



## تعیین اثر بخشی حالات مختلف سامانه تهویه بر کاهش میزان مواجهه شغلی کارکنان درمانی با بیوآئروسل‌ها

محمدجواد جعفری<sup>۱</sup>، محمدرضا حاج غلامی<sup>۲</sup>، میناجعفری<sup>۳</sup>، زهره امیری<sup>۴</sup>، لیلامیدی<sup>۵\*</sup>، سوسن صالح پور<sup>۶</sup>، پیام طبرسی<sup>۷</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** هوای بیمارستان‌ها می‌تواند حاوی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا باشد که بر سلامت و آسایش پرسنل و بیماران درمانی تاثیر دارد. مطالعه‌ی حاضر با هدف تعیین اثربخشی حالات مختلف سیستم تهویه بر میزان مواجهه‌ی فردی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌های هوابرد در اتاق ایزوله، با در نظر گرفتن محل استقرار تخت بیمار و پرسنل درمانی انجام گرفت.

**روش بررسی:** در این مطالعه ضمن اعمال ۵ حالت تهویه، هر یک در چهار ظرفیت مختلف به یک اتاق ایزوله‌ی یک تخته بیمارستانی که در آن یک بیمار مسلول بستری شده بود، ۲ چیدمان برای تخت (حالت اول گوشه‌ی اتاق و حالت دوم وسط اتاق) و دو نحوه‌ی استقرار پرسنل درمانی (حالت اول کنار تخت و بالای سر بیمار و حالت دوم پایین تخت بیمار) از هوای اتاق نمونه‌برداری فردی بعمل آمد. جهت نمونه‌برداری فردی از روش فیلتراسیون توصیه شده توسط کنفرانس دولتی بهداشت صنعتی آمریکا ACGIH استفاده شد. برای تعیین ارتباط میان متغیرها و تعیین تأثیر آن‌ها از آزمون Post hoc Dunnett's test استفاده شد.

**یافته‌ها:** بیشترین مواجهه‌ی شغلی با بیوآئروسول‌ها در زمانی که سیستم تهویه خاموش بود مشاهده گردید و استفاده از حالات مختلف تهویه سبب کاهش معنی‌دار ( $P_{value} < 0/001$ ) مواجهه‌ی فردی پرسنل با بیوآئروسول‌ها گردید. بهترین ظرفیت تهویه مربوط به ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت بود. نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی‌داری را میان تراکم آلاینده‌ها و محل استقرار پرسنل در محل ۱ و ۲ و مکان تخت ۱ و ۲ نشان نداد ( $P_{value} > 0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** استفاده از سیستم تهویه با ورود هوا از طریق یک دریچه‌ی گرد از سمت یک دیوار و تخلیه‌ی هوا از طریق یک دریچه‌ی خطی نصب شده در دیوار مقابل با ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت موثرترین راه کاهش مواجهه‌ی فردی با بیوآئروسول‌های هوابرد در اتاق ایزوله است.

**کلیدواژه‌ها:** سیستم تهویه، مواجهه‌ی فردی، پرسنل درمانی، بیوآئروسول‌ها، ظرفیت تهویه

۱. استادگروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۲. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۳. رزیدنت پاتوبیولوژی، گروه پاتوبیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۴. استادیار گروه آمارزیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۵. نویسنده مسئول) دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. پست الکترونیک: [omidil@razi.tums.ac.ir](mailto:omidil@razi.tums.ac.ir)

۶. متخصص طب کار، مرکز درمانی مسیح دانشوری، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۷. عضو هیئت علمی مرکز درمانی مسیح دانشوری، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران.



## مقدمه

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هوای محیط داخل ساختمان بر سلامت و آسایش افراد تأثیر دارد. کیفیت هوای محیط داخل ساختمان به راحتی قابل کنترل نبوده و کیفیت پایین هوا در مراکز درمانی ممکن است منجر به اثرات نامطلوب بر سلامت پرسنل بهداشتی- درمانی گردد. هوای بیمارستان‌ها حاوی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است [۱]. آمار ابتلاء به بیماری سل در پرسنل بهداشتی- درمانی در کشورهای در حال توسعه و اخیراً در کشورهای توسعه یافته افزایش یافته است. افزایش تعداد گونه‌های مقاوم در برابر دارو نظیر مایکوباکتریوم توبرکلوزیس (عامل بیماری سل) که درمان با آنتی بیوتیک را مشکل ساز نموده است، سبب افزایش نرخ بیماری در کشورها شده است [۲]. از سال ۱۹۵۰، انتقال بیماری سل به عنوان یک مخاطره‌ی شغلی مورد توجه قرار گرفته است. نتایج یک مرور سیستماتیک در سال ۲۰۱۱ نشان داد که متوسط بروز سالانه‌ی بیماری سل در کارکنان مراکز بهداشتی- درمانی در کشورهایی با میزان بروز کم، متوسط و بالا به ترتیب ۶۷، ۹۱ و ۱۱۸۰ مورد به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر بوده است. متوسط بروز سالانه‌ی تخمین زده شده در جمعیت عمومی در کشورهایی با میزان بروز کم، متوسط و بالا به ترتیب ۳۳، ۸۲ و ۳۱۱ مورد به ازای ۱۰۰۰۰۰ نفر بوده است. مقایسه‌ی نتایج آنالیز نشان می‌دهد که بروز سل در کارکنان مراکز بهداشتی- درمانی بالاتر از جمعیت عمومی بوده و این یافته‌ها تأیید می‌نماید که سل یک بیماری شغلی است. همچنین نتایج این مطالعه بیانگر آن است که بکارگیری اقدامات کنترلی سبب کاهش بروز بیماری سل در کارکنان مراکز بهداشتی- درمانی در کشورهایی با میزان بروز کم، متوسط و بالا به میزان ۴۹، ۲۷ و ۸۱٪ می‌گردد [۳].

پتانسیل انتقال عوامل بیماری‌زا از طریق هوا بطور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. این شکل از مواجهه از طریق انتشار قطرات و مواجهه با ذرات کوچکی که برای مدت‌های طولانی در هوا باقی می‌مانند، صورت می‌پذیرد. قطر آئرودینامیکی ذرات و قطرات بیماری‌زا در هوا ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر گزارش شده است. تهویه اولین استراتژی در کنترل عوامل بیماری‌زا از طریق رقیق‌سازی هوای اتاق و حذف عوامل بیماری‌زا است. نتایج مطالعات انجام شده به وسیله‌ی دینامیک سیالات محاسباتی نشان داده است که استفاده از سیستم‌های تهویه با دمش ۱۰۰٪ هوای تازه،

فیلترهای راندمان بالا و استفاده از اشعه‌ی فرابنفش در ضدعفونی نمودن هوای مراکز بهداشتی- درمانی می‌تواند سبب حفاظت از پرسنل این مراکز گردد. اختلاف فشار اتاق نیز در کنترل جریان هوای نواحی داخل ساختمان اهمیت دارد. برای مثال اتاق ایزوله همواره نسبت به نواحی مجاور دارای یک فشار منفی است تا عوامل بیماری‌زا از طریق جریان هوا از آن خارج نگردند [۴].

مرکز کنترل بیماری‌ها در ایالات متحده ( CDC US: Centers for Disease Control and Prevention) فشار منفی ۰/۲۵ پاسکال و Marshal و Streifel فشار منفی ۲/۵ پاسکال را برای اتاق‌های ایزوله توصیه نموده‌اند [۵]. اتاق‌های ایزوله که بیماران مسلول در آن‌ها نگهداری می‌شوند، دارای تراکم بالای بیوآئروسول بوده و تهویه‌ی مؤثر این اتاق‌ها به منظور پیشگیری از انتقال هوا برد بیماری به پرسنل درمانی دارای اهمیت ویژه‌ای است. نرخ تهویه در این اتاق‌ها تأثیر زیادی بر کاهش میزان مواجهه با بیوآئروسول‌های هوا برد دارد [۶].

مرکز کنترل بیماری‌های آمریکا در راهنمای منتشر شده برای اتاق‌های ایزوله‌ای که در آن بیماران مبتلا به سل بستری شده‌اند، نرخ تهویه‌ی ۶ بار تعویض هوا در ساعت را برای بیمارستان‌های موجود و ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت را برای بیمارستان‌های در حال احداث یا نوسازی توصیه نموده است. اما این نرخ تهویه نیازمند صرف انرژی بالا برای خنک نمودن یا گرم نمودن هوای داخل اتاق‌ها بوده و در کشورهای با منابع محدود نمی‌تواند بکار گرفته شود. با این حال نرخ تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت که به وسیله‌ی انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه‌ی آمریکا توصیه شده است، در مدت ۳۵ دقیقه سبب کاهش ۹۹/۹٪ از آلاینده‌های هوا برد می‌گردد و در کاهش بیوآئروسول‌های هوا برد تأثیر زیادی دارد [۶، ۷]. نتایج مطالعه‌ی جعفری و همکاران نشان داد که بکارگیری سیستم تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت در اتاق ایزوله تأثیر زیادی در کاهش تراکم بیوآئروسول‌های موجود در داخل اتاق داشت [۶].

محل قرارگیری تخت‌بیمار به عنوان منبع انتشار بیوآئروسول نسبت به سیستم تهویه در میزان مواجهه‌ی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌های هوا برد مؤثر است. همچنین نحوه‌ی استقرار پرسنل درمانی در کنار تخت بیماران بر میزان مواجهه‌ی آنان اثر دارد [۶، ۸]. مطالعه‌ی حاضر با هدف ارزیابی تأثیر حالات مختلف تهویه‌ی میزان مواجهه‌ی فردی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌های هوا برد در یک اتاق ایزوله که فرد مبتلا به بیماری سل در آن بستری شده، با



دیوار جنوبی تخلیه می‌شد. در حالت سوم هوا توسط یک دریچه‌ی گرد نصب شده در سقف اتاق وارد و از طریق دریچه‌ی نقطه‌ای (گرد) موجود در دیوار جنوبی تخلیه می‌شد. در حالت چهارم تهویه، هوا توسط یک دریچه‌ی گرد نصب شده در سقف اتاق وارد و از طریق دریچه‌ی خطی نصب شده در دیوار جنوبی تخلیه می‌شد. در حالت پنجم هوا توسط یک دریچه‌ی گرد نصب شده در دیوار سمت شمالی اتاق وارد و از طریق دریچه‌ی خطی نصب شده در سقف تخلیه می‌شد. هوای تازه‌ی بیرون توسط سیستم دمنده وارد اتاق می‌شد. مطالعه حاضر با در نظر گرفتن چهار ظرفیت تهویه‌ای مختلف شامل ۰، ۲، ۶ و ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت انجام پذیرفت.

یکی از ویژگی‌های اتاق ایزوله وجود فشار منفی در اتاق است. در این پژوهش به دلیل وجود هوای آلوده در سالن مجاور فشار منفی در اتاق برقرار نگردید اما در تمام طول مطالعه درب اتاق بسته بود و میزان هوای ورودی توسط دمنده ۲۰٪ بیش از هوای خروجی در نظر گرفته شد تا از ورود آلودگی از بخش‌های مجاور جلوگیری گردد [۶]. جهت تعیین تراکم بیوآئروسول‌های در هوای بیرون از ساختمان بیمارستان، نمونه‌برداری محیطی بیوآئروسول‌ها در دهانه کانال ورودی هوا انجام شد. برای این منظور، از روش برخورد مستقیم و محیط کشت آگار خونی استفاده شد. نمونه‌برداری محیطی توسط باکتری سمپلر به مدت ۴ دقیقه با دبی ۳۰ لیتر بر دقیقه انجام گرفت [۶].

۲ چیدمان برای تخت و دو نحوه‌ی استقرار برای پرسنل درمانی در نظر گرفته شد. در حالت اول چیدمان تخت، تخت در گوشه‌ی اتاق و نزدیک به سیستم تخلیه کننده‌ی هوا و در حالت دوم تخت در وسط اتاق قرار گرفت. نحوه‌ی استقرار پرسنل در حالت اول فرد در کنار تخت و در سمت راست بیمار قرار می‌گرفت و در حالت دوم فرد در پایین تخت و کنار پای بیمار می‌ایستاد. جهت رعایت اخلاق در پژوهش از یک مولاژ به جای پرسنل درمانی استفاده گردید و در زمان نمونه‌برداری فقط فرد بیمار در اتاق حضور داشت. شکل ۱ نحوه‌ی چیدمان تخت و محل استقرار پرسنل را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن ۵ حالت برای تهویه، ۲ محل استقرار برای پرسنل درمانی، ۲ چیدمان برای محل تخت، ۴ ظرفیت تهویه و ۲ بار تکرار برای هر حالت در مجموع ۱۶۰ نمونه‌برداری فردی برای بیوآئروسول‌ها انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و توسط آزمون آماری آنالیز واریانس چهار طرفه انجام

در نظر گرفتن محل استقرار تخت بیمار و پرسنل درمانی انجام گرفت.

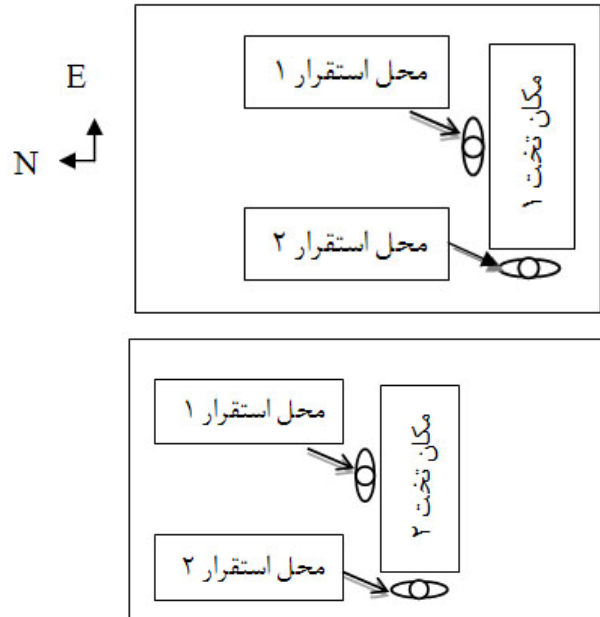
## روش بررسی

در این مطالعه‌ی توصیفی-تحلیلی، جهت به جریان انداختن هوا در اتاق ایزوله‌ایکه یک بیمار مبتلا به سل در آن بستری بود، از یک فن دمنده با توان محاسباتی ۰/۳۴ کیلووات و یک فن مکنده با توان محاسباتی ۰/۳۲ کیلووات استفاده شد. همچنین جهت خروج هوا از اتاق ایزوله از دو هود استفاده گردید. برای خروجی خطی از یک هود شکاف‌دار به طول ۱/۵ متر و عرض شکاف ۲ سانتی‌متر و برای خروجی نقطه‌ای از یک هود ساده با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر استفاده گردید. دستگاه آنومتر حرارتی (TA2, Airflow Developments, England) جهت قرائت گذر حجمی هوا مورد استفاده قرار گرفت. جهت نمونه‌برداری فردی از منطقه‌ی تنفسی شاغل فرضی، روش فیلتراسیون توصیه شده توسط انجمن دولتی بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH: American Conference of Industrial Hygienists) استفاده شد. تجهیزات مورد استفاده در این روش نمونه‌برداری شامل پمپ نمونه‌بردار فردی، فیلتر ممبران سلولز استر با سایز ۰/۸ میکرون و قطر ۴۷ میلی‌متر، فیلتر هلدنر و محیط کشت آگار خونی برای نمونه‌برداری از باکتری‌ها بود. کلیه تجهیزات پیش از استفاده کالیبره و استریل می‌شدند. دبی هوای عبوری از فیلتر ۴ لیتر بر دقیقه و زمان نمونه‌برداری ۳۰ دقیقه بود. پس از اتمام نمونه‌برداری، با توجه به نوع محیط و نوع آنالیز، محیط‌های کشت برای مدت معینی داخل انکوباتور قرار می‌گرفت و سپس نوع و تعداد کلنی‌های هر پلیت در آزمایشگاه پاتولوژی شمارش می‌گردید. با در نظر گرفتن حجم هوای نمونه‌برداری شده پس از تصحیح فشار و دما تعداد کلنی‌های شمارش شده در هر متر مکعب هوا ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) ثبت می‌شد.

نمونه‌برداری فردی در مرحله اول زمانی انجام شد، که هر دو سیستم دمنده و مکنده خاموش بودند. سپس، با در نظر گرفتن ۵ حالت مختلف تهویه و هر یک در ۴ ظرفیت گوناگون جهت کاهش تراکم بیوآئروسول‌ها در اتاق ایزوله نمونه‌برداری فردی انجام گردید. در حالت اول تهویه، هوا از دیوار شمالی توسط یک دریچه‌ی گرد وارد و از طریق دریچه‌ی خطی موجود در دیوار جنوبی (دیوار مقابل) تخلیه می‌شد. در حالت دوم هوا از دیوار شمالی توسط یک دریچه‌ی گرد وارد و از طریق دریچه‌ی نقطه‌ای (گرد) موجود در



شد. تعیین ارتباط میان متغیرها و تعیین تاثیر آن‌ها با استفاده از از آزمون Post hoc Dunnett's test صورت پذیرفت.



شکل ۱- نحوه‌ی چیدمان تخت و محل استقرار پرسنل در مطالعه

### یافته‌ها

نتایج بررسی نمونه‌ها نشان داد که در حالت ۱ تهویه یعنی ورود هوا توسط یک دریچه‌ی گرد از دیوار شمالی و تخلیه از طریق دریچه‌ی خطی موجود در دیوار جنوبی، با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت زمانیکه که تخت در وسط اتاق و فرد در پایین تخت و کنار پای بیمار حضور داشت، میزان مواجهه‌ی فرد با بیوآئروسول‌ها به  $12/5 \text{ cfu/m}^3$  کاهش یافت. جدول ۱ نتایج نمونه‌برداری فردی در

حالت ۱ تهویه را نشان می‌دهد.

در حالت ۲ تهویه یعنی ورود هوا از یک دریچه‌ی گرد از دیوار شمالی و تخلیه توسط یک دریچه‌ی گرد از دیوار جنوبی، ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت در مکان تخت ۲ و محل استقرار فرد ۲ سبب کاهش میزان مواجهه‌ی فرد به  $37/5 \text{ cfu/m}^3$  شد. نتایج این بخش از مطالعه در جدول ۲ ارائه گردیده است.

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۳ در حالت سوم تهویه یعنی ورود هوا از طریق یک دریچه‌ی گرد نصب شده در سقف اتاق و تخلیه توسط دریچه‌ی نقطه‌ای (گرد) موجود در دیوار جنوبی، کمترین میزان مواجهه با بیوآئروسول‌ها در مکان تخت ۱، محل استقرار فرد ۲ و ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت مشاهده گردید.

میانگین مواجهه‌ی فردی با بیوآئروسول‌ها در حالت ۴ تهویه (ورود هوا از طریق دریچه‌ی گرد نصب شده در سقف اتاق و تخلیه توسط دریچه‌ی خطی نصب شده در دیوار جنوبی) در ساعت در جدول ۴ نشان داده شده است. در این قسمت کم‌ترین میزان مواجهه با بیوآئروسول‌ها در مکان تخت ۲ با ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت مشاهده گردید.

در حالت ۵ تهویه یعنی ورود هوا از طریق دریچه‌ی گرد نصب شده در دیوار سمت شمالی اتاق و تخلیه توسط دریچه‌ی خطی نصب شده در سقف، در محل استقرار فرد ۱، مکان تخت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت تراکم بیوآئروسول‌ها  $25 \text{ cfu/m}^3$  بود، که کمترین میزان مواجهه را نشان می‌دهد. نتایج این قسمت در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۱- میانگین تراکم بیوآئروسول‌های موجود در منطقه‌ی تنفسی فرد در حالت ۱ تهویه ( $\text{cfu/m}^3$ )

| مکان تخت ۲        |                   | مکان تخت ۱        |                   | ظرفیت تهویه   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| محل استقرار فرد ۲ | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ | محل استقرار فرد ۱ | تعویض در ساعت |
| $296/8 \pm 53/8$  | $296/8 \pm 53/8$  | $296/8 \pm 53/8$  | $296/8 \pm 53/8$  | ۰             |
| $62/5 \pm 22/8$   | $93/7 \pm 26/5$   | $62/5 \pm 17/7$   | $50 \pm 8/8$      | ۲             |
| $12/5 \pm 0$      | $31/2 \pm 8/8$    | $43/7 \pm 8/8$    | $37/5 \pm 17/7$   | ۶             |
| $12/5 \pm 7/7$    | $25 \pm 0$        | $12/5 \pm 0$      | $25 \pm 17/7$     | ۱۲            |

(میانگین رطوبت نسبی ۴۱٪، میانگین دمای هوا ۲۶ درجه سانتی‌گراد)

جدول ۲- میانگین تراکم بیوآئروسل های موجود در منطقه‌ی تنفسی فرد در حالت ۲ تهویه ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ )

| ظرفیت تهویه | مکان تخت ۱      |                   | مکان تخت ۲        |                   |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | محل استقرار فرد | محل استقرار فرد ۲ | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ |
| ۰           | ۲۹۶/۸±۵۳/۸      | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        |
| ۲           | ۷۵±۱۷/۷         | ۱۰۶/۲±۲۶/۵        | ۸۱/۲±۲۶           | ۸۷/۵±۳۵/۳         |
| ۶           | ۶۸/۷±۸/۸        | ۸۷/۵±۱۷/۷         | ۶۲/۵±۳۵/۳         | ۵۰±۰              |
| ۱۲          | ۳۷/۵±۱۷/۷       | ۶۲/۵±۱۷/۷         | ۴۳/۷±۸/۸          | ۳۷/۵±۰            |

(میانگین رطوبت نسبی ۳۶٪، میانگین دمای هوا ۲۵ درجه سانتی‌گراد)

جدول ۳- میانگین تراکم بیوآئروسل های موجود در منطقه‌ی تنفسی فرد در حالت ۳ تهویه ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ )

| ظرفیت تهویه          | مکان تخت ۱        |                   |                   | مکان تخت ۲        |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                      | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ |
| ۰                    | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        |
| ۲ تعویض هوا در ساعت  | ۶۲/۵±۱۷/۷         | ۷۵±۱۷/۷           | ۸۱/۲±۲۶/۵         | ۸۷/۵±۳۵/۳         |
| ۶ تعویض هوا در ساعت  | ۳۷/۵±۱۷/۷         | ۵۶/۲±۸/۸          | ۱۸/۷±۸/۸          | ۳۷/۵±۱۷/۷         |
| ۱۲ تعویض هوا در ساعت | ۳۱/۲±۸/۸          | ۱۲/۵±۰            | ۱۸/۷±۸/۸          | ۲۵±۰              |

(میانگین رطوبت نسبی ۴۲٪، میانگین دمای هوا ۲۶ درجه سانتی‌گراد)

جدول ۴- میانگین تراکم بیوآئروسل های موجود در منطقه‌ی تنفسی فرد در حالت ۴ تهویه ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ )

| ظرفیت تهویه          | مکان تخت ۱        |                   | مکان تخت ۲        |                   |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                      | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ | محل استقرار فرد ۱ | محل استقرار فرد ۲ |
| ۰                    | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        |
| ۲ تعویض هوا در ساعت  | ۹۳/۷±۸/۸          | ۷۵±۱۷/۷           | ۵۰±۱۷/۷           | ۶۲/۵±۱۷/۷         |
| ۶ تعویض هوا در ساعت  | ۵۰±۱۷/۷           | ۵۰±۱۷/۷           | ۳۷/۵±۰            | ۳۷/۵±۱۷/۷         |
| ۱۲ تعویض هوا در ساعت | ۳۷/۵±۱۷/۷         | ۲۵±۱۷/۷           | ۱۸/۷±۸            | ۱۸/۷±۸            |

(میانگین رطوبت نسبی ۳۶٪، میانگین دمای هوا ۲۶ درجه سانتی‌گراد)

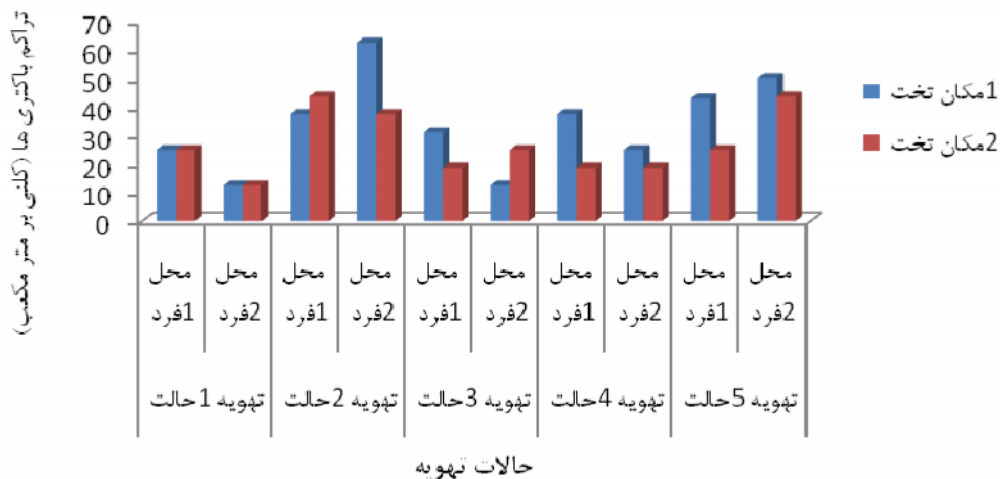
جدول ۵- میانگین تراکم بیوآئروسول‌های موجود در منطقه‌ی تنفسی فرد در حالت ۵ تهویه (cfu/m<sup>3</sup>)

| ظرفیت تهویه   | مکان تخت ۱  |             |             | مکان تخت ۲        |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| تعویض در ساعت | محل استقرار | محل استقرار | محل استقرار | محل استقرار فرد ۲ |
|               | فرد ۱       | فرد ۲       | فرد ۱       | محل استقرار فرد ۲ |
| ۰             | ۲۹۶/۸±۵۳/۸  | ۲۹۶/۸±۵۳/۸  | ۲۹۶/۸±۵۳/۸  | ۲۹۶/۸±۵۳/۸        |
| ۲             | ۸۷/۵±۱۷/۷   | ۱۱۸/۷±۸/۸   | ۸۷/۵±۳۲     | ۱۰۰±۲۳            |
| ۶             | ۶۲/۵±۱۷     | ۶۲/۵±۳۵     | ۷۵±۰        | ۹۳/۷±۴۴           |
| ۱۲            | ۴۳±۸        | ۵۰±۱۷       | ۲۵±۰        | ۴۳/۷±۸            |

(میانگین رطوبت نسبی ۴۲٪، میانگین دمای هوا ۲۶ درجه سانتی‌گراد)

نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی‌داری را میان تراکم آلاینده و محل استقرار پرسنل در محل ۱ و ۲ و مکان تخت ۱ و ۲ نشان نداد ( $P_{value} > 0.05$ ). نتایج نمونه‌برداری از هوای بیرون ساختمان در کانال ورودی هوا به داخل اتاق ایزوله نشان داد که میانگین بیوآئروسول‌ها در هوای بیرون  $11 \pm 6/7 \text{ cfu/m}^3$  بود. شکل ۲ نتایج مقایسه‌ی تراکم بیوآئروسول‌ها در بهترین ظرفیت تهویه (۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) بر اساس محل استقرار فرد در محل چیدمان تخت ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین مواجهه‌ی شغلی بابیوآئروسول‌ها در زمانی که سیستم تهویه خاموش بود مشاهده گردید و استفاده از حالات مختلف تهویه سبب کاهش معنی‌دار ( $P_{value} < 0.001$ ) مواجهه‌ی فردی بابیوآئروسول‌ها گردیده است. کمترین میزان مواجهه فردی مربوط به ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت بود. اختلاف معنی‌داری از نظر کاهش تراکم آلاینده در منطقه‌ی تنفسی شاغلین میان ظرفیت تهویه ۶ بار و ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت مشاهده نگردید ( $P_{value} > 0.05$ ). همچنین



شکل ۲- تغییرات تراکم بیوآئروسول‌ها در ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا

این که هوای داخل بیمارستان‌ها دارای پتانسیل انتقال عفونت‌ها و بیوآئروسول‌های بیماری‌زا بوده [۹] و از طرفی سیستم‌های تهویه نیز نقش موثری در کاهش انتشار و میزان مواجهه با این عوامل دارند [۱]، مطالعه‌ی حاضر با هدف ارزیابی تاثیر حالات مختلف تهویه بر

#### بحث

میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا یکی از مهمترین عوامل آلوده کننده‌های هوا در محیط‌های داخل ساختمان هستند. با توجه به



اطمینان ۰/۹۵) گردید. پس از حالت ۱ تهویه، حالت‌های ۳ و ۴ بیشترین تأثیر را در کاهش مواجهه‌ی شغلی شاغل فرضی داشتند. نامناسب‌ترین حالت تهویه، بکارگیری حالت ۵ تهویه یعنی ورود هوا از طریق دریچه‌ی گرد نصب شده در دیوار سمت شمالی اتاق و تخلیه توسط دریچه‌ی خطی نصب شده در سقف بود. در این حالت میانگین مواجهه  $71 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $56-85 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود اطمینان ۰/۹۵) بود. بهترین ظرفیت تهویه نیز در حالت ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت با میانگین مواجهه‌ی  $32 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $21-43 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود اطمینان ۰/۹۵) و پس از آن مربوط به ۶ بار تعویض هوا در ساعت با میانگین مواجهه‌ی  $50 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $38-61 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود اطمینان ۰/۹۵) بود. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مطالعه با مقدار پیشنهاد شده توسط ACGIH ( $\text{cfu/m}^3$ ) (۷۵) نشان داد که در تمامی حالات استفاده از سیستم تهویه با ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت، مقادیر مواجهه کمتر از مقدار پیشنهادی و در حدود استاندارد پیشنهادی است. نتایج اندازه‌گیری تراکم بیوآئروسول‌ها در اتاق‌های عمل ۴ بیمارستان آموزشی در شهر همدان و تعیین اثر بخشی سیستم‌های تهویه‌ی بیمارستان‌های مورد مطالعه در کاهش تراکم بیوآئروسول‌ها توسط قربانی شهنا و همکاران نشان داد که میانگین تراکم بیوآئروسول‌ها  $136/7 \text{ cfu/m}^3$  در دامنه‌ی  $5-385 \text{ cfu/m}^3$  بود [۱۳]. در زمان نمونه‌برداری آنان تنها سیستم تهویه در یک بیمارستان فعال بود که دارای دبی هوای ورودی ۱۴۰ فوت مکعب بر دقیقه و گذر حجمی سیستم تخلیه کننده ۳۲۶ فوت مکعب بر دقیقه و ظرفیت تهویه ۲/۳ تعویض هوا در ساعت بود. بر خلاف نتایج مطالعه‌ی حاضر، در مطالعه آنان تفاوت آماری معنی‌داری میان تراکم بیوآئروسول‌ها در هنگام عدم استفاده از سیستم تهویه و هنگام فعال بودن سیستم تهویه مشاهده نگردید. از دلایل تفاوت نتایج و عدم کارکرد مطلوب سیستم تهویه در مطالعه قربانی شهنا و همکاران، وجود فشار منفی در اتاق عمل مورد مطالعه در هنگام اندازه‌گیری بیوآئروسول‌ها و عدم بکارگیری ظرفیت تهویه مناسب با توجه به نوع سیستم تهویه است [۱۳]. نتایج نمونه‌برداری محیطی از اتاق‌های ایزوله در مطالعه‌ی حسین‌زاده و همکاران نشان داد که تراکم باکتری‌ها در هوای اتاق‌های ایزوله در بیمارستان امام حسین (ع) شهر ملایر  $12/22 \text{ cfu/m}^3$  و در بیمارستان مهر  $12/24 \text{ cfu/m}^3$  بود [۱۱].

با در نظر گرفتن چیدمان تخت و محل استقرار پرسنل، در محل تخت ۲ (قرار گیری تخت در وسط اتاق)، محل استقرار پرسنل

میزان مواجهه‌ی تنفسی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌های هوابرد در یک اتاق ایزوله که فرد مبتلا به بیماری سل در آن بستری شده، با در نظر گرفتن محل استقرار تخت بیمار و پرسنل درمانی انجام شد. تاکنون حدود مجاز استاندارد برای مواجهه با بیوآئروسول‌ها از طریق سازمان‌های قانون‌گذار ارائه نشده و کلیه مقادیر ارائه شده به صورت پیشنهادی می‌باشند [۱۱، ۱۰، ۱۲]. برخی از راهنماهای ارائه شده جهت ارزشیابی نمونه‌های بیولوژیکی توصیه نموده‌اند که در صورت افزایش تراکم باکتری‌ها، قارچ‌ها و ترموفیلیک اکتینومیسیت‌ها در هوای محیط به بالاتر از  $10000 \text{ cfu/m}^3$  نیاز به انجام اقدامات کنترلی موثر جهت کاهش تراکم بیوآئروسول‌ها است. از سوی دیگر در راهنمای دوم ارائه شده توسط ACGIH، توصیه شده است که در صورتی که تراکم میکروارگانیسم‌ها بیش از  $75 \text{ cfu/m}^3$  باشد باید اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با این میکروارگانیسم‌ها سنجش گردد [۱۳، ۱۴]. برخی راهنماها نیز مقایسه‌ی تراکم بیوآئروسول‌ها در هوای داخل و هوای بیرون از ساختمان را به عنوان معیاری جهت انجام اقدامات کنترلی پیشنهاد نموده‌اند [۶].

نتایج مطالعه نشان داد که تراکم بیوآئروسول‌ها در منطقه‌ی تنفسی پرسنل درمانی فرضی با بکارگیری حالت‌های مختلف تهویه نسبت به زمانیکه سیستم تهویه خاموش بود، کاهش معنی‌داری یافت ( $P_{\text{value}} < 0/001$ ). حتی بکارگیری کمترین ظرفیت‌های تهویه در بدترین شرایط هوادهی و تخلیه نیز سبب کاهش معنی‌دار مواجهه‌ی شغلی افراد با بیوآئروسول‌ها گردید ( $P_{\text{value}} < 0/001$ ). بر اساس نتایج، زمانیکه هوا از طریق یک دریچه‌ی گرد از سمت دیوار شمالی وارد و از طریق یک دریچه‌ی خطی نصب شده در دیوار جنوبی تخلیه می‌شد (حالت ۱ تهویه)، میزان مواجهه‌ی شغلی شاغل فرضی با میانگین مواجهه‌ی  $39 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $24-55 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود اطمینان ۰/۹۵) به کمترین مقدار می‌رسید. بنابراین، حالت ۱ تهویه که از طرف مرکز کنترل بیماری‌های کشور آمریکا نیز برای اتاق‌های ایزوله توصیه شده است [۱۵]، موثرترین حالت برای کاهش میزان مواجهه‌ی پرسنل درمانی بود. اما از نظر آماری تفاوت معنی‌داری میان حالت‌های ۱، ۳ و ۴ تهویه مشاهده نگردید ( $P_{\text{value}} > 0/05$ ). بکارگیری حالت ۳ تهویه سبب کاهش مواجهه‌ی شغلی فرد به مقدار میانگین  $45 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $31-60 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود اطمینان ۰/۹۵) و حالت ۴ تهویه سبب کاهش تراکم بیوآئروسول‌ها در منطقه‌ی تنفسی فرد به مقدار  $46 \text{ cfu/m}^3$  (دامنه  $32-61 \text{ cfu/m}^3$ )، حدود



تنفسی پزشک را به میزان ۳۸/۹۲ درصد بهبود داده است [۸]. استفاده از فیلترهای راندمان بالا و لامپ‌های ماوراء بنفش ضد عفونی کننده‌ی هوا در تصفیه‌ی هوای ورودی به بخش‌های درمانی و اتاق ایزوله موثر بوده و سبب کاهش میزان مواجهه‌ی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌ها می‌گردد [۱۵].

### نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر با هدف تعیین اثربخشی حالات مختلف سیستم تهویه بر میزان مواجهه‌ی فردی پرسنل درمانی با بیوآئروسول‌های هوا برد در اتاق ایزوله، با در نظر گرفتن محل استقرار تخت بیمار و پرسنل درمانی انجام گرفت. نتایج حاصل حاکی از آن است که استفاده از سیستم تهویه با ورود هوا از طریق یک دریچه‌ی گرد از سمت یک دیوار و تخلیه‌ی هوا از طریق یک دریچه‌ی خطی نصب شده در دیوار مقابل با ظرفیت تهویه‌ی ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت موثرترین راه کاهش مواجهه‌ی فردی با بیوآئروسول‌های هوا برد در اتاق ایزوله است.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه آقای محمدرضا حاج غلامی با عنوان "بررسی تاثیر ویژگی‌های تهویه اتاق بیمار مسلول بر میزان مواجهه‌ی شغلی به آلاینده‌های بیولوژیک هوا" در مقطع کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمد جواد جعفری و طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی در سال ۱۳۸۹ با کد ۲۵/۲۷۵۵/پ است. نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و مسئولین بیمارستان مسیح دانشوری ابراز می‌دارند.

درمانی ۲ (قرار گرفتن فرد در پایین تخت بیمار)، و بکارگیری حالت ۱ تهویه، کمترین میزان مواجهه‌ی شاغل فرضی گزارش شد. بیشترین تراکم بیوآئروسول اندازه‌گیری شده مربوط به حالت ۵ تهویه، محل تخت ۱ (در گوشه‌ی اتاق و نزدیک به سیستم تخلیه کننده‌ی هوا) و محل استقرار پرسنل ۲ با میانگین مواجهه‌ی  $119 \text{ cfu/m}^3$  بود. اختلاف معنی‌داری میان محل استقرار پرسنل نسبت به سیستم تهویه و میزان مواجهه‌ی فردی با بیوآئروسول‌ها مشاهده نگردید ( $P_{\text{value}} > 0.05$ ). کمترین میزان مواجهه بر اساس محل استقرار پرسنل، در حالت اول تهویه و محل استقرار ۲ با میانگین  $34 \text{ cfu/m}^3$  بود. همچنین، تفاوت معنی‌داری میان چیدمان تخت ۱ و ۲ نسبت به سیستم تهویه و میزان مواجهه‌ی فردی با بیوآئروسول‌ها ثبت نشد ( $P_{\text{value}} > 0.05$ ). کمترین میزان مواجهه بر اساس چیدمان تخت، در حالت ۴ تهویه و محل تخت ۲ با میانگین  $37/5 \text{ cfu/m}^3$  بود. نتایج مقایسه‌ی تراکم بیوآئروسول‌ها در هوای بیرون از اتاق و منطقه‌ی تنفسی شاغل درمانی فرضی نشان داد که تراکم بیوآئروسول‌ها در منطقه‌ی تنفسی شاغل فرضی بالاتر از هوای بیرون بوده و منشأ انتشار بیوآئروسول‌ها در اتاق ایزوله بیمار مبتلا به سل می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی Melikov و همکاران نشان داد که استفاده از سیستم‌های تهویه‌ی جدید در کنار تخت بیمار و نصب سیستم مکنده در مکانی نزدیک به تخت و دهان بیمار سبب کاهش مواجهه‌ی پزشکان با هوای بازدمی بیمار در کنار تخت یا سایر نقاط اتاق می‌شود. نتایج مطالعه‌ی آنان نشان داد که استفاده از سیستم تهویه‌ی مناسب که بخش مکنده‌ی آن با فاصله‌ی کمی از دهان بیمار نصب شده است (در حدود ۳۵ سانتی‌متر)، سبب کاهش میزان مواجهه‌ی تنفسی شاغلین گشته و حتی با ظرفیت تهویه‌ی کمتر یعنی ۳ بار تعویض هوا در ساعت راندمان مکش هوا و کاهش آلاینده‌ها از منطقه‌ی

### منابع

- Hoseinzadeh E, Samarghandi MR, Ghiasian SA, Alikhani MY, Roshanaie G. Evaluation of Bioaerosols in Five Educational Hospitals Wards Air in Hamedan, During 2011-2012. *Jundishapur Journal of Microbiology*. 2013;6(6).
- Fletcher L, Noakes C, Beggs C, Sleight P, editors. The importance of bioaerosols in hospital infections and the potential for control using germicidal ultraviolet irradiation. *Proceedings of the First Seminar on Applied Aerobiology*, Murcia, Spain, May, 2004.
- Baumann I, Nunn P, Williams B, Pivetta E, Bugiani M, Scano F. Tuberculosis among health care workers. *Emerging infectious diseases*. 2011;17(3):488.
- Schoen L, Hodgson M, McCoy W, Miller S, Li Y, Olmsted R, et al. ASHRAE position document on airborne infectious diseases. *ASHRAE*; 2014.
- Beggs C. The use of engineering measures to control airborne pathogens in hospital buildings. Available from: (<http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/MTB/CBB-Nov8.pdf>). 2002.
- Jafari M, Hajgholami M, Salehpour S, Amiri Z, Tabarsi P. The influences of ventilation on biological





concentration of air in a tuberculosis patient room. *tkj*. 2014; 6 (2):1-12. [In Persian]

7. Coker I, Nardell E, Fourie B, Brickner P, Parsons S, Bhagwandin N, et al. Guidelines for the utilisation of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) technology in controlling the transmission of tuberculosis in health care facilities in South Africa. Pretoria (South Africa): South African Centre for Essential Community Services and National Tuberculosis Research Programme, Medical Research Council. 2001:1-40.

8. Melikov A, Bolashikov ZD, Georgiev E. Novel ventilation strategy for reducing the risk of airborne cross infection in hospital rooms. *Proceedings of Indoor Air*. 2011; 1037.

9. Arab M, Mohammadian F, Rahmani A, Rahimi A, Omidi L, Asghari M. Safety attitude in Operating Room's Staff's in selected hospitals of Tehran University of Medical Sciences in 2013. *Hospital*. 2014;13(3):25-33. [In Persian]

10. Kasaei nasab A, Karimi A, Jahangiri M, Daraeinejad A, Rostami R. Assessment of Bioaerosol concentrations in a live stocks industrial slaughterhouse in Shiraz. *Journal of health and safety at work*. 2013; 3 (1) :47-54.[In Persian].

11. Hoseinzadeh E, Taghavi M, Samarghandie M.

Evaluation of fungal and bacterial aerosols in the different wards of Malayer city's hospitals in 2011-2012. *Journal of hospital*. 2014; 13 (3):99-108.[In Persian]

12. Hoseinzadeh E, Samarghandie M, Ghiasian S, Alikhani M, Roshanaie G, Moghadam Shakib M. Qualitative and quantitative evaluation of bioaerosols in the air of different wards of governmental Hamedan hospitals, during 2011-2012. *Yafteh*. 2012; 14 (4):29-39.[In Persian]

13. 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. *Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences*. 2006;13(2):64-70. [In Persian]

14. Brooks BO. *Understanding indoor air quality*: CRC press; 1991. 128.

15. Hajgholami MR. The influence of ventilation characteristics of a tuberculin patient room on occupational exposure to biological airborne pollutants: MSc dissertation thesis, Supervised by Dr MJ Jafari, Shahid Beheshti University of Medical Sciences. 2011.[In Persian].



## Research Article

# Assessment of the effectiveness of ventilation types for reducing occupational exposure to bioaerosols in health care staffs

Mohammad Javad Jafari<sup>1</sup>, Mohammad Reza Hajgholami<sup>2</sup>, Mina Jafari<sup>3</sup>, Zohre Amiri<sup>4</sup>, Leila Omidi<sup>5\*</sup>, Soussan Salehpour<sup>6</sup>, Payam Tabarsi<sup>7</sup>

Received: 13 January 13, 2015

Accepted: 16 March 2015

### Abstract

**Background & Objectives:** Hospital indoor air contains a wide range of airborne pathogenic bioaerosols which have a significant impact on health care staff health and welfare. The aim of this study was to assess the effects of ventilation system types on personal exposure of the health care staffs to airborne bioaerosols in the isolation room of a hospital considering the patient bed arrangements and the standing locations of the health care staff.

**Methods:** For personal sampling, the ACGIH recommended method (filtration method) was used. Personal exposures were measured for 5 given types of ventilation system, 2 patient bed arrangements (at a corner and in the middle of room), and 2 different standing locations for the health care staff (standing close to the patient's bed, and down side section of the bed). Post hoc Dunnett's test was used to analyze the relationships between the variables.

**Results:** The highest exposure to airborne bioaerosols was observed when the ventilation system was switched off. There were significant decreases in the concentration of bioaerosols after using all types of ventilation systems ( $P_{\text{value}} < 0.001$ ). The ventilation capacities of 12 air changes per hour showed the best results. No significant differences were found between the concentrations of bioaerosols and the patient bed arrangements as well as the standing locations of the health care staff toward the ventilation systems ( $P_{\text{value}} > 0.05$ ).

**Conclusion:** The most effective ventilation system for decreasing health care staff exposures in the isolation room was associated with supplying of air from a circular grill located on the northern wall and exhausting it through a linear slot located on the southern wall (type 1) with the ventilation rate of 12 air changes per hour.

**Keywords:** Ventilation system, Personal exposure, Health care staffs, Bioaerosols, Ventilation rate

**Please cite this article as:** Jafari M J, Hajgholami M R, Jafari M, Amiri Z, Omidi L\*, Salehpour S, Tabarsi P. Assessment of the effectiveness of ventilation types for reducing the occupational exposure to bioaerosols in health care staffs. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2015; 1(4):1-10.

1. Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. MSc student of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Ira
3. Pathology Department, School of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Biostatistics Department, Para-clinic Faculty, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
5. (Corresponding author) Ph.D student of Occupational Health Engineering, Faculty of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: omidil@razi.tums.ac.ir
6. Occupational Medicine professional, Chronic Respiratory Diseases Research Center, National Research Institute of Tuberculosis and Lung Diseases, Tehran, Iran
7. Pathologist, Masih Daneshvari Hospital, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.