Occupational Medicine Quarterly Journal
Vol. 16, No.3, Autumn 2024
Pages:15-26

فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ۱۶ ، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۳
صفحه: ۲۶-۱۵

بررسی غلظت و ارزیابی ریسک سلامتی بیوآئروسل ها در اتاق های عمل مراکز جراحی و بیمارستان های دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

عباس شاهسونی[۱]، انوشیروان محسنی بندپی[۲]، معصومه رحمتی‌نیا[۳]، سیداحمد فلاح[۴*]

چکیده

مقدمه: به‌دلیل شرایط خاص اتاق‌های عمل، کنترل عفونت جهت حفظ سلامت افراد، در این مکان‌ها مهم است. لذا این مطالعه با هدف بررسی نرخ تبادل هوا و ارزیابی ریسک سلامتی بیوآئروسل‌های هوابرد، در اتاق‌های عمل مراکز جراحی و بیمارستان‌ها انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه از نتایج سنجش تراکم بیوآئروسل‌ها، توسط شرکت‌های آلاینده‌سنجی در سال ۱۴۰۱استفاده گردید. با کمک نرم‌افزار اکسل، به صورت تصادفی، تعداد ۱۰ اتاق عمل انتخاب و مجدد در سال ۱۴۰۲ پایایی نتایج این دو سال مورد بررسی قرار گرفت. در تمام گزارشات شرکت‌های پایش نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها براساس روش NIOSH 0800 بود. تعداد دفعات تعویض هوا با کمک آنمومتر حرارتی تعیین شد. در نهایت ریسک سلامتی محاسبه و پیش‌بینی احتمال ریسک با شبیه‌سازی مونت کارلو، در نرم‌افزار Crystal Ball انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون جهت تعیین ارتباط بین تعداد بیوآئروسل‌ها و نرخ تعویض هوا و آزمون ICC جهت بررسی پایایی بین نتایج دو سال استفاده شد.

نتایج: در بین ۶۲ اتاق عمل، میانگین تعداد کلونی‌های باکتریایی و قارچی، به ترتیب CFU/m^3 ۶۹/۷۳ ±۱۴/۵۹و CFU/m^3 ۲۱/۶۷ ±۴/۵۲ بود، که کمتر از حد توصیه شده سازمان بهداشت جهانی می‌باشند. میانگین نرخ تعویض هوا برابر ۱۹/۶۷ ± ۲/۱۸به دست آمد. بین تعداد تعویض هوا و تعداد کلونی‌ها، ارتباط معنی‌داری آماری مشاهده نشد(p-value ≥۰/۰۵). سطح ریسک بهداشتی بیوآئروسل‌ها در سطح قابل-قبول بود و غلظت بیوآئروسل‌ها به عنوان، حساس‌ترین متغیر تاثیرگذار بر سطح ریسک شناخته‌شد.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج نشان داد؛ که در مقطع زمانی سال۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، افزایش تعداد تعویض هوا، نمی‌تواند منجر به کاهش بار آلودگی بیوآئروسل‌ها در اتاق‌های عمل شود. شاید دلیل این امر، عدم همزمانی در اندازه‌گیری‌ها باشد. لذا برای شفاف‌سازی این موضوع، انجام مطالعات بیشتر در آینده ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بیوآئروسل‌ها، باکتری، قارچ، نرخ تبادل هوا، ارزیابی ریسک

[۱*] دانشیارگروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهد بهشتی، تهران، ایران
[۲] استادتمام گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهد بهشتی، تهران، ایران
[۳] دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، تهران، ایران
[۴] دانشجوی دوره عالی بهداشت عمومی (MPH) گرایش بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول؛ تلفن تماس: ۰۲۱۸۸۵۴۷۸۹۴، پست الکترونیک: HSE9865@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

مقدمه

بیوآئروسل‌ها ذرات معلق جامد یا مایع موجود در یک محیط گازی هستند که از موجودات زنده، نظیر باکتری‌ها، پروتیست‌ها، گیاهان، قارچ‌ها و حیوانات و... منشاء می‌گیرند(۱). اندازه آنها از ۰/۱ تا ۱۰۰میکرومتر متغیر است(۲). بیوآئروسل‌هایی که باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها را حمل می‌کنند، به عنوان وسیله‌ی انتقال عفونت‌های مختلف، از جمله ویروس‌های آنفولانزا، ویروس‌های سندرم تنفسی حاد شدید و کرونا ویروس جدید انسانی (SARS-CoV-2) عمل می‌کنند(۳). بنابراین می‌توانند منجر به پیامدهای بالینی شدید نظیر عفونت‌های مرتبط با بیمارستان و افزایش تعداد بیماری‌های شغلی گردند(۴). ابرهای گازی مولد سرفه و عطسه، با قطرات عامل بیماری‌زا (باکتری، قارچ و ...) می‌توانند تا ۸ متر حرکت کرده و پس از خشک شدن، برای ساعت‌ها در هوا معلق بمانند(۵). در این شرایط ذرات بزرگ (بیش از ۱۰۰ میکرومتر) مجدداً در هوا معلق شده و به دلیل شرایط محیطی، همانند ذرات معلق در هوا؛ در اثر حرارت بدنی و رفت‌وآمد افراد، حرکات در و پنجره، نیروهای الکترواستاتیکی، حرکت براونی و جریانات همرفتی جابه‌جا شوند، و ذرات کوچکتر، با قطر کمتر از ۳۰ نانومتر می‌توانند به سرعت وارد اتاق‌ها شده و منجر به عفونت گردند(۶). عوامل ثابت و متلاطم در یک بیمارستان، منجر به انتشار گسترده‌تر بیوآئروسل‌ها می‌شوند و زمان ته‌نشین شدن این پاتوژن‌های ناقل بیماری را افزایش می‌دهند(۷). تخمین زده شده است که ۱۰٪ از عفونت‌های بیمارستانی از طریق هوا منتشر می‌شوند(۸).

امروزه استفاده از کنترل‌های مهندسی به عنوان بخشی از یک استراتژی مهم برای محدود کردن خطر عفونت داخل ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد(۷). این استراتژی‌ها شامل؛ ضدعفونی کردن هوا، استفاده از سیستم تهویه و فیلتراسیون هوا و نیز اجتناب از گردش مجدد ذرات است(۹). کیفیت هوای داخل بیمارستان(IAQ) یک شاخص مهم در پیشگیری از عفونت بیمارستانی است که تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله؛ سیستم‌های تهویه مطبوع، نوع و میزان تهویه، مصالح ساختمانی و عوامل انسانی قرار دارد. IAQ ضعیف، ممکن است باعث عفونت در محل جراحی شده و یا تشدیدکننده سایر خطرات شغلی باشد(۱۰).

در بین بخش‌های مختلف بیمارستان، اتاق‌های عمل به دلیل شرایط خاصی که بیماران در این اتاق‌ها دارند، از نظر کنترل عفونت، دارای اهمیت بسزایی می‌باشند(۱۱،۱۲). مطالعات نشان می‌دهند که بین عفونت پس از عمل جراحی و تعداد بیوآئروسل‌های موجود در اتاق عمل رابطه مستقیم وجود دارد(۱۳). فرایند جراحی نیز ارتباط معنی‌داری با تعداد کلونی‌های میکروبی دارد(۱۴). برای مثال؛ مطالعه محمدیان و همکاران بر روی آلودگی میکروبی هوای دو بیمارستان در شهر ساری نشان داد که تعداد کلنی‌های شمارش‌شده در هر مترمکعب هوا، دراتاق‌های عمل به مراتب بیشتر از بخش‌های دیگر بیمارستان‌ها است(۱۵). دهدشتی و همکاران همچنین در بررسی تراکم بیوآئروسل‌ها در محیط‌های مختلف بیمارستان دامغان، اتاق عمل را به عنوان آلوده‌ترین بخش از نظر وجود باکتری تشخیص دادند(۱۶).

مطالعات نشان می‌دهند که تحرک و جابه‌جایی هوا می‌تواند در انتشار میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا نقش مؤثری داشته باشد(۱۷). بنابراین، دما، رطوبت نسبی و سیستم‌های تهویه، به طور قابل‌توجهی بر غلظت بیوآئروسل و خطر سلامتی ناشی از آن‌ها تأثیر می‌گذارد(۱۸). به منظور بررسی احتمال خطر سلامتی، سازمان‌های مختلف از جمله سازمان بهداشت جهانی، استفاده از روش ارزیابی ریسک را توصیه نموده‌اند(۱۹) چرا که درک جامع از ویژگی‌ها و خطرات انتشار بیوآئروسل‌ها برای کنترل آن‌ها ضروری می‌باشد(۲۰).

سیستمهای تهویه اتاق عمل، پتانسیل بسیار بالایی برای کنترل عفونت‌های پس از عمل دارند، ضمن آنکه قادرند در کنترل گازها و بخارات پراکنده شده در اتاق عمل نیز موثر باشند(۲۱). در یک مطالعه مروری توسط Ouyang و همکاران، در بررسی تاثیر جریان‌های لامینار بر غلظت بیوآئروسل‌ها، بیان شده است که به‌کارگیری سیستم‌های جریان هوای لامینار، منجر به کاهش قابل توجهی در بروز عفونت‌های محل جراحی و تعداد باکتری‌ها در هوای اتاق‌های عمل نمی‌شود(۲۲). مطالعه Liu و همکاران در بررسی پیشگیری از عفونت‌های جراحی در اتاق عمل، نشان می‌دهد که میزان تمیزی هوا در منطقه عملیاتی، نه تنها به میزان جریان هوای سیستم تهویه، بلکه به توزیع جریان هوا نیز بستگی دارد، که تا حد زیادی تحت تأثیر موانعی مانند لامپ‌های جراحی و حضور کارکنان جراحی قرار دارد(۲۳). بنابراین علاوه بر طراحی و کاربرد صحیح این سیستم‌ها در اتاق‌های عمل، بررسی کارکرد صحیح آنها و کنترل هوای داخل این محیط‌ها به منظور دستیابی به شرایط مطلوب، برای حفظ سلامت بیماران و

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

همچنین کمک به موفقیت در عمل جراحی امری حیاتی است(۲۴). در اتاق عمل، باید سیستمی تعبیه شود، که هوای کثیف و آلوده را به بیرون هدایت کرده و هوای تازه را جایگزین نماید(۲۵). در حالت کلی سیستم تهویه اتاق عمل بر اساس ۱۵ تا ۲۰ بار تعویض هوا در ساعت طراحی می‌شود(۲۶). اگرچه گردش هوا منجر به کاهش میزان بیوآئروسل‌ها در هوای اتاق عمل می‌شود، اما قطعا با افزایش تعداد تعویض هوا، بار آلودگی به حد پیشنهادی توصیه شده نمی‌رسد(۲۷). از سویی دیگر علیرغم اینکه خطرات بهداشتی مواجهه با بیوآئرسل‌ها شناسایی و به قطعیت رسیده است، برای این دسته ازآلاینده‌ها حدود مجاز خاصی توصیه نشده و مقادیر ارائه شده، هنوز در قالب پیشنهاد می‌باشند(۲۸). با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و اهمیت آسایش دمایی کارکنان اتاق عمل، میزان تعویض هوا می‌بایست در حد مناسب و متناسب با نوع عمل جراحی و سایر علل دخیل در تولید بار آلودگی قابل تغییر باشد. بنابراین کارایی سیستم تهویه و تعداد تعویض هوا درکنترل آلودگی از اهمیت زیادی برخوردار است(۲۹). باتوجه به اینکه مطالعات انجام شده درباره ارتباط بین تراکم بیوآئروسل‌ها و تعداد تعویض هوا در اتاق‌های عمل ایران اندک است؛ این مطالعه با هدف بررسی نرخ تبادل هوا و ارزیابی ریسک سلامتی بیوآئروسل‌های هوابرد (باکتریایی و قارچی)، در اتاق‌های عمل مراکز جراحی و بیمارستان‌ها انجام شد. باتوجه به اینکه تعداد تعویض هوا و میزان آلودگی میکروبی از نظر اقتصادی و مصرف انرژی در بیمارستان‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند، امید است، نتایج این مطالعه بتواند کمک موثری در این زمینه ارائه نماید.

روش بررسی

این مطالعه توصیفی- تحلیلی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. برای این منظور، در سال۱۴۰۱، ابتدا هماهنگی لازم با گروه سلامت محیط و کار معاونت امور بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در خصوص دسترسی به گزارش نتایج ارزیابی عوامل زیان‌آور محیط کار بیمارستان‌ها و کلینیک‌های جراحی در سال ۱۴۰۱و ۱۴۰۲ که توسط شرکت‌های خصوصی ارزیابی‌کننده عوامل زیان‌آور محیط کار و دارای مجوز انجام می‌شود به عمل آمد و موافقت کتبی آنها در این خصوص اخذگردید. پس از دسترسی به این گزارش‌ها ، تمامی آنها مورد بررسی و گزارش بیمارستان‌ها و کلینیک‌های جراحی تحت پوشش این دانشگاه که همزمان تراکم بیوآئرسولهای قارچ و باکتری و تعداد تعویض هوادر ساعت در اتاق‌های عمل را مورد ارزیابی قرارداده بودند، برای این مطالعه انتخاب شدند.لازم به ذکر است این شرکت‌ها، علاوه براینکه دارای مجوز از دانشگاه‌های علوم پزشکی تحت پوشش می‌باشند، عملکرد آنها نیز هنگام انجام کار در محیط نیز توسط بازرسان بهداشت حرفه‌ای آموزش‌دیده براساس چک‌لیست اختصاصی مورد پایش و علاوه بر این گزارش نتایج ارسالی نیز بصورت رندوم توسط این افراد مورد بررسی و اقدامات لازم بعمل می‌آید.

درنهایت تمامی گزارش‌های نتایج ارزیابی تراکم بیوآئرسول‌های قارچ و باکتری اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها و کلینیک‌های جراحی تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران که همزمان تعداد تعویض هوا در ساعت را در این اتاق‌های عمل ارزیابی کرده بودند، جمع‌آوری و به صورت سرشماری موردمطالعه و بررسی قرار گرفتند.

به طوری که این مطالعه برروی۳۴ اتاق عمل مربوط به ۲۵ بیمارستان و۲۸ اتاق عمل مربوط به ۱۸ مرکز جراحی (مجموعا ۶۲ اتاق عمل)، تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، انجام گرفت.

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های بیولوژیکی در تمامی شرکت‌ها مطابق با روش استاندارد NIOSH 0800 انجام گرفته‌بود. برای این منظور از ایمپکتور تک مرحله‌ای بیواستیج استاندارد در ارتفاع ۱/۵ تا ۱/۷ متر از سطح زمین استفاده می‌شود. این ایمپکتور براساس مکانیسم برخورد عمل می‌کند و برای نمونه‌برداری از بیوآئرسول‌های قابل کشت، با معیارهای سازمانهایی مانند NIOSH و ACGIH برای نمونه‌برداری از قارچها و باکتری‌های داخل و بیرون ساختمان منطبق است. ورودی مخروطی شکل این وسیله، باعث می‌شود هوا به سمت صفحه آگار که در سینی زیرین آن قرارداده شده است، برخورد نموده و روی صفحه رشد حاوی آگار جمع‌آوری گردد. صفحه آگار مورد استفاده برای نمونه‌برداری از قارچها، محیط کشت MEA و برای نمونه‌برداری از باکتری‌ها محیط کشت TSA می‌باشد. دبی نمونه‌برداری باتوجه به نوع ایمپکتور مورد استفاده متغییر است. برای ایمپکتورهای ۲۰۰ سوراخه، دبی مناسب ۱۴/۳ لیتر بر دقیقه و برای ایمپکتورهای ۴۰۰ سوراخه، دبی ۲۸/۳ لیتر بر دقیقه در نظر گرفته‌می‌شود. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، محیط‌های کشت در دما و فشار مناسب (اختیاری در مقابل هوازی) برای مدت زمان معین انکوبه می‌شوند. باکتری‌های با رشد سریع، ممکن است در عرض چند ساعت میکروکلونی ایجاد کنند، در حالی که قارچها ممکن است

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

روزها طول بکشد تا به یک کلنی قابل مشاهده تبدیل شده و یا احتمالاً به هاگ تبدیل شوند. پس از تکثیر و رشد میکروارگانیسم‌ها، تعداد کلنی‌ها شناسایی و با کمک میکروسکوپ شمارش شده و به عنوان واحدهای تشکیل دهنده کلنی (CFUs) ارائه می‌شوند. نمونه‌های شاهد نیز همانند نمونه‌های اصلی آنالیز می‌شوند. البته بایستی در نظر داشت که این نمونه‌ها، همانند نمونه‌ی اصلی می‌باشند، با این تفاوت که هوا از روی ایمپکتور عبور داده نمی‌شود.

در نهایت میانگین تعداد باکتری و قارچ موجود در اتاق‌های عمل، با حد توصیه شده سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد. بر این اساس، حد توصیه شده برای تراکم قارچ‌ها، $50\ CFU/m^3$ و برای باکتری‌ها $100\ CFU/m^3$ در نظر گرفته‌می‌شود(30).

مجددا در سال ۱۴۰۲، برای تعیین پایایی نتایج، با کمک نرم افزار اکسل، به صورت تصادفی تعداد ۱۰ اتاق عمل انتخاب شد و توسط تیم پژوهشی تراکم بیوآئروسل‌ها مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت.

برای تعیین تعداد تعویض هوا در اتاق‌های عمل، از آنمومتر حرارتی استفاده گردید. در واقع تعداد تعویض هوا در ساعت
(ACH : Air Changes per Hour) نشان می‌دهد که هوای داخل ساختمان با چه سرعتی با هوای بیرون (یا هوای فرآوری شده) جایگزین می‌شود. برای مثال اگر مقدار هوای ورودی و خروجی در یک ساعت برابر با حجم کلی محیط باشد، در این حالت گفته‌می‌شود در این فضا، یکبار تعویض هوا در ساعت اتفاق افتاده است. برای بدست آوردن دبی هوا، با استفاده از آنمومتر حرارتی، سرعت جریان هوا، در چند نقطه از دهانه خروجی هوا تعیین می‌شود و میانگین آن محاسبه می‌گردد. با در نظر گرفتن مساحت دهانه سیستم و با تقسیم میزان سرعت جریان هوا به مساحت بدست آمد، مقدار دبی برحسب فوت مکعب بر دقیقه محاسبه می‌شود. برای محاسبه دبی هوای موردنیاز برای تهویه مناسب، حجم محیط موردنظر (طول × عرض × ارتفاع) برحسب فوت مکعب محاسبه می‌گردد. در نهایت با ضرب کردن حجم اتاق در تعداد تعویض هوا در ساعت برای فضای موردنظر، حجم هوای موردنیاز برای تهویه مناسب برآورد می‌گردد(۱۴). در نهایت تعداد تعویض هوا با راهنمای حد توصیه شده توسط انجمن مهندسین گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE)، (۲۰ بار تعویض هوا در ساعت) برای اتاق‌های عمل مقایسه گردید(۲۸).

برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار آماری SPSS-V26 کمک گرفته‌شد. برای تعیین پایایی بین نتایج دو سال متوالی، از آزمون آماری Intraclass Correlation (ICC) Coefficient استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین تعداد تعویض هوا در ساعت، با کمک آزمون آماری تک متغیره‌ی مقایسه‌ای t-test انجام گرفت. در نهایت جهت تعیین ارتباط خطی بین تعداد بیوآئروسل‌ها با تعداد تعویض هوا در ساعت، از آزمون ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

باتوجه به اینکه استنشاق مسیر اصلی مواجهه با بیوآئروسل‌های باکتریایی در نظر گرفته می‌شود و بیشتر آنها دارای خطر غیرسرطان‌زایی هستند، بنابراین ریسک سلامتی، مطابق با استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) به شرح زیر محاسبه شد(۳۱،۳۰)؛

$$EC = \frac{C \times ET \times EF \times ED}{AT \times 365 \times 24}$$

ابتدا مطابق با فرمول فوق، غلظت مواجهه (EC) (EU/m^3) محاسبه گردید. در این فرمول C غلظت آلاینده هوا (EU/m^3)، ET مدت زمان مواجهه (۸ ساعت)، EF فرکانس مواجهه (۲۵۰ روز در سال)، ED طول مواجهه (۲۵ سال)، AT میانگین طول عمر (۷۵سال) می‌باشند. سپس ضریب خطر (HQ) از رابطه زیر برآورد گردید؛

$$HQ = \frac{EC}{RFC \times 1000}$$

در فرمول فوق RfC غلظت مرجع (mg/m^3) می‌باشد. RfC برای بیوآئروسل‌های موجود در هوا تاکنون در دسترس نیست. باتوجه به اینکه حدود مجاز مواجهه برای باکتری‌ها و قارچ‌ها، طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی، به‌ترتیب برابر $100\ CFM/m^3$ و $50\ CFM/m^3$ پیشنهاد می‌شود، در این مطالعه از مقدار $100\ CFM/m^3$ و $50\ CFM/m^3$ استفاده شد. برای قضاوت درباره سطح ریسک، زمانی که HQ<۰/۱ باشد، ریسک قابل قبول، زمانی که ۱>HQ>۰/۱باشد، ریسک قابل قبول بوده ولی نیازمند اقدامات احتیاطی برای کاهش مواجهه می‌باشد، و در نهایت زمانی که HQ > 1 باشد، خطرات بالقوه نامطلوب، برای سلامتی وجود داشته و ریسک غیرقابل قبول تلقی می‌شود.

پس از برآورد ریسک، به منظور تعیین احتمال رخداد ریسک از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. بایستی در نظر داشت که ارزیابی ریسک، مربوط به عدم قطعیتی است؛ که ممکن است ناشی از تغییر در غلظت، پاسخ متفاوت افراد،

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

وجود عدم قطعیت در تعیین یا ارزیابی پارامترها، فقدان دانش قطعی و کمبود داده باشد(۳۲،۱۹). در این راستا، دو نوع رویکرد تصادفی و قطعی برای اعمال مدل ارزیابی ریسک سلامت وجود دارد. در رویکرد قطعی، ورودی‌ها به صورت تخمین نقطه‌ای بیان می‌شوند و ابهامات کنار گذاشته می‌شوند، در حالی که در رویکردهای تصادفی، ورودی‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و توزیع احتمال پارامترها برای برآورد استفاده می‌شود(۳۳). در بین روش‌های مختلف، با استفاده از رویکرد تصادفی برای ارزیابی ریسک، شبیه‌سازی مونت کارلو بیشترین کاربرد را دارد(۳۴). در این تحلیل، مدل ریسک با استفاده از ورودی‌های احتمال، روش‌های نمونه‌گیری آماری و اعداد تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد(۳۵). با توجه به اینکه با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، بهبود قابل توجهی در دقت علمی ارزیابی ریسک حاصل می‌شود(۱۹)، بنابراین در این مطالعه از شبیه‌سازی مونت کارلو برای تحلیل و کنترل عدم قطعیت در پارامترهای ورودی استفاده گردید. به این ترتیب توزیع احتمال پارامترهای ورودی موردنظر تعیین شده و سپس طی ۱۰۰۰۰ تکرار، مدل‌های مواجهه و ریسک، شبیه‌سازی شدند. برای انجام شبیه‌سازی از نرم‌افزار Crystal Ball (Oracle, Inc., USA)استفاده شد.

نتایج

جهت مقایسه ی آماری تراکم بیوآئرسول‌های باکتری‌ها و قارچ در اتاق‌های عمل کلینیک‌ها و بیمارستان‌های منتخب با حد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و همچنین مقایسه آماری تعداد تعویض هوا در ساعت با حد توصیه‌شده سازمان مهندسان گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع آمریکا(ASHRAE) از آزمون آماری تک متغیره‌ی مقایسه‌ای تی‌تست استفاده شد.

این آزمون نشان داد میانگین تعداد کلونی‌های باکتری برابر $۶۹/۷۳CFU/m^3$ و میانگین تعداد کلونی‌های قارچی برابر$۲۱/۶۷ CFU/m^3$ بوده است که با توجه به پایین‌تر بودن این میزان‌ها از حد توصیه شده سازمان بهداشت جهانی (تراکم قارچها ، $۵۰ CFU/m^3$ و باکتری‌ها CFU/m^3 ۱۰۰)، در مقایسه با آن، هر دو تفاوت معناداری را نشان می‌دهند و این بدان معناست تراکم بیوآئرسول‌های باکتری و قارچ کمتر از حد توصیه شده سازمان بهداشت جهانی و در شرایط مطلوب و قابل‌قبولی می‌باشد. (p-value<0/05)

بررسی جزئی‌تر تراکم بیوآئروسل‌ها نشان می‌دهد که تراکم باکتری‌ها در۸۲٪ اتاق‌های عمل بیمارستان، و در ۷۹٪ اتاق‌های عمل کلینیک‌های جراحی، مساوی یا کمتر از حدتوصیه شده بوده‌است. از نظر تعداد بیوآئروسل‌های قارچی نیز در ۸۸٪ اتاق‌های عمل بیمارستان و در ۸۲٪ اتاق‌های عمل کلینیک‌های جراحی، مساوی یا کمتر از حدتوصیه شده بهداشت جهانی بوده، که در نتیجه مطلوب و قابل‌قبول است.

در اتاق‌های عمل، میانگین تعداد تعویض هوا در ساعت (نرخ تبادل هوا) برابر ۱۹/۶۷ بوده‌است؛ که در مقایسه با حد توصیه شده توسط ASHRAE (ACH=۲۰) تفاوت معناداری را نشان نمی‌دهد(p-value>0.05) و این بدان معناست که در نهایت تعداد تعویض هوا در ساعت در حد توصیه شده و در سطح مطلوبی قرار داشتند. بیشترین تعداد تعویض هوا مربوط به یکی از اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها (ACH=۸۷) بوده‌است. در یکی از اتاق‌های عمل کلینیک‌ها ،تعداد تعویض هوا در ساعت بیش از۳برابر حدتوصیه شده(ACH=۷۸) گزارش شده با این وجود، تراکم قارچها ($۶۸CFU/m^3$) در این اتاق عمل بالاتر از حدتوصیه‌شده ($۵۰CFU/m^3$) می‌باشد.

بررسی جزئی‌تر نتایج نشان می‌دهد که۴۵٪ اتاق‌های عمل مورد مطالعه، دارای تعداد تعویض هوای مساوی یا بیشتر از حد توصیه‌شده بوده اما با وجود این در ۱۴ درصد از این اتاق‌های عمل، میزان بیوآئروسل‌های باکتری و قارچ نسبت به حدتوصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (تراکم قارچها، $۵۰ CFU/m^3$ و باکتری‌ها CFU/m^3 ۱۰۰) بالاتر و نامطلوب می‌باشند.

در مقایسه‌ی وضعیت تهویه اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها و مراکز جراحی مورد مطالعه، نتایج نشان می‌دهد که ۴۱٪ از اتاق‌های عمل بیمارستان و ۵۰٪ اتاق‌های عمل کلینیک‌های جراحی، دارای تعداد تعویض هوای مساوی یا بیشتراز حد توصیه‌شده ASHRAE بود، به‌عبارتی وضعیت تعویض هوا در کلینیک‌های جراحی بهتر از بیمارستان‌ها بوده‌است.

آزمون ضریب همبستگی پیرسون نشان داد، که بین تراکم بیوآئروسل‌ها در هوای اتاق‌های عمل (هم بیمارستان و هم کلینیک‌ها) و نرخ تبادل هوا، ارتباط معنی‌دار آماری وجود ندارد(P-Value >۰/۰۵).

نتایج برای ۱۰٪ از داده‌ها در جدول۱ ارائه شده است. آزمون ICC که برای تعیین پایایی نتایج اندازه‌گیری، برای ۱۰ نمونه از ۶۲ نمونه، در سال بعد (۱۴۰۲) تکرار شد، نشان داد که پایایی ۹۹٪ (P-value < ۰/۰۵) بین نتایج وجود داشت. همچنین مقدار آلفای برابر ۰/۹۹۷، در آزمون آماری

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

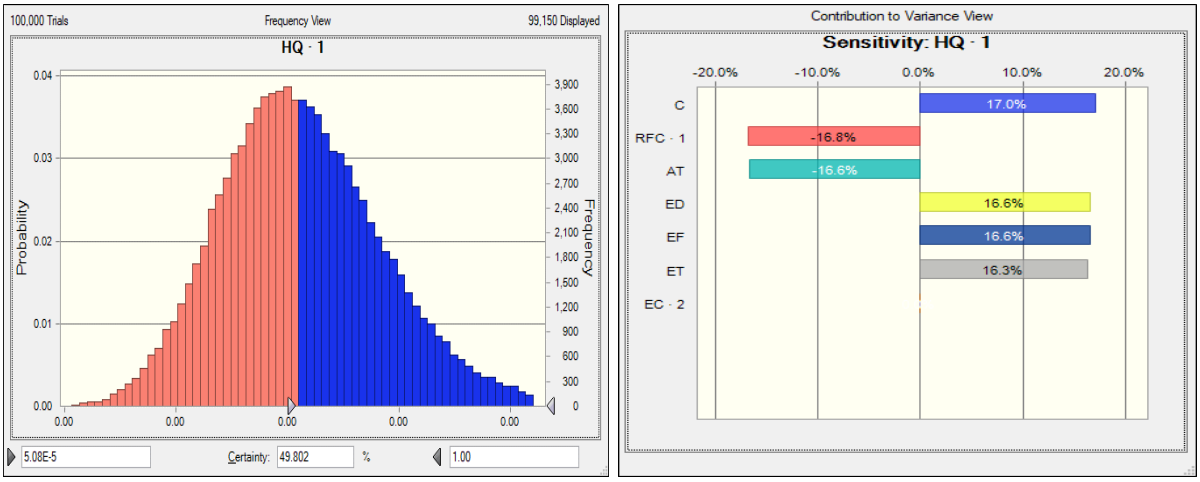
[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

آلفای کرونباخ بدست آمد؛ که تاییدی بر نتایج آزمون آماری ICC بود.

جدول ۱: نتایج ۱۰٪ ارزیابی باکتری‌ها، قارچ‌ها و تعداد تعویض هوا

شرکت ارزیاب	مکان	حجم اتاق (m^3)	دبی (m^3/hr)	تعداد دفعات تعویض هوادر ساعت	باکتری CFU/m^3	قارچ CFU/m^3
۱	کلینیک جراحی	۶۴/۸	۱۰۵۴/۸	۲۳/۲۰۹	۲۱	۰
۲	بیمارستان	۴۸	۲۱۲۷/۳	۴۴/۳	۸۰	۲۰
۳	بیمارستان	۱۰۵/۶۷	۱۰۵۶/۷	۱۰/۳۹	۴۸	۰
۴	بیمارستان	۳۰/۵۵	۸۷۶/۷۵	۲۸/۶۹	۰	۰
۵	بیمارستان	۱۷/۲۸	۱۴۹/۸۱	۲/۱	۴۸	۲۰
۶	بیمارستان	۴۲/۵۸	۲۱۲/۹	۵	۷۵	۱۴

ارزیابی ریسک سلامتی برای باکتری‌های استنشاق شده، نشان می‌دهد که ریسک مواجهه برابر ۵/۰۸E-۵ بوده‌است، که نشان‌دهنده شرایط مطلوب می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده‌است، با عدم قطعیت ۴۹/۸٪ ریسک در سطح قابل قبول و در بازه کمتر/مساوی ۰/۱ قرار دارد. همچنین آزمون آنالیز حساسیت نقش غلظت (۱۷٪) را بیشتر از سایر متغییرها در ریسک نشان داد.



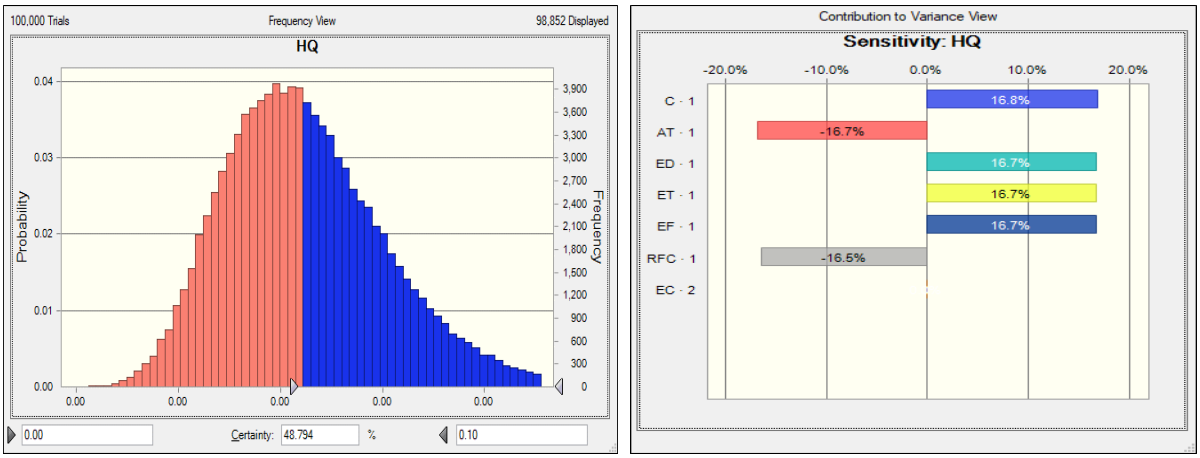
شکل ۱: شبیه‌سازی ریسک مواجهه استنشاقی با بیوآئروسل‌های باکتریایی

ارزیابی ریسک سلامتی برای قارچ‌های استنشاق شده، نشان می‌دهد که ریسک مواجهه برابر ۳/۱۸E-۵ بوده‌است، که نشان‌دهنده شرایط مطلوب و قابل قبول ریسک در اتاق‌های عمل می‌باشد. همانطور که در شکل۲ نشان داده می‌شود، با عدم قطعیت ۴۹/۸٪ ریسک مواجهه با قارچ‌ها در سطح قابل قبول و در بازه کمتر/مساوی ۰/۱ قرار دارد. همچنین آزمون آنالیز حساسیت، نقش غلظت (۱۶/۸ ٪) را بیشتر از سایر متغییرها در ریسک نشان داد.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

CC BY- NC 4.0



شکل۲: شبیه‌سازی ریسک مواجهه استنشاقی با بیوآئروسل‌های قارچی

بحث

یافته‌ها نشان می‌دهند که میانگین تراکم بیوآئروسل‌های باکتریایی و قارچی در اتاق عمل بیمارستان‌ها وکلینیک‌های جراحی مورد مطالعه، کمتراز حد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. مطالعه مشابهی که توسط قربانی و همکاران در شهر همدان انجام شده، نشان داد که میانگین تراکم کل بیوآئروسل‌ها در ۴ بیمارستان برابر CFM/m^3 ۱۳۶/۷و میانگین تراکم بیوآئروسل‌های پاتوژن CFM/m^3 ۱۰/۴ بوده است، که نسبت به حدود مجاز توصیه‌شده بالاتر است(۳۶). مطالعه دیگری در دانشگاه علوم پزشکی شیراز نشان می‌دهد، که تراکم کل بیوآئروسل‌ها برابر CFM/m^3 ۵۵/۹۱ بوده‌است (۳۷). مقایسه نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات، نشان می‌دهد که تراکم بیوآئروسل‌ها در اتاق‌های عمل مورد بررسی در این مطالعه کمتر از سایر مطالعات بوده‌است. تفاوت در نتایج بین مطالعات می‌تواند به عوامل مختلفی وابسته باشد. برای مثال Shaw و همکاران، متغییرهایی نظیر نوع جراحی، محل عمل، تعداد کارکنان داخل اتاق، مراحل جراحی و دمای هوای داخلی در اتاق‌های عمل را به عنوان عوامل مهم موثر بر تعداد تراکم بیوآئروسل‌های باکتریایی معرفی نموده‌اند(۱۴). علاوه‌بر این، بایستی توجه‌داشت که حدود مجاز مواجهه شغلی برای بیوآئروسل‌ها تعریف نشده‌است و تمامی اعداد اعلام شده صرفا به عنوان حدود پیشنهادی برای ارزیابی ریسک بیوآئروسل‌ها می‌باشند. بنابراین سازمان‌ها و محققین مختلف حدود متفاوتی را در این زمینه ارائه نموده و اقدامات حفاظتی متفاوتی را برای کاهش مواجهه گزارش می‌کنند. برای مثال؛ سازمان بهداشت جهانی CFM/m^3 ۱۰۰را برای باکتری‌ها و CFM/m^3 ۵۰ را برای قارچها توصیه می‌کند. در حالی که اتحادیه اروپا تراکم بیوآئروسل‌ها را برای اتاق عمل CFM/m^3 ۱۰ در نظر می‌گیرد(۲۸). همچنین ACGIH (مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا) پیشنهاد می‌کند که اگر میزان بیوآئروسل‌ها از CFM/m^3 ۷۵ بیشتر شود، نیاز به بررسی فوری اثرات سلامتی پرسنل وجود دارد(۳۸). این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای تعیین حدود مجاز مواجهه شغلی، که بتواند به عنوان یک استاندارد واحد بین تمامی سازمان‌ها و موسسات مورد استفاده قرار گیرد، نیازمند تداوم مطالعات در این زمینه هستیم.

یافته‌های دیگر از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که میانگین نرخ تبادل هوا، برای اتاق‌های عمل منتخب، نزدیک به حد توصیه‌شده استاندارد توسط ASHREA است(۳۹). این یافته‌ها حاکی از مطلوب بودن شرایط سیستم تهویه در اتاق‌های عمل داشت. در مطالعه انجام شده توسط قربانی و همکاران، تعداد تعویض هوا به صورت نامطلوب گزارش شده‌بود. از دلایل تفاوت نتایج و عدم کارکرد مطلوب سیستم تهویه در این مطالعه (قربانی و همکاران) می‌توان به وجود فشارهای منفی در اتاق عمل، هنگام اندازه‌گیری بیوآئروسل‌ها و عدم بکارگیری ظرفیت تهویه‌ی مناسب با توجه به نوع سیستم تهویه اشاره نمود در حالی که در تمامی اتاق‌های عمل مورد مطالعه فشار داخل اتاق مثبت بوده است(۳۶).

در مطالعه حاضر، ارتباط معنی‌داری بین نرخ تبادل هوا و میزان تراکم بیوآئرسل‌ها مشاهده نشد. به‌عبارتی دیگر افزایش نرخ تبادل هوا، منجر به کاهش میزان بار آلودگی نشده‌است. در عین حال، در صورتی که نرخ تبادل هوا مطابق با حدود پیشنهادی ASHREA باشد، تراکم بیوآئروسل‌ها نیز پایین‌تر از حدود توصیه شده توسط سازمان

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]
[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

CC BY- NC 4.0

بهداشت جهانی است. شاید دلیل این عدم هماهنگی را بتوان به عدم همزمانی در اندازه‌گیری‌ها نسبت داد.

این مطالعه همچنین نشان داد، اگرچه تعداد تعویض هوا در کلینیک‌های جراحی نسبت به بیمارستان‌ها مطلوب‌تر بوده‌است، اما تراکم باکتری و قارچ در بیمارستان‌ها نسبت به کلینیک‌ها مطلوب‌تر می‌باشد. در تضاد با نتایج مطالعه حاضر، مطالعه Audurier و همکاران نشان داد، که افزایش تعداد تعویض هوا، می‌تواند منجر به کاهش تراکم آلودگی میکروبی شود(۴۰). در مطالعه‌ی دیگری که توسط Niccolò و همکاران انجام شد، ارتباط بین آلودگی میکروبی هوا و گردش هوا در اتاق‌های عمل مدل‌سازی گردید. براساس این مدل، آلودگی با افزایش گردش هوا کاهش می‌یافت. این مدل رگرسیون خطی نشان داد که در جریان تهویه آرام، با استاندارد ۱۵ بار تعویض هوا در ساعت، میزان بار آلودگی میکروبی به CFM/m^3 ۳۰، و در جریان تهویه آشفته، به میزان CFM/m^3 ۵۰ می‌رسد(۴۱). مطالعه‌ی ذوالفقاری و همکاران، در زمینه‌ی تحلیل و مدل-سازی سیستم تهویه آرام و آشفته در یک اتاق عمل، نشان می‌دهد که جریان ورودی آرام و قرارگیری دریچه‌های خروجی در نزدیک کف، الگوی سرعت جریان هوای مناسب‌تری را فراهم می‌کند، که در این حالت غلظت آلاینده‌ها در اطراف بیمار کمتر خواهد بود(۴۲). در راستای مطالعه حاضر، مطالعه Gormley و همکاران در بررسی کیفیت هوا در سه اتاق عمل نشان دادند، که صرفا افزایش نرخ تغییر هوا، لزوما محیطی تمیزتر فراهم نمی‌کند. اما مصرف انرژی و هزینه‌ها را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهد(۴۳). باتوجه به این یافته‌ها؛ صرفا، عامل نرخ تبادل هوا، در کاهش تعداد بیوآئرسول‌ها موثر نیست و قطعا عوامل دیگری هم در این زمینه دخیل‌اند. براساس مطالعات ویلیام و همکاران، استاندارد قابل‌قبول برای هوای اتاق عمل قبل از استفاده بین صفر تا یک پاتوژن و در حال فعالیت بین۲ تا ۴ پاتوژن در فوت مکعب پیشنهاد شده است(۴۴). برای کاهش میزان مواجهه پزشکان با هوای بازدمی بیماران در اتاق عمل، Melikov و همکاران نشان دادند که استفاده از سیستم‌های تهویه‌ی جدید در کنار تخت بیماران و نصب سیستم مکنده در مکانی نزدیک به تخت و دهان بیمار، سبب کاهش مواجهه‌ی پزشکان با هوای بازدمی بیمار می-شود. نتایج مطالعه‌ی آنان نشان داد که استفاده از سیستم تهویه‌ی مناسب،که بخش مکنده‌ی آن با فاصله‌ی کمی از دهان بیمار نصب شده باشد (در حدود ۳۵سانتیمتر)، سبب کاهش میزان مواجهه‌ی تنفسی شاغلین می‌گردد. به عبارتی حتی با وجود تعداد تعویض هوای کمتر، (۳ بار تعویض هوا در ساعت)، یک سیستم تهویه، که دارای راندمان مکش برابر ۹۲/۸۳٪ باشد، منجر به کاهش مقدار مواجهه افراد با آلاینده‌ها در منطقه‌ی تنفسی پزشک خواهد شد(۴۴).

نتایج ارزیابی ریسک، ریسک سلامتی را برای باکتری‌ها و قارچ‌های استنشاق شده در سطح قابل‌قبول و مطلوب نشان داد. در حین حال غلظت بیوآئروسل‌ها را می‌توان به عنوان مهمترین متغییر تاثیرگذار در ریسک سلامتی برآورد کرد. در یک مطالعه ارزیابی ریسک سلامتی برای بیوآئروسل‌ها، در دو تصفیه‌خانه فاضلاب، نقش غلظت در ریسک، نسبت به سایر متغیرها بیشتر بود. نتایج مطالعه ذکر شده نشان می‌دهد، زمانی که افراد از تجهیزات حفاظت فردی استفاده نمی‌کردند، ریسک ۴۸٪ تحت تاثیر غلظت بود. در عین حال زمانی که افراد از تجهیزات حفاظت فردی استفاده کرده بودند، به۳۰٪ کاهش یافته بود(۲۰). مطالعه مشابه دیگری توسط قلی پورو همکاران برای ارزیابی مواجهه با SARS-CoV-2 در بین کارگران تصفیه خانه‌های فاضلاب، نشان می‌دهد که حساس‌ترین متغیر در ریسک سلامتی، غلظت بیوآئروسل است. همچنین مدت زمان مواجهه با بیوآئروسل، نسبت به دما و رطوبت محیط، سهم بیشتری در ریسک سلامتی داشته‌است(۴۵). گرچه شرایط و ماهیت مکان، برای مطالعات فوق‌الذکر و مطالعه حاضر، باهم تفاوت دارند، اما در همه آنها نقش غلظت بیوآئروسل‌ها، به عنوان مهمترین متغییر تاثیرگذار در ریسک شناخته شده است. باتوجه به نتایج حاضر، می‌توان استفاده از سیستم‌های هوادهی مناسب، تأسیسات پوششی و تهویه مؤثر را برای کاهش غلظت انتشار بیوآئروسل‌ها از منابع، پیشنهاد کرد. بعلاوه، اجرای اقداماتی مانند استفاده از تجهیزات حفاظت فردی برای همه افراد حاضر در اتاق‌های عمل، به‌کارگیری اقدامات کنترل فنی و مهندسی مناسب برای کاهش مواجهه در طول فرآیندهای درمان، می‌تواند به طور قابل توجهی ریسک مواجهه با بیوآئروسل‌ها را کاهش دهد. این اقدامات به ویژه در شرایط محیطی با درجه حرارت بالا و رطوبت پایین موثر است.

همانند هر مطالعه دیگر، این مطالعه هم دارای محدودیت‌هایی بوده‌است. با توجه به اینکه میزان انتشار آلودگی بیولوژیکی ممکن است؛ بسته به نوع عمل‌های جراحی مختلف، متفاوت باشد، در داده‌های جمع‌آوری شده

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

در این مطالعه، نوع عمل جراحی مشخص نیست. بنابراین پیشنهاد می‌شود، در مطالعات بعدی، نوع عمل جراحی و مدت زمان عمل مورد بررسی قرار گیرند. همچنین ارزیابی بیولوژیکی قبل و بعد از عمل جراحی به صورت مجزا بررسی شود. علاوه‌براین، عوامل مختلف دیگری، از جمله؛ تعداد باز و بسته شدن درب اتاق عمل و تعداد افراد حاضر در اتاق حین جراحی، می‌تواند بر میزان انتشار آلودگی تاثیر بگذارد. بنابراین نیاز به مطالعات بعدی برای روشن شدن این موضوع همچنان وجود دارد. در صورتی که مطالعات بیشتری جهت ارائه یک مدل ریاضی، برای دست‌یابی به ارتباط نرخ تبادل هوا و تراکم آلودگی بیولوژیکی انجام شود، می‌توان برای کاهش مصرف انرژی و استفاده بهینه از آن برنامه موثرتری ارائه نمود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی نرخ تبادل هوا و ارزیابی ریسک سلامتی بیوآئروسل‌های هوابرد، در اتاق‌های عمل مراکز جراحی و بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که میانگین تراکم بیوآئروسل‌های باکتریایی و قارچی در اتاق عمل بیمارستان‌ها وکلینیک‌های جراحی، کمتر از حد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. همچنین بین نرخ تعویض هوا و تراکم بیوآئروسل‌های باکتریایی و قارچی ارتباط معنی‌دار وجود ندارد، بطوریکه افزایش نرخ تبادل هوا، منجر به کاهش میزان آلودگی بیولوژیکی نخواهد شد. این موضوع در مدیریت کاهش مصرف انرژی اهمیت بسزایی دارد. علاوه‌بر این، ریسک سلامتی برای بیوآئروسل‌های استنشاق شده در سطح قابل‌قبول و مطلوب بوده و غلظت بیوآئروسل‌ها به عنوان مهمترین متغیر تاثیرگذار در ریسک سلامتی شناخته می‌شود. لذا به‌کارگیری کنترل‌های مهندسی و مدیریتی مناسب، برای کاهش انتشار بیوآئروسل‌ها از منابع، به عنوان مهمترین راهکار برای کاهش ریسک و کنترل مواجهه افراد پیشنهاد می‌گردد.

سپاس‌گزاری

بر خود وظیفه می‌دانیم؛ از زحمات تمامی افرادی که در این مسیر، راهنما و کمک حالمان بودند، به‌ویژه از همکاری‌های ارزشمند گروه سلامت محیط و کار معاونت امور بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، نهایت تشکر و قدرانی را داشته باشیم.

حمایت مالی

پژوهش حاضر بدون حمایت مالی بوده است.

تعارض در منافع

هیچ نوع تضاد منافعی بین نویسندگان وجود نداشت.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه بخشی از نتایج پایان‌نامه برای دریافت درجه دوره‌ی عالی بهداشت عمومی (MPH) در رشته بهداشت محیط می‌باشد، که با کد اخلاق IR.SBMU.PHMS.REC.1402.038 در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران تایید شده‌است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان سهم یکسانی در نگارش مقاله دارند.

Refrences

1. Tastassa AC, Sharaby Y, Lang-Yona N. Aeromicrobiology: A global-scale review of the cycling and relationships of bioaerosols with the atmosphere. Science of the Total Environment. 2024: 912:168478.
2. Guzman MI. An overview of the effect of bioaerosol size in coronavirus disease 2019 transmission. The International journal of health planning and management. 2021. 36(2):257-266.
3. Moelling K, Broecker F. Air microbiome and pollution: composition and potential effects on human health, including SARS coronavirus infection. Journal of environmental and public health. 2020:1-14.
4. Ikhtiar M,Alzad H,Paramita S. Microbiological assessment of indoor air of Takalar County hospital wards in South Sulawesi. Indonesia Science J Public Health. 2017. 5(3):172-177.
5. Fernandez MO: Development of a Novel In Vitro Approach to Study the Transmission of Airborne Disease.2021.University of Bristol. Available from: http://research-information.bristol.ac.uk . Accessed February. 2021.
6. Yan Y,Tu J. Case Studies of Bioaerosol Inhalation and Deposition in Bioaerosol Characterisation. Transportation and Transmission: Fundamental. Modelling and Application. 2023: 217-273.
7. Ereth MH,Fine J,Stamatatos F,Mathew B,Hess D,Simpser E .Healthcare-associated infection impact with bioaerosol treatment and COVID-19 mitigation measures. Journal of Hospital Infection. 2021:116: 69-77.

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

8. Agodi A, Auxilia F, Barchitta M, Cristina ML, D'Alessandro D, Mura I, Nobile M, Pasquarella C .Operating theatre ventilation systems and microbial air contamination in total joint replacement surgery: results of the GISIO-ISChIA study. Journal of Hospital Infection. 2015. 90(3): 213-219.
9. Azimi F, Nabizadeh R, Alimohammadi M,Naddafi K.Bacterial bioaerosols in the operating rooms: a case study in Tehran Shariati hospital. Journal of Air Pollution and Health. 2016 . 1(3): 215-218. [Persian]
10. Fernandes J, Aguiar P, Mendes-Rodrigues C, Martins CH. Assessing bacterial bioaerosol and environmental variables of critical hospitalization units of a tertiary hospital. Aerobiologia. 2023. 39(3): 285-302.
11. Bali RK. Operating room protocols and infection control. Oral and maxillofacial surgery for the clinician. 2020.173-194.
12. Eriksson J, Lindgren BM, Lindahl E. Newly trained operating room nurses' experiences of nursing care in the operating room. Scandinavian journal of caring sciences. 2020. 34(4):1074-1082.
13. Pertegal V, Lacasa E, Cañizares P, Rodrigo MA, Sáez C. Understanding the influence of the bioaerosol source on the distribution of airborne bacteria in hospital indoor air. Environmental Research. 2023. 216(1): 4458.
14. Fu Shaw L, Chen IH, Chen CS,Wu HH, Lai LS, Chen YY. et al. Factors influencing microbial colonies in the air of operating rooms. BMC Infect Dis. 2018. 2;18(1): 4
15. Mohammadian M,Movahedi M.Survey of biological factors in indoor air of Emam Khomeini and Shahid Zare hospitals in Sari during 2008. Journal of north Khorasan University of medical sciences. 2010. 2(2 -3): 51 - 58 [Persian]
16. Dehdashti A,Sahranavard N,Rostami R, BarkhordariA,Banayi Z.Survey of bioaerosols type and concentration in the ambient air of hospitals in Damghan, Iran. Occupational medicine quarterly Journal. (2013);4(3):41-51. [In Persian]
17. Antony A, Farid M. Effect of temperatures on polyphenols during extraction.Applied Sciences.2022. 12(4): 2107.
18. Adschiri T, Hakuta Y, Sue K, Arai K. Hydrothermal synthesis of metal oxide nanoparticles at supercritical conditions. Journal of Nanoparticle Research. 2001.3:227-35.
19. Changsheng Qu, Bing Li, Haisuo Wu, Shui Wang, Fengying Li. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals in sediments from China's major aquatic bodies. Stochastic environmental research and risk assessment. 2016. 30: 271-282.
20. Chen YH, Yan C, Yang YF, Ma JX. Quantitative microbial risk assessment and sensitivity analysis for workers exposed to pathogenic bacterial bioaerosols under various aeration modes in two wastewater treatment plants. Sci Total Environ. 2021.755(2):142615.
21. Nava A, Study of Unidirectional Flow Ventilation-Conditions for microbiological air cleanliness during advanced surgeries. 2019. Available from: https://hdl.handle.net/10589/146750
22. Ouyang X, Wang Q, Li X,Zhang T, Rastogi S. Laminar airflow ventilation systems in orthopaedic operating room do not prevent surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. J Orthop Surg Res. 2023.18(1):572.
23. Liu Z, Liu H, Yin H, Rong R, Cao G, Deng Q. Prevention of surgical site infection under different ventilation systems in operating room environment. Front Environ Sci Eng. 2021.15(3):36
24. Sadrizadeh S, Aganovic A, Bogdan A, Wang C, Afshari A, Hartmann A. A systematic review of operating room ventilation. Journal of Building Engineering. 2021. 40:102693.
25. Jangir A, Siddiquee AN, Mankotia S, Tiwari V, Vyas G , Choudhary R.A comparative study of ventilation system used for the bacteria prevention in operation room in healthcare units.Materials Today. 2022. 50(5):2355-2360
26. Zhang Y, Cao G, Guohui F, Xue K. The impact of air change rate on the air quality of surgical microenvironment in an operating room with mixing ventilation. Journal of Building Engineering.2020. 32: 101770.
27. Yousefzadeh A, Maleki A, Athar SD, Darvishi E, Ahmadi M, Mohammadi E, Tang VT, Kalmarzi RN, Kashefi H. Evaluation of bio-aerosols type, density, and modeling of dispersion in inside and outside of different wards of educational hospital. Environ Sci Pollut Res Int. 2022 .29(10):14143-14157
28. Zare Sakhvidi M J. A guide to the assessment of bioacerols in the workplace.1.Tehran: Daneshjoo publications, 2017: 30. [In Persian]
29. Van Gaever R, Jacobs V.A, Diltoer M, Peeters L, Vanlanduit S. Thermal comfort of the surgical staff in the operating room. Building and Environment Journal. 2014. 81: 37-41.
30. Salunkhe A, Dudhwadkar S, Tandon S, Raju N. Public health risk assessment and speciation of air-borne microorganisms in an office building. Journal of Aerosol Science.2024.179: 106362.
31. Yan X, Qiu D, Zheng S, Yang J, Sun H, Wei Y, Han J, Sun J, Su X. Distribution characteristics and noncarcinogenic risk assessment of culturable airborne bacteria and fungi during winter in Xinxiang, China. Environmental Science and Pollution Research. 2019. 26: 36698-36709.
32. Aven T. A risk science perspective on the discussion concerning Safety I, Safety II and Safety III. Reliability Engineering & System Safety. 2022. 217: 108077.
33. Wang H, Anderson J.Large-scale system identification using a randomized svd. in 2022 American Control Conference (ACC). 2022. 2178-2185

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

34. Kentel E, Aral M. Probabilistic-fuzzy health risk modeling. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (SERRA). 2004. 18: 324-338.
35. Farzadkia M, Djahed B, Shahsavani S,Dehghanifard E. Prediction of gas emission and derived electrical power generation from shiraz landfill. Global nest journal. 2015. 17(3): 487-497.
36. Ghorbani Shahna F, Joneidi Jafari A,Yousefi Mashouf R, Mohseni M, Shirazi J. Type and Concentration of Bioaerosols in the Operating Room of Educational Hospitals of Hamadan University of Medical Sciences and Effectiveness of Ventilation Systems, in Year 2004. 2006. 13 (2): 64-70. [Persian].
37. Choobineh A, Rostami R, Tabatabaei SH.Assessment of bioaerosols types and concentration in ambient air of Shiraz University of Medical Sciences ducational hospitals in 2008. Iran Occupational Health Journal. 2009. 6 (2) 69-76. [In Persian]
38. Shahsavani A.Manual Air Conditioning Systems In Hospitals.1. Tehran: Environmental Research Institute Inc,2014:1-5. [In Persian]
39. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170. 2017.Ventilation of Healthcare Facilities. Available from: https://www.ashrae.org/
40. Audurier A,Fenneteau A, Rivier R, Aaoult A. Bacterial contamination of the air in different operating rooms. Epidemiology and Public Health Journal. 1985. 33(2): 134-41
41. Vonci N, De Marco MF, Grasso A, Spataro G, Cevenini G, Messina G. Association between air changes and airborne microbial contamination in operating rooms. Journal of Infection and Public Health. 2019 .1;12(6):827-30.
42. Zulfeqari A, Azizi S. Analysis and modeling of laminar and turbulent ventilation system in an operating room. Proceedings of the second conference of air conditioning.Birjand University, 2015.1-5
43. Gormley T, Markel TA,Jones H, Greeley D, Ostojic J, Clarke JH. Cost-benefit analysis of different air change rates in an operating room environment. American journal of infection control. 2017.45(12): 1318-23.
44. Dehghani MH.Rahnamaye behdashte bimarestan. 2.Tehran:Nakhl Inc. 2001. 289-301.[Persian].
45. Gholipour S, Nikaeen M. Comment on Quantitative SARS-CoV-2 exposure assessment for workers in wastewater treatment plants using Monte-Carlo simulation by Cheng Yan et al. Water Research. 2024.1(256):121115.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]

CC BY- NC 4.0

Investigating the concentration and health risk assessment of bioaerosols in the surgery centers and hospital operating rooms of Shahid Beheshti University of Medical Sciences

Shahsavani A[1] , Band-pay Mohseni A[2] , Rahmatinia M[3], Fallah SA[4*]

[1]Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Safety, Shahd Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[2]Full Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Safety, Shahed Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[3]PhD in Environmental Health Engineering, Air Quality and Climate Change Research Center, Health and Environmental Sciences Research Institute, School of Health and Safety, Tehran, Iran

[4]Student of the Advanced Public Health (MPH) course, majoring in environmental health, Faculty of Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Due to the special conditions in operating rooms, infection control is important to maintain health. So, the aim of this study was to survey of air exchange rate/changes per hour (ACH) and health risk assessment of bioaerosols in the surgery center or hospital operating rooms.

Materials and Methods: The results of measuring of bioaerosols by pollution measurement companies were used, in 1401. In 1402, 10 operating rooms were randomly selected and the reliability of the results was examined for these two years. Sampling and analysis of the samples was provided based on the NIOSH 0800 method and ACH were measured by a anemometer. The relationship between the number of bioaerosols and ACH, and also, the reliability between results were calculated with the PCC and the ICC test, respectively, in SPSS-V22 software. The health risk assessment and the probability of risk were estimated by Monte Carlo simulation, in Crystal Ball software.

Results: Among 62 operating rooms, the average number of bacterial and fungal colonies was 69.73±14.59 CFU/m^3 and 21.67±4.52 CFU/m^3, respectively, which is less than the recommended limit of WHO. The average ACH was 19.67±2.18 per hour. No significant relationship was observed between ACH and the number of colonies (p-value $\geq$ 0.05). Risk assessment for bacteria and fungi were at an acceptable level and the concentration of bioaerosols was recognized as the most sensitive variable influencing the risk.

Conclusion: Increasing ACH will not lead to a reduction in the load of bioaerosol pollution in operating rooms, which can be very important in the management of reducing energy consumption.

Keywords: Bioaerosols; Bacteria; Fungus; Air exchange rates; Risk assessment

This paper should be cited as:
Shahsavani A, Band-pay Mohseni A, Rahmatinia M, Fallah SA. Investigating the concentration and health risk assessment of bioaerosols in the surgery centers and hospital operating rooms of Shahid Beheshti University of Medical Sciences. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2024; 16(3): 15-26.

**** Corresponding Author:***
Email: HSE9865@gmail.com
Tel: +98 2188547894
Received: 02.07.2024 ***Accepted: 02.10.2024***

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-27]

[DOI: 10.18502/tkj.v16i3.16872]