشگاه میکروبیولوژی انتقال یافت. قبل از انجام نمونه‌برداری، به منظور استریل‌سازی، ایمپینجرها درون فور قرار داده شد. محلول PBS استریل شده از طریق اتوکلاو درون ایمپینجر ریخته و از طریق جعبه سرد به محل نمونه‌برداری منتقل شد. پمپ مورد استفاده قبل از هر نمونه‌برداری از طریق فلومتر کالیبره گردید. جهت کشت باکتری، از محیط تریپتیک سوی آگار (Tryptic Soy Agar یا TSA) که به آن آنتی‌بیوتیک ضد قارچی نیستاتین اضافه شده بود، استفاده گردید. کلونی باکتری‌ها با روش رنگ‌آمیزی گرم و رؤیت در زیر میکروسکوپ از نظر مورفولوژی مورد بررسی قرار گرفتند (۲۶). لازم به ذکر است که قبل از نمونه‌برداری، تمامی وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده با محلول الکل ۷۰ درصد استریل گردید (۲۷).

نمونه‌برداری سایر شاخص‌های کیفی هوا: هم‌زمان با نمونه‌برداری میکروبی از هوای محیطی ICUها، عوامل مرتبط با کیفیت هوای داخلی شامل گاز CO، CO_2، VOCs، PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری ذرات، از دستگاه شمارش ذرات (GRIMM-1.109، آلمان)، برای اندازه‌گیری گازهای CO_2 و CO از دستگاه گازسنج محیطی (مدل Kimo-110، فرانسه) و جهت سنجش VOCs نیز از دستگاه سنجش VOCs (مدل Phochek-Tiger، شرکت Ion Science، انگلستان) استفاده گردید.

با توجه به این که متغیرهای مورد بررسی به صورت کمی و کیفی اسمی بود، ابتدا نرمال توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی شد. طبق این آزمون، از بین شاخص‌های کمی، $PM_{2.5}$، PM_{10} و تعداد بیمار توزیع نرمال داشت و سایر متغیرها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد. تأثیر فصل بر مقادیر کلیه شاخص‌های کمی غیر نرمال با استفاده از آزمون Mann-Whitney (ارتباط میان فصل با متغیرهای کمی) و اثر فصل بر مقادیر تمام شاخص‌های طبقه‌بندی شده اسمی با استفاده از آزمون Fisher's exact (ارتباط میان فصل و متغیرهای اسمی) انجام شد. به منظور ارتباط‌سنجی بین باکتری‌ها و سایر متغیرها، از آزمون‌هایی مانند Pearson (برای ارتباط میان دو متغیر نرمال)، آزمون Spearman (جهت ارتباط بین متغیر کمی غیر نرمال) و آزمون Eta (برای متغیرهای کیفی اسمی) استفاده گردید. داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ (version 26, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین، جهت بررسی میزان معنی‌داری از $P < ۰/۰۵$ (در سطح ۹۵ درصد اطمینان) و $P < ۰/۰۱$ (در سطح ۹۹ درصد اطمینان) استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین غلظت شاخص‌های کیفی هوا در پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ در جدول ۱ ارایه شده است. میانگین غلظت شاخص‌های کیفی هوا در فصل پاییز نسبت به فصل بهار بیشتر بود، اما غلظت CO در تمام ۱۸ بخش ICU در هر بار نمونه‌برداری در پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ در حد قابل تشخیص نبود.

میانگین غلظت شاخص‌های کیفی هوا در ICUها به تفکیک بیمارستان‌ها در پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ که شامل باکتری‌های گرم مثبت، باکتری‌های گرم منفی، CO_2، CO، VOCs، PM_{10} و $PM_{2.5}$ بود، در جدول ۲ ارایه شده است.

مقادیر آمار توصیفی متغیرهای کمی هوای ICU کل بیمارستان‌ها (میانگین، میانه، انحراف معیار، حداکثر و حداقل شاخص‌ها) در جدول ۳ ارایه شده است. اگرچه در بخش ICU ملاقات ممنوع است، اما در مواردی به دلیل نیاز بیماران، به ازای هر بیمار یک همراه اجازه حضور داشت که در مطالعه حاضر همراه بیمار به عنوان ملاقات‌کننده در نظر گرفته شد.

متغیرهای اسمی مربوط به عوامل محیطی و درصد استفاده از آن‌ها در بخش‌های ICU در طول مدت پژوهش در شکل ۱ ارایه شده است.

بر اساس داده‌های به دست آمده از شرایط محیطی ICUها، جهت ضد عفونی‌کننده دست، ۴۴/۴ درصد از محلول سپتی سیدین پی سی (بر پایه اتانول ۶۰ درصد)، ۳۸/۹ درصد از اتانول ۷۰ درصد، ۱۱/۱ درصد از محلول هندراپ (بر پایه اتانول ۸۵ درصد) و ۵/۶ درصد از محلول سپتی‌اسکراب (کلرهگزیدین ۴ درصد) استفاده شده بود.

جدول ۱. میانگین غلظت شاخص‌های کیفی هوا در کل بخش‌های مراقبت ویژه بیمارستان‌ها طی زمان‌های مورد بررسی

شاخص‌های کیفی هوا	پاییز سال ۱۴۰۱ (میانگین ± انحراف معیار)	بهار سال ۱۴۰۲ (میانگین ± انحراف معیار)
تعداد کل باکتری‌ها (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	٤٣/٦١ ± ٥٤/٧٦	٢٢/٤٤ ± ٢٣/٠٩
باکتری‌های گرم مثبت (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	٤٢/٢٧ ± ٥٢/٩٣	٢٠/٧٧ ± ٢٢/٤٦
باکتری‌های گرم منفی (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	١/٣٩ ± ٢/٤٢	١/٦٧ ± ٢/٣٧
(ppm) VOCs	٠/٠٨ ± ٠/٠٨	٠/٠٤ ± ٠/٠٦
(ppm) CO_2	١٤٨/٥٠ ± ٢٩/٩٦	١٣٣/٦١ ± ٢٣/٢٦
(ppm) CO	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص
$PM_{2.5}$ (میکروگرم در مترمکعب)	٦/٧٧ ± ١/٤٠	٤/٨٤ ± ١/١٩
PM_{10} (میکروگرم در مترمکعب)	٨/٨١ ± ١/٧٠	٦/٧٢ ± ١/٩٣

VOCs: Volatile organic compounds; CO_2: Carbon dioxide; CO: Carbon monoxide

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

جدول ۲. میانگین شاخص‌های کیفی هوا در بیمارستان‌های منتخب طی زمان مورد بررسی

فصل	بیمارستان	شاخص					
		باکتری‌های گرم مثبت (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	باکتری‌های گرم منفی (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	CO_2 (ppm)	VOCs (ppm)	$PM_{2.5}$ (میکروگرم در مترمکعب)	PM_{10} (میکروگرم در مترمکعب)
پاییز	۱	۸۵/۰۰ ± ۱/۸۰	۳/۰۰ ± ۱/٤۰	۹۸/۰۰ ± ۲/۹۰	۰/۱۷ ± ۰/۰٤	۸/۰۰ ± ۲/۵۰	٦/۰۰ ± ۱/۹۰
۱٤۰۱	۲	۱۵/۰۰ ± ۳/٤۰	۱//۰۰ ± ۳/۱۰	۱۸۲/۰۰ ± ۱/۹۰	۰/۰۱ ± ۰/۰٤	۹/۰۰ ± ۲/۱۰	۹/۰۰ ± ۱/۳۰
	۳	۵/۰۰ ± ۱/۱۱	۲/۰۰ ± ٤۱/۰۰	۱٤۵/۰۰ ± ۳۱/٦۱	۰/۰۱ ± ۰/۱٤	۵/۷۰ ± ۱/۲۲	۱۱/۰۰ ± ۱/۰۱
	٤	۲۰/۰۰ ± ۲/۱۷	۰	۱۳۲/۰۰ ± ۱٤/۱۷	۰/۰۷ ± ۰/۰۱	۸/۵۰ ± ۱/٤۰	۹/۰۰ ± ۰/۰۲
	۵	۲۹/۰۰ ± ۱/۰۲	۱/۰۰ ± ۱/۱۰	۱۹۵/۰۰ ± ۳۱/۲٤	۰/۰۷ ± ۰/۱٤	۵/۵۰ ± ۱/۳۵	۸/۰۰ ± ۱/۳۳
	٦	۱۰۰/۰۰ ± ۱۷/۲۰	۰	۱۲۷/۰۰ ± ۳۱/۱۲	۰/۰۹ ± ۰/۰٤	٦/۰۰ ± ۱/۱۰	۹/۰۰ ± ۱/۰٤
	۷	۷/۰۰ ± ۱/۰٤	۲/۰۰ ± ۱/۰۱	۱۳۵/۰۰ ± ۳۲/۱۵	۰/۱۵ ± ۰/۰۸	۷/۰۰ ± ۱/۰۲	۱۰/۰۰ ± ۱/۱۷
بهار	۱	۷۰/۰۰± ۲/۱۰	۱/۰۰ ± ۱/۱۰	۱۳٤/۰۰ ± ۲/۹۰	۰/۱۷ ± ۰/۰٤	۵/۰۰ ± ۲/۵۰	٦/۰۰ ± ۱/۹۰
۱٤۰۲	۲	۲۲/۰۰ ± ۱/۳۰	۲/۰۰ ± ۱/۱۰	۱٤۲/۰۰ ± ۱۲/۱۰	۰/۰۱ ± ۰/۰٤	٦/۰۰ ± ۲/۱۰	۷/۰۰ ± ۱/۳۰
	۳	۱۳/۰۰ ± ۲/۱۳	۲/۱۰ ± ۱/۰۰	۱۲٦/۰۰ ± ۲۹/۲۱	۰/۰۲ ± ۰/۱٤	۲/۷۰ ± ۱/۲٤	۹/۰۰ ± ۱/۰۸
	٤	۱۵/۰۰ ± ۲/۲۱	۲/۰۰ ± ۰/۲۱	۱۲۱/۰۰ ± ۲۱/۳۱	۰/۰۷ ± ۰/۰۱	۸/۰۰ ± ۱/۱۷	۲/۰۰ ± ۱/۱۲
	۵	۷/۰۰ ± ۱/۳۲	۳/۰۰ ± ۱/۲۰	۱۸۱/۰۰ ± ۲٤/۰۸	۰/۰۷ ± ۰/۱٤	٤/۰۰ ± ۱/۱٤	٤/۰۰ ± ۱/۱۱
	٦	۱۰/۰۰ ± ۲/۳٤	۱/۰۰ ± ۰/۲۵	۱۲۱/۰۰ ± ۲۷/۱۱	۰/۰۸ ± ۰/۱٤	۵/۰۰ ± ۰/۹٤	۸/۰۰ ± ۱/۱۰
	۷	۳/۰۰ ± ۲/۲۱	۰	۱۲۷/۰۰ ± ۱۹/۳۷	۰/۱۵ ± ۰/۰۸	۳/۰۰ ± ۱/۰۷	۷/۰۰ ± ۱/۰۱

VOCs: Volatile organic compounds; CO_2: Carbon dioxide

داده‌ها بر اساس میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.

به منظور شستشوی کف، ۴۴/۴ درصد از هیپوکلریت سدیم، ۱۶/۷ درصد از دترجنت (محلول آب و پودرتاید) و ۳۸/۹ درصد از سارفوسپت (نوعی محلول گندزدا بر پایه الکل) استفاده می‌شد. برای شستشوی ملحفه و پتو، ۸۳/۳ درصد از دترجنت و ۱۶/۷ درصد از هیپوکلریت سدیم (در مواردی که ملحفه و پتو آلوده به خون و مواد عفونی باشد) استفاده می‌شد. به منظور استفاده از سیستم گرمایشی، ۳۲/۴ درصد از هواساز، ۶۷/۶ درصد از فن‌کوئل، جهت تهویه هوا ۶۱/۱ درصد از هواساز و ۳۸/۷ درصد از هواکش، برای استفاده از سیستم سرمایشی، ۵۲/۸ درصد از اسپلیت، ۲۵ درصد از چیلر، ۲۲/۲ درصد از فن‌کوئل استفاده می‌شد (شکل ۱).

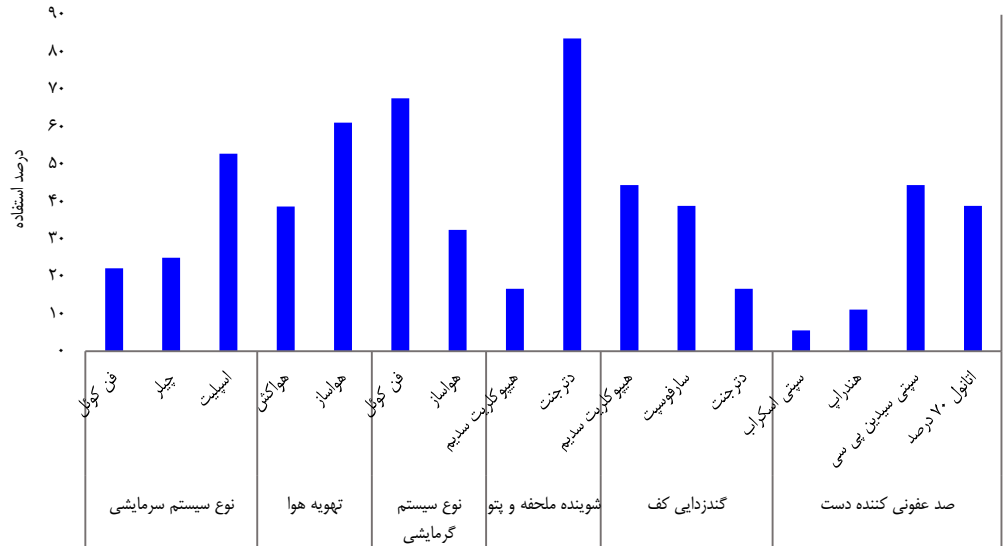
جدول ۳. مقادیر متغیرهای کمی هوا و بعضی عوامل محیطی در Intensive care unit (ICU) بیمارستان‌ها

شاخص	میانه	میانگین ± انحراف معیار	حداقل	حداکثر
تعداد کل باکتری‌ها (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	۱۱/۰۰	۴۲/۰۷ ± ۳۳/۰۲	۳/۰۰	۱۸۲/۰۰
باکتری‌های گرم مثبت (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	۱۰/۵۰	۴۱/۵۳ ± ۳۱/۵۲	۳/۰۰	۱۸۱/۰۰
باکتری‌های گرم منفی (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	۱/۰۰	۲/۳۷ ± ۱/۵۲	۰	۱۰/۰۰
VOCs (ppm)	۰/۰۱	۰/۱۵ ± ۰/۰۸	۰	۰/۹۲
CO_2 (ppm)	۱۳۰/۰۰	۲۷/۴۹ ± ۱۴۱/۰۵	۸۵/۰۰	۱۹۹/۰۰
$PM_{2.5}$ (میکروگرم در مترمکعب)	٦/۰۰	۱/۶۱ ± ۵/۸۰	۳/۰۰	۱۰/۰۰
PM_{10} (میکروگرم در مترمکعب)	۸/۰۰	۲/۰۸ ± ۷/۷۶	۳/۰۰	۱۲/۰۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۷/۰۰	۰/۸۸ ± ۲۶/۸۰	۲٦/۰۰	۲۹/۰۰
رطوبت (درصد)	۳۱/۵۰	۱/۵۷ ± ۳۱/۵۲	۱/۵۷	۳۰/۰۰
تعداد کارکنان (نفر)	۳۵/۰۰	۶/۰۹ ± ۳۴/۲۷	۲۰/۰۰	٤۵/۰۰
تعداد تخت	۱۰/۰۰	۲/۱۱ ± ۱۰/۳۳	۷/۰۰	۱۵/۰۰
مساحت کف ICU (مترمربع)	۱۵۰/۰۰	۱۸/۸۵ ± ۱۶۰/۲۷	۱۳۰/۰۰	۲۰۰/۰۰
تعداد ملاقات‌کننده (نفر)	۳/۰۰	۴/۷۶ ± ۵/۰۰	۱/۰۰	۱٤/۰۰
تعداد بیماران	۹/۰۰	۲/۹۳ ± ۹/۲۲	۳/۰۰	۱۵/۰۰

VOCs: Volatile organic compounds; CO_2: Carbon dioxide; ICU: Intensive care unit

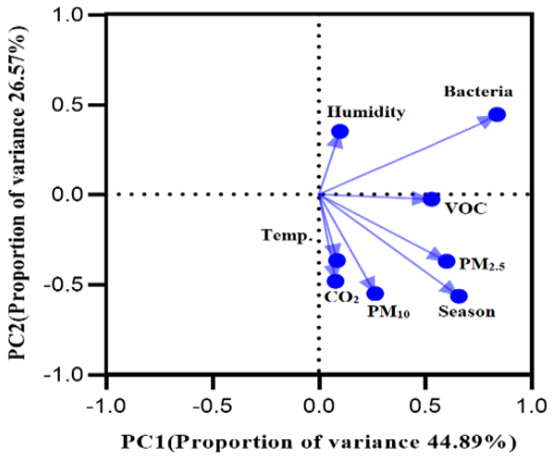
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]



شکل ۱. وضعیت عوامل محیطی و استفاده از گندزداها و شوینده‌ها در Intensive care unit (ICU) بیمارستان‌ها

آنالیز ارتباط‌سنجی داده‌ها با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis یا PCA) در شکل ۲ ارایه شده است. بر این اساس، به طور کلی زاویه میان شاخص‌ها می‌تواند به صورت تند، قائمه و باز تشکیل شود که زاویه تند نشان دهنده ارتباط مثبت میان شاخص‌ها، زاویه باز حاکی از ارتباط منفی میان آن‌ها و زاویه ۹۰ درجه بیان‌کننده عدم ارتباط بین دو شاخص می‌باشد. مقادیر شاخص‌های CO_2، PM_{10}، VOCs و $PM_{2.5}$ با فصل و دما ارتباط مثبتی داشت؛ در حالی که با مقدار رطوبت ارتباط قابل ملاحظه‌ای را نشان نداد (زاویه نزدیک به ۹۰ درجه).



شکل ۲. تحلیل سهم واریانس و تعیین ارتباط بین غلظت باکتری‌ها با سطح شاخص‌های کیفی هوا

به منظور بررسی ارتباط بین میانگین غلظت شاخص‌های کیفی و عوامل محیطی (ضد عفونی دست، گندزدایی کف، شوینده ملحفه و پتو، سیستم گرمایشی، سیستم سرمایشی، تعداد تخت، مساحت سطح، تهویه هوا، تعداد ملاقات‌کنندگان) از آزمون همبستگی Spearman استفاده گردید. بر این اساس، ارتباط مثبت و معنی‌داری میان غلظت باکتری‌های گرم مثبت و تعداد بیماران با همبستگی در سطح ۰/۰۵ و بین باکتری‌های گرم مثبت با مساحت کف و تعداد ملاقات‌کنندگان با همبستگی در سطح ۰/۰۱ مشاهده شد (جدول ۴)؛ در حالی که بین غلظت باکتری‌های هوا و استفاده از سیستم تهویه ارتباط منفی و بدون معنی وجود داشت.

نتایج ارتباط‌سنجی بین غلظت شاخص‌های کیفی هوا و عوامل محیطی در جدول ۵ ارایه شده است. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین VOCs و ضد عفونی‌کننده دست، گندزدایی کف و تعداد بیماران با همبستگی در سطح ۰/۰۱ و با استفاده از پاک‌کننده ملحفه و پتو، ملاقات‌کنندگان، استفاده از سیستم گرمایشی با همبستگی در سطح ۰/۰۵ مشاهده گردید. همچنین، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین CO_2 و تعداد کارکنان بخش‌ها در سطح ۰/۰۱ و تعداد ملاقات‌کنندگان با همبستگی در سطح ۰/۰۵ وجود داشت. ارتباط بین PM_{10} و تعداد ملاقات‌کنندگان در سطح ۰/۰۵ مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). از بین شاخص‌های کیفی هوا، ارتباط معنی‌داری بین فصل و CO_2، PM_{10}، $PM_{2.5}$ و VOCs مشاهده شد. همچنین، میانگین غلظت شاخص‌های کیفی هوا در فصل پاییز با تفاوت بسیار کم، بیشتر از فصل بهار گزارش گردید (جدول ۱).

بحث

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، غلظت‌های به دست آمده از شاخص‌های مورد بررسی در ICUها یکسان نبود و تحت تأثیر عواملی مانند تعداد افراد، نوع بیماران، شرایط اطراف محل نمونه‌برداری، محصولات گندزدایی و زمان نمونه‌برداری قرار داشت. بالاترین غلظت باکتریایی به میزان ۱۸۲ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب در ICU1، ICU2 و ICU3 بیمارستان کاشانی در فصل پاییز ۱۴۰۱ مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند با تراکم بیماران، نوع سیستم تهویه و پاکسازی نامناسب در ارتباط باشد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

جدول ۴. ارتباط بین غلظت باکتری‌های هوا و عوامل محیطی در Intensive care unit (ICU) بیمارستان‌ها

شاخص	میانگین/ استفاده	ضریب همبستگی باکتری‌های گرم منفی (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	ضریب همبستگی باکتری‌های گرم مثبت (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)	ضریب همبستگی کل باکتری‌ها (واحد تشکیل کلونی در مترمکعب)
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۶/۸۰	۰/۱۱۲	۰/۱۴۸	۰/۳۰۳
رطوبت (درصد)	۳۱/۵۲	۰/۱۱۰	۰/۱۱۹	۰/۱۰۴
تعداد کارکنان	۳۴/۲۷	۰/۱۴۲	۰/۱۴۹	۰/۰۸۸
ضد عفونی‌کننده دست	مورد استفاده	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۰/۰۴۹
گندزدایی کف	مورد استفاده	۰/۳۱۲	۰/۲۸۸	۰/۲۴۵
شوینده ملحفه و پتو	مورد استفاده	۰/۰۵۱	۰/۰۴۶	۰/۰۵۰
سیستم گرمایشی	مورد استفاده	۰/۰۰۴	۰/۰۵۱	۰/۱۸۶
سیستم سرمایشی	مورد استفاده	۰/۲۵۵	۰/۲۶۷	۰/۰۹۶
تعداد تخت	۱۰/۳۳	۰/۱۷۷	۰/۱۵۲	۰/۲۳۸
مساحت کف ICU (مترمربع)	۱۶۰/۲۷	**۰/۵۳۵	**۰/۵۷۸	۰/۰۸۵
تهویه هوا	مورد استفاده	−۰/۲۹۰	−۰/۲۵۹	−۰/۳۰۱
تعداد ملاقات‌کنندگان	۵/۰۰	**۰/۶۴۵	**۰/۷۰۲	۰/۲۳۴
تعداد بیماران	۹/۲۲	*۰/۲۳۷	*۰/۲۰۶	۰/۲۵۵

ICU: Intensive care unit

*همبستگی در سطح ۹۵ درصد اطمینان، **همبستگی در سطح ۹۹ درصد اطمینان

علامت منفی نشان دهنده ارتباط معکوس است.

در مطالعه امیری‌مقدم و همکاران که با هدف بررسی آلودگی باکتریایی در هوای بخش‌های داخلی بیمارستان بهشتی کاشان انجام شد، بیشترین آلودگی باکتریایی در بخش طبی بیمارستان مشاهده گردید که با تعداد بیماران و سیستم تهویه ارتباط داشت (۲۸). در تحقیق حاضر، کمترین آلودگی باکتریایی به میزان ۳ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب در بیمارستان شماره ۷ مشاهده شد که این امر می‌تواند به کنترل ورود و خروج کارکنان و بیماران، داشتن سیستم تهویه مناسب و دو مرحله‌ای بودن درب ICUها به دلیل حساسیت بالای بیماران با سوختگی بالا ارتباط داشته باشد.

جدول ۵. ارتباط بین غلظت سایر شاخص‌های کیفی هوا و عوامل محیطی

شاخص	میانگین غلظت/ استفاده	ضریب همبستگی (ppm) VOCs	ضریب همبستگی (ppm) CO_2	ضریب همبستگی $PM_{2.5}$ (میکروگرم در مترمکعب)	ضریب همبستگی PM_{10} (میکروگرم در مترمکعب)
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۶/۸۰	−۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۳
رطوبت (درصد)	۳۱/۵۲	−۰/۰۲	−۰/۰۳	−۰/۰۶	−۰/۰۴
تعداد کارکنان	۳۴/۲۷	۰/۲۱	**۰/۵۳	−۰/۰۵	−۰/۰۱
ضد عفونی‌کننده دست	مورد استفاده	**۰/۵۶	۰/۱۵	−۰/۱۰	۰/۱۶
گندزدایی کف	مورد استفاده	**۰/۷۵	۰/۲۲	−۰/۰۳	−۰/۲۳
شوینده ملحفه و پتو	مورد استفاده	*۰/۳۶	−۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۳۱
سیستم گرمایشی	مورد استفاده	*۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۰۳
سیستم سرمایشی	مورد استفاده	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۱	−۰/۲۷
تعداد تخت‌ها	۱۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۱۷	−۰/۱۹	−۰/۰۸
مساحت کف ICU (مترمربع)	۱۶۰/۲۷	۰/۲۲	−۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۰۵
تهویه هوا	مورد استفاده	۰/۰۲	−۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۲۳
تعداد ملاقات‌کنندگان	۵/۰۰	*۰/۵۵	*۰/۲۷	−۰/۲۹	*۰/۵۳
تعداد بیماران	۹/۲۲	**۰/۴۵	۰/۱۰	−۰/۱۰	−۰/۲۱

VOCs: Volatile organic compounds; CO_2: Carbon dioxide; ICU: Intensive care unit

*همبستگی در سطح ۹۵ درصد اطمینان، **همبستگی در سطح ۹۹ درصد اطمینان

علامت منفی نشان دهنده ارتباط معکوس است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

در حال حاضر استاندارد مطلقی برای حد مجاز آئروسل‌های بیولوژیک هوای داخل ICU از سوی سازمان‌های مرتبط ارایه نشده است. بعضی منابع غلظت مجاز باکتری‌های معلق در هوای داخل را ۵۰۰ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب پیشنهاد داده‌اند (۲۹، ۲). در پژوهش حاضر، میانگین غلظت کل باکتری‌ها از حد توصیه شده کمتر بود و بیان‌کننده آلودگی باکتریایی پایین و مناسب است.

درجه حرارت و رطوبت عوامل مهمی در بقای آئروسل‌های بیولوژیک هستند. در استانداردهای کیفیت هوای داخلی، رطوبت نسبی مناسب در دامنه ۳۰ تا ۶۰ درصد و محدوده دمای مناسب ۲۱ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد توصیه شده است (۳۲-۳۰). در مطالعه حاضر، محدوده دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۲۸ تا ۳۲ درصد بود و بین غلظت باکتری‌ها با دما و رطوبت ارتباط معنی‌داری یافت نشد، اما ارتباط معنی‌داری میان غلظت باکتری‌ها با تعداد بیماران، مساحت کف و تعداد ملاقات‌کنندگان وجود داشت (جدول ۴). در تحقیقی در اردبیل، میانگین تراکم کل باکتری‌های اندازه‌گیری شده در دو بیمارستان، ۱۰/۳ و ۲۳/۴ واحد تشکیل کلونی در مترمکعب گزارش شد (۳۳). مشابه بررسی حاضر، تعداد باکتری‌ها با دما و رطوبت محیط ارتباط معنی‌داری نداشت، اما تعداد آن‌ها در شیفت عصر به صورت معنی‌داری از شیفت صبح بیشتر بود (۳۳). بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت $PM_{2.5}$ در ICUهای بیمارستان ۲ و بیمارستان ۷ در فصل پاییز و غلظت PM_{10} در بیمارستان ۳ در فصل بهار نسبت به سایر بیمارستان‌ها بالاتر بود. در بیان علت می‌توان به طولانی بودن زمان بستری بیمار، وجود ملاقات‌کنندگان و رطوبت بالا در کنار بعضی تخت‌هایی که بیماران از بخور سرد یا گرم استفاده می‌کردند، اشاره کرد.

ارتباط مثبت و معنی‌داری بین PM_{10} و تعداد ملاقات‌کنند گان با همبستگی در سطح ۰/۰۵ وجود داشت (جدول ۵). در پژوهش دهقانی و همکاران در شیراز، ارتباط معنی‌داری بین غلظت ذرات معلق در هوای خارج و داخل بیمارستان وجود داشت که نشان دهنده نفوذ این ذرات از هوای خارج به داخل بیمارستان بود (۳۴). از این‌رو، برای بیمارستان‌هایی که در مناطق پرتردد قرار دارند، بهره‌گیری از سیستم‌های مناسب تهویه و کاهش تردد، در کاهش میزان آلودگی هوای داخل بیمارستان مؤثر می‌باشد. مقدار توصیه شده توسط United States-Environmental Protection Agency (US-EPA) برای PM_{10} و $PM_{2.5}$ در متوسط زمان ۲۴ ساعته به ترتیب ۱۵۰ و ۳۵ میکروگرم در مترمکعب می‌باشد، اما WHO مقادیر سخت‌گیرانه‌ای را به ترتیب در حد ۲۵ و ۱۵ میکروگرم در مترمکعب ارایه کرده است (۳۵). در مقایسه با استاندارد EPA، ذرات معلق در کلیه ICUها در وضعیت مطلوبی قرار داشت، اما بر اساس استاندارد WHO، بیشتر ICUها مقادیر بالاتری از ذرات ریز داشتند.

نتایج نشان داد که فصل، دما و تا حدودی رطوبت، با غلظت ذرات معلق ارتباط دارد. در یک مطالعه در دو بیمارستان اروپایی مشخص شد که تجمع افراد و انتقال ذرات ناشی از راه رفتن، تجویز محصولات دارویی و استفاده از مواد ضد عفونی‌کننده و پاک‌کننده، بر غلظت VOCs و $PM_{2.5}$ در بخش‌ها تأثیر می‌گذارد (۲۱). بالا بودن $PM_{2.5}$ می‌تواند به دلیل نفوذ آن از طریق درب‌ها و پنجره‌ها به هوای داخل بیمارستان در فصل پاییز باشد؛ چرا که در پاییز و زمستان غلظت این ذرات در هوای بیرون بسیار بالاتر از فصول دیگر است. غلظت VOCs در ICUهای بیمارستان ۱ در فصل پاییز و در بیمارستان ۵ در هر دو فصل نسبت به سایر بیمارستان‌ها بالا بود. با وجود استفاده از سیستم تهویه هوا، افزایش VOCs می‌تواند مربوط به شستشوی کف با مواد ضد عفونی‌کننده و تجمع افراد در بخش باشد. غلظت VOCs در بیمارستان‌های ۷، ۶، ۵ و ۲ در هر دو فصل پاییز سال ۱۴۰۱ و بهار سال ۱۴۰۲ بسیار پایین بود. با مقایسه نتایج به دست آمده با استاندارد WHO و EPA (۳۵)، مشخص گردید که غلظت VOCs در کلیه ICUها در حد قابل قبولی قرار دارد. تحلیل نتایج نشان داد که بین غلظت VOCs و فصل ارتباط وجود دارد؛ به طوری که غلظت آن در فصل پاییز بالاتر از فصل بهار بود. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین VOCs و ضد عفونی‌کننده دست، گندزدایی کف و تعداد بیماران با همبستگی در سطح ۰/۰۱ و بین VOCs با استفاده از پاک‌کننده ملحفه و پتو، ملاقات‌کنندگان و استفاده از سیستم گرمایشی با همبستگی در سطح ۰/۰۵ یافت شد.

غلظت CO_2 در فصل پاییز در ICU3 بیمارستان ۱ و در فصل بهار در ICU بیمارستان ۶ کمتر از سایر بخش‌ها گزارش گردید، اما غلظت CO_2 در ICU بیمارستان ۲ در فصل پاییز و در ICU بیمارستان ۵ در فصل بهار به علت تعداد بالای بیمار و یا کارکنان در زمان نمونه‌برداری بیشتر از سایر بخش‌ها بود. بالا بودن غلظت CO_2 در فصل پاییز می‌تواند به دلیل بسته بودن پنجره‌ها، تعداد بالای افراد یا کارایی نامناسب سیستم تهویه باشد. ارتباط معنی‌داری بین غلظت CO_2 و تعداد کارکنان بخش‌ها در سطح همبستگی ۰/۰۱ و تعداد ملاقات‌کنندگان در سطح ۰/۰۵ وجود داشت. به طور کلی، غلظت CO_2 در مقایسه با استاندارد WHOدر وضعیت متعادلی قرار داشت (۳۵). نتایج تحقیقی در چین تفاوت فصلی قابل توجهی را در غلظت CO_2 نشان داد و در بخشی با تعداد بالای افراد و بدون تهویه کافی، سطح CO_2 بالاتر از استاندارد بود (۳۶).

در تمامی نقاط مورد سنجش پژوهش حاضر، غلظت CO غیر قابل تشخیص بود که از دلایل آن می‌توان به دور بودن ICUها از خیابان‌ها، پارکینگ ماشین‌ها و عدم استفاده از وسایل گرمایشی گازی در داخل بخش‌ها اشاره کرد. یک مطالعه مشابه در چین، میانگین غلظت ۲۴ ساعته CO محیط داخل را ۰/۸۸ میلی‌گرم در مترمکعب (کمتر از حد مجاز) گزارش کرد (۳۷). با توجه به بافت قدیمی بیمارستان‌ها، بخش‌های مختلف بیمارستان به خصوص ICUها به صورت دایم در حال بازسازی هستند. این فعالیت‌ها سبب ورود ذرات معلق و VOCs به هوا می‌شود. عدم استفاده از فیلترهای تصفیه هوا و همچنین، استفاده از تی‌های نخی برای نظافت کف سالن‌ها و بخش‌ها، رفت و آمد بالای ملاقات‌کنندگان و عدم تهویه مناسب هوا از جمله عواملی بود که در تحقیق حاضر مورد توجه قرار گرفت. همچنین، تناسب تعداد کارکنان در ICUها با تعداد بیماران گاهی رعایت نمی‌شود. بر اساس نتایج، عملکرد سیستم‌های گرمایشی مانند هواسازها در مقایسه با سیستم گرمایشی فن‌کوئل بهتر بود. کیفیت نامناسب هوای داخل ممکن است به دلیل تجمع بالای افراد، عدم رعایت بهداشت لازم و ناکافی و نامناسب بودن سیستم تهویه هوا باشد که این امر بر سلامت بیماران، همراهان و کارکنان شاغل تأثیر منفی می‌گذارد. بنابراین، به منظور ارتقای کیفیت هوای داخلی، پایش مستمر شاخص‌های کیفی و مدیریت آن‌ها در بیمارستان‌ها به خصوص در ICUها باید یک الزام قانونی باشد (۲۰).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت کل باکتری‌ها، VOCs، CO و CO_2 در ICU بیمارستان‌ها نسبت به استاندارد پیشنهادی WHO پایین و در حد مطلوب می‌باشد، اما بیشتر بخش‌ها مقادیر بالاتری از ذرات معلق را بر اساس استاندارد

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

WHO داشتند. به طور کلی، نتایج مطالعه نشان داد کـه کیفیـت هـوا در ICU بیمارستان‌ها از وضعیت مناسبی برخوردار است که این امر مـی‌توانـد بـا طراحـی مناسب ساختمان‌ها، بستن دریچه‌های نفوذ هوا به محیط داخل، بهسازی مناسب، وجود سیستم تهویه و سیستم سرمایشی و گرمایشـی مناسـب مـرتبط باشـد. در مواردی که غلظت بعضی شاخص‌ها نسبت به سایر بخش‌ها بالاتر بود، مـی‌توانـد به دلیل تجمع افراد، عدم رعایت بهداشت محیط و ناکافی بودن تهویه هوا باشـد. به منظور رسیدن به کیفیـت هـوای مطلـوب، علـاوه بـر بررسـی و کنتـرل دایـم شاخص‌های محیطی مانند دمـا، رطوبـت، عملکـرد سیسـتم تهویـه و گنـدزدایی سطوح در بخش‌ها، جهت شستشو و نظافت کف بـه جـای اسـتفاده از تـی‌هـای نخی، بهتر است از دستگاه‌های کف‌شوی صـنعتی و یـا اسـکرابر اسـتفاده شـود. همچنین، حفظ فشار مثبت در ICUها باید به عنوان یک اصـل در نظـر گرفتـه شود و یک طرفه بودن جریان هوا به طور مرتب کنترل گردد. تا حد ممکن از باز کردن درب و پنجره‌ها اجتناب و از سیستم‌های تصفیه ذرات هوا بـا رانـدمان بالـا استفاده شود. همچنین، بهتر است منابع بالقوه انتشار شاخص‌های مهم کیفی هوا تعیین و روش‌های کاهش این منـابع در فضـای داخـل و اطـراف بیمارسـتان در پژوهش‌های آینده مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد به شـماره ۳۴۰۱۶۵۶، مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسـیله از تمـامی کارکنـان بیمارستان‌های مورد بررسی که در انجام این مطالعه همکـاری نمودنـد، تشـکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. jama. 2020; 323(13): 1239-42.
2. Naddafi K, Rezaei S, Nabizadeh R, Younesian M, Jabbari H. Density of airborne bacteria in a children hospital in Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 2009; 1(2): 75-80.
3. Zhou Q, Lyu Z, Qian H, Song J, Möbs VC. Field-measurement of CO2 level in general hospital wards in Nanjing. Procedia Engineering. 2015; 121: 52-8.
4. 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. International Journal of Environmental Health Research. 2019; 29(5): 479-88.
5. Ibrahim F, Samsudin EZ, Ishak AR, Sathasivam J. Hospital indoor air quality and its relationships with building design, building operation, and occupant-related factors: A mini-review. Frontiers in public health. 2022; 10: 1067764.
6. Grinn-Gofroń A, Strzelczak A, Wolski T. The relationships between air pollutants, meteorological parameters and concentration of airborne fungal spores. Environmental pollution. 2011; 159(2): 602-8.
7. Gauvin S, Reungoat P, Cassadou S, Dechenaux J, Momas I, Just J, et al. Contribution of indoor and outdoor environments to PM2. 5 personal exposure of children—VESTA study. Science of the total environment. 2002; 297(1-3): 175-81.
8. Tamaddoni M, Sotudeh-Gharebagh R, Nario S, Hajihosseinzadeh M, Mostoufi N. Experimental study of the VOC emitted from crude oil tankers. Process Safety and Environmental Protection. 2014; 92(6): 929-37.
9. Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO2 concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. 2000.
10. Myhrvold A, Olsen E, Lauridsen OJIA. Indoor environment in schools–pupils health and performance in regard to CO2 concentrations. 1996; 96(4): 369-71.
11. Doğan TRJDAvÇD. Investigation of indoor air quality in a hospital: A case study from Şanlıurfa, Turkey. 2019; 5(1): 101-9.
12. Lim T, Cho J, Kim BS. The predictions of infection risk of indoor airborne transmission of diseases in high-rise hospitals: Tracer gas simulation. Energy and Buildings. 2010; 42(8): 1172-81.
13. Salva, Hazrati, Sadegh, Arzanlo, Zadeh F. Investigating the type and concentration of bacterial bioaerosols in the indoor air of teaching hospitals affiliated to Ardabil University of Medical Sciences in 2014. Occupational health and safety. 2018; 8(1): 15-28.
14. Günal MM, Pidd M. Dghpsim: generic simulation of hospital performance. ACM Transactions on modeling and computer simulation (TOMACS). 2011; 21(4): 1-22.
15. Jovanović M, Vučićević B, Turanjanin V, Živković M, Spasojević VJE. Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia. 2014; 77: 42-8.
16. Yang YJA, Research AQ. A numerical study of the particle penetration coefficient of multibended building crack. 2017; 17(1): 290-301.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]

17. Sadeghi Hasanvand Z, Sekhavatjo MS. Assessment the bio-aerosols type and concentration in various wards of Valiasr Hospital, Khorramshahr during 2011. Iranian journal of health and environment. 2013; 6(2): 201-10.
18. Tajabadi A, Parsaeimehr Z, Kashani E. Evaluation of compliance with standard precautions by ICU nurses of Sabzevar Hospitals. Scientific Journal of Nursing, Midwifery and Paramedical Faculty. 2018; 4(2): 79-91.
19. Plowman R, Graves N, Griffin M, Roberts J, Swan A, Cookson B, et al. Socio-economic burden of hospital acquired infection: Health Protection Agency; 1999.
20. Doğan TR. Investigation of indoor air quality in a hospital: A case study from Şanlıurfa, Turkey. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. 2019; 5(1): 101-9.
21. Palmisani J, Di Gilio A, Viana M, de Gennaro G, Ferro A. Indoor air quality evaluation in oncology units at two European hospitals: Low-cost sensors for TVOCs, PM2. 5 and CO2 real-time monitoring. Building and Environment. 2021; 205: 108237.
22. Hedayati M. A Survey on fungal spors in wards air of hospitals in tehran. School of Public Health Tehran University of Medical Sciences [MSc thesis]. 1991: 32-4.
23. Hassanvand S., Sakhawatjo, Zakavoti. Investigating the type and density of bioaerosols in the air of different departments of Valiasr Hospital, Khorramshahr, 2013. Iranian Journal of Health & Environment. 2013; 6(2).
24. Farhadi F, Khakzand M, Barzegar Z, Khanmohammadi M. Investigating Parameters Affecting Indoor Air Quality Across Multiple Healthcare Facilities. 2024.
25. Shamsizadeh Z, Nikaeen M, Nasr Esfahani B, Mirhoseini SH, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. Detection of antibiotic resistant Acinetobacter baumannii in various hospital environments: potential sources for transmission of Acinetobacter infections. Environmental health and preventive medicine. 2017; 22: 1-7.
26. Mehdi F, Ehsan M, Khashayar S, Maryam A, Samira N, Ahmad S. Common health indicators in Ayub hot spring, North Khorasan province in 2016.
27. Dehdashti A, Sahranavard N, Rostami R, Barkhordari A, Banayi ZJOmqJ. Survey of bioaerosols type and concentration in the ambient air of hospitals in Damghan, Iran. 2012; 4(3): 41-51.
28. Amirimoghaddam M, Mirzaei N, Mostafaei G, Nazari-Alam A, Atoof F, Bahrami A, et al. Investigation of the fungal and bacterial contamination in indoor units and outdoor air of Kashan Beheshti hospital in 2018. KAUMS Journal (FEYZ). 2020; 24(6): 659-65.
29. Obbard JP, Fang LS. Airborne concentrations of bacteria in a hospital environment in Singapore. Water, Air, and Soil Pollution. 2003;144:333-41.
30. Nikpey A, Choubdar M, Dastamouz A, Rahmani M. Evaluation of indoor air quality in different hospital wards by bioaerosol sampling and particle counting in 2016. Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume. 2018; 5(1): 53-60.
31. Dehdashti A, Sahranavard N, Rostami R, Barkhordari A, Banayi Z. Survey of bioaerosols type and concentration in the ambient air of hospitals in Damghan, Iran. Occupational medicine quarterly Journal. 2012; 4(3): 41-51.
32. Sehulster L, Chinn RY, Arduino MJ, Carpenter J, Donlan R, Ashford D, et al. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Morbidity and mortality weekly report recommendations and reports RR. 2003; 52(10).
33. Asl Fu, Hazrati S, Arzenlou M, Zadeh M. Investigating the type and concentration of bacterial bioaerosols in the indoor air of teaching hospitals affiliated to Ardabil University of Medical Sciences in 2014. Journal of Health & Safety at Work. 2018; 8(1).
34. Dehghani M, Saeedi Aboueshaghi A, Zamanian Z. -A Study of the Relationship between Indoor and Outdoor Particle Concentrations in Hafez Hospital in Shiraz, Iran. Journal of Health System Research. 2013; 8(7): 1348-55.
35. Neai KK, Moreno IS. Environmental Protection Agency, ET AL. 2000.
36. Tian Y, Liu H, Zhao Z, Xiang X, Li M, Juan J, et al. Association between ambient air pollution and daily hospital admissions for ischemic stroke: a nationwide time-series analysis. PLoS medicine. 2018; 15(10): e1002668.
37. Zhao Y, Hu J, Tan Z, Liu T, Zeng W, Li X, et al. Ambient carbon monoxide and increased risk of daily hospital outpatient visits for respiratory diseases in Dongguan, China. Science of the total environment. 2019; 668: 254-60.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-09-07]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i3.1613]