

تأثیر تهويه بر تراکم آلاینده‌های بیولوژیک هوا در یک اتاق بیمار مسلول

محمد جواد جعفری^{۱*}، محمدرضا حاج غلامی^۲، سوسن صالح پور^۳، زهره امیری^۴، پیام طبرسی^۵

۱. عضو هیأت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
۲. کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
۳. متخصص طب کار، مرکز درمانی مسیح دانشوری، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
۴. عضو هیأت علمی گروه آمار، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
۵. عضو هیأت علمی، مرکز درمانی مسیح دانشوری، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۲۰ تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۲۷

چکیده

مقدمه: تهويه در کاهش ميزان پاتوژن‌های هوابرد در اتاق‌های ايزوله به ویژه اتاق‌هایي که بیماران مسلول در آن بستري هستند، نقش قابل توجهی دارد. اين مطالعه به بررسی تاثير تهويه بر ميزان تراكم بيوآئرروسول‌های هوابرد در یک اتاق بیمار مسلول می‌پردازد.

روش بررسی: در اين مطالعه تجربی به یک اتاق تک تخته بیمارستانی که در آن یک بیمار مبتلا به سل بستري بود ۵ حالت تهويه که هر يك داراي ۳ ظرفيت تهويه مختلف بود اعمال گردید. در ضمن در هر حالت تهويه، تحت بیمار در ۲ وضعیت مختلف و مجسمه يك نفر پرستار در کنار تخت قرار داده شد. در هر يك از اين حالات، از بيوآئروسول‌های موجود در هواي اتاق نمونه‌برداري محیطی به عمل آمد. بدین منظور برای هر حالت، ۳ نمونه محیطی از هواي اتاق گرفته شد. نمونه‌برداري محیطی توسط دستگاه باکتری سمپلر و محیط كشت آگار خونی انجام و در آزمایشگاه پاتولوژی شمارش گردید.

يافته‌ها: ميزان تراكم بيوآئروسول‌های كل در هواي اتاق بیمار با اعمال حالت‌های مختلف تهويه به طور معنی‌داری ($P < 0.001$) تغیير کرد. حتی با اعمال کمترین ظرفیت تهويه در بدترین شرایط هوادهی و هوکاشی نیز ميزان تراكم بيوآئروسول‌های موجود در هواي اتاق نسبت به حالتی که در اتاق از سیستم تهويه استفاده نمی‌شد به طور معنی‌داری ($P < 0.001$) کاهش یافت. در بهترین حالت با ورود هواي تمیز از طریق يك دریچه گرد سقفی و خروج آن از طریق يك مکنده خطی نصب شده بر روی دیوار (با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) میانگین تراكم بيوآئروسول‌های كل به ۲۵ کلني در هر متر مکعب کاهش یافت. در موثرترین حالت تهويه در صورت ثابت بودن نوع و ظرفیت تهويه اتاق، چیدمان تحت باعث کاهش ۱۷/۷۵٪ در ميزان تراكم آلاینده‌های نمونه‌برداری شده از هواي کل شد.

نتیجه‌گیری: نصب سیستم تهويه مناسب تعیین شده در این مطالعه برای اتاق‌های ايزوله توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: بيوآئروسول، اتاق ايزوله، باکتری، سل، تهويه

* نویسنده مسئول: آدرس پستی: گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تلفن: ۰۲۱-۲۲۴۳۲۰۴۰

پست الکترونیکی: jafari1952@yahoo.com

مقدمه

شیوع عفونت سل در بین کارکنان بهداشتی درمانی کشور در دسترس نیست.

به عقیده بسیاری، اقدامات مهندسی موجود برای کاهش و برطرفسازی پاتوژن‌های هوابرد شامل پاکسازی به وسیله سیستم تهویه و هوای خارج، فیلتراسیون، ضدغونی کردن به وسیله اشعه UV و ایزولاسیون به وسیله کنترل فشار می‌باشد(۱، ۲-۴). از میان روش‌های کنترل مهندسی موجود برای کاهش و حذف پاتوژن‌های هوابرد، سیستم تهویه مناسب احتمالاً موثرترین روش برای کنترل می‌باشد(۵، ۱۰، ۱۲، ۱۳).

استفاده از فیلترهای راندمان بالا ویژه ذرات و لامپ‌های UV نیز اقدامات موثری هستند که می‌توانند مکمل سیستم تهویه در مناطق پر خطر باشند(۶، ۱۰-۱۳).

برای پیشگیری از سرایت بیماری به کارکنان بخش‌های درمانی و سایر افرادی که در این بخش‌ها رفت و آمد می‌کنند، تهویه اتاق‌های ایزوله‌ای که بیماران مبتلا به بیماری‌های مسری بستری هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فضاهای را می‌توان به روش‌های مختلفی تهویه نمود. ظرفیت تهویه یکی از فاکتورهای عمده در تهویه چنین فضاهایی به شمار می‌رود.

انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه آمریکا American Society of Heating, Refregeration & Ventilation Engineers مقدار ۶ بار تعویض هوا در ساعت را به منظور راحتی و کنترل بو توصیه می‌نماید(۷) (تعداد تعویض هوا در ساعت از تقسیم میزان حجم هوای ارسالی به اتاق در یک ساعت بر حجم اتاق حاصل می‌شود)، در نتیجه اثربخشی این سطح از ظرفیت تهویه در کاهش غلظت قطرات ریز عفونی در اتاق‌های ایزوله کافی نمی‌باشد. در مطالعات مشابه معمولاً ظرفیت‌های ۳ تا ۱۲ بار تعویض هوا در هر ساعت اعمال گردیده است(۸).

انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه آمریکا برای ساختمان‌های نوساز ظرفیت ۱۲ بار تعویض هوا در

پاتوژن‌های هوابرد عفونی نقش قابل ملاحظه‌ای در کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها داشته و عفونت‌های حاد تنفسی شایع‌ترین بیماری انسانی می‌باشند(۹). بیماری سل یک نمونه از بیماری‌های ریوی است که از طریق ذرات هوابرد انتقال می‌یابد(۱۰، ۱۱). باکتری سل یکی از ذرات عفونی خطرناک موجود در هوای ساختمان‌های مراکز درمانی بوده و نسبت به برخی پاتوژن‌های هوابرد عفونی خطر بیشتری برای کارکنان مراقبت‌های بهداشتی دارد(۱۲). با توجه به مطالعات انجام شده مهمترین علت بروز بیماری سل در میان کارکنان مراقبت‌های بهداشتی و درمانی تشخیص دیرس بیماری سل، عدم وجود تهویه مناسب، چرخش هوای آلوده، نقص اتاق‌های ایزوله و کمبود وسائل حفاظت فردی تنفسی گزارش شده است(۱۳، ۱۴). در صورتی که تهویه مناسبی برقرار باشد تشخیص دیرس پزشک کمتر می‌تواند باعث بروز بیماری سل شود و گردش هوای تازه باعث می‌شود قطرات ریز حاوی باسیل سل از محیط خارج شده و ریسک بیماری برای پرسنل کاهش یابد.

در انگلیس بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۳ تعداد ۱۹۹ مورد بیماری سل در بین پزشکان و ۳۶۴ مورد بیماری سل در بین پرستاران و افراد ماما شناسایی شد(۱۵)، و در یک بیمارستان، سرایت عفونت به کارکنان بین ۱ تا ۱۰٪ در سال بوده است(۱۶).

در سال ۲۰۰۷، نتایج یک مطالعه در کشور ایتالیا نشان داد که از میان ۲۱۸۲ نفر پرسنل بیمارستان، بعد از گذشت یک سال، حدود ۱۴۸ نفر پرستار و ۴۳ نفر پزشک دچار تغییر در تست پوستی بیماری سل شده‌اند(۱۷). در سال ۲۰۰۶، در مطالعه دیگری در هلند، یک جمعیت ۱۰۱ نفری در مدت ۵ سال مورد بررسی قرار گرفتند که از این تعداد ۶۷ نفر دچار عفونت سل شدند(۱۸). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۰، در کشور کانادا در بین ۱۲۸۹ نفر کارکنان مراقبت‌های بهداشتی ۲۳۸ نفر دچار عفونت سل شده بودند(۱۹). متأسفانه آمار دقیقی در ارتباط با میزان

تغییر موقعیت منبع آلدگی است که به احتمال قوی بر گستره انتشار آلدگی در اتاق اثر دارد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر پارامترهای مختلف تهويه و محل استقرار تخت بیمار بر میزان تراكم بیوآثروسیل‌های موجود در هوای اتاق‌های ایزوله طراحی و اجرا گردید.

روش بررسی

در این پژوهش تجربی، ابتدا يك اتاق تک تخته بیمارستانی فاقد سیستم تهويه که در آن يك فرد دارای بیماری سل بستری بود انتخاب گردید. برای این اتاق ۵ حالت تهويه که می‌تواند برای اتاق‌های ایزوله مناسب باشد انتخاب گردید. جدول ۱، سناریوهای مختلف تهويه که در این مطالعه استفاده شد را نشان می‌دهد. برای آشنایی بیشتر با جهت‌های جغرافیایی مندرج در جدول به شکل ۱ نگاه کنید.

هر ساعت را توصیه می‌کند(۱۲). واقعیت امر این است که در نظر گرفتن ظرفیت‌های بالا سبب افزایش بی‌رویه هزینه‌های راهبری سیستم‌های تهويه شده و از طرف دیگر اعمال ظرفیت‌های کم سبب افزایش ریسک انتقال بیماری به سایرین می‌گردد. بنابراین لازم است نقش تهويه را بر فاکتورهایی که مستقیماً در انتقال بیماری نقش دارند یعنی تعداد باکتری‌های موجود در هوا مطالعه نمود. علاوه بر ظرفیت تهويه نوع و محل دریچه‌های ارسال‌کننده هوا به اتاق و همچنین نوع و محل تخلیه‌کننده‌های هوای اتاق‌های ایزوله نیز می‌توانند در کاهش تعداد باکتری‌های هوابرد نقش داشته باشند. ثابت شده است که مکنده‌های خطی(۱۴) قادرند آلاینده‌های هوا را در طول بیشتری به طور یکنواخت تخلیه کنند. دمنده‌های گرد(۱۴) هوا را به صورت متمرکز به يك محل ارسال می‌کنند و به نظر می‌رسد هنگامی که به محل منبع آلدگی متمرکز شوند بهتر قادرند آلاینده‌های موجود در هوا را رفیق کنند(۱۴).

تحت بیمار به منزله منبع آلدگی اتاق‌های ایزوله به شمار می‌رود. تغییر محل استقرار تخت بیمار به منزله

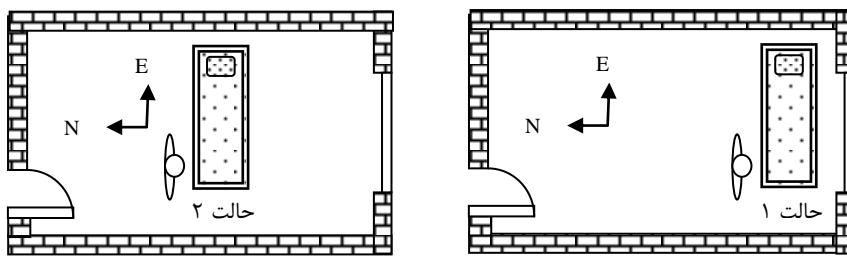
جدول ۱- حالت‌های مختلف تهويه اعمال شده به اتاق مورد مطالعه

حالات‌های مختلف تهويه	وضعیت دمنده	وضعیت مکنده	خاموش
.			خاموش
۱	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	دریچه خطی در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در دیوار سمت شمال
۲	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	دریچه گرد در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در دیوار سمت شمال
۳	دریچه گرد در سقف اتاق	دریچه گرد در سقف اتاق	دریچه گرد در سقف اتاق
۴	دریچه گرد در سقف اتاق	دریچه خطی در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در سقف اتاق
۵	دریچه گرد در سقف اتاق	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	دریچه گرد در دیوار سمت شمال

در حالت اول، تخت در يك گوشه اتاق یعنی نزدیک تخلیه‌کننده نصب شده بر روی دیوار قرار داشت و در حالت دوم تخت بیمار در وسط اتاق و زیر دمنده نصب شده در سقف مطابق شکل ۱ قرار داشت. در هر يك از این حالات نمونه‌برداری‌های محیطی از بیوآثروسیل‌های موجود در هوای اتاق به عمل آمد. برای هر حالت ۳ نمونه محیطی از بیوآثروسیل‌های کلی هوای اتاق گرفته

در هر يك از این حالات‌های تهويه، ۳ ظرفیت تهويه مختلف اعمال گردید. بدین ترتیب جمعاً ۱۵ حالت تهويه و يك حالت بدون تهويه یعنی در مجموع ۱۶ حالت مورد بررسی قرار گرفت. در ضمن با توجه به موقعیت استقرار دمنده و مکنده به منظور کسب بیشترین رقیق‌سازی و تخلیه آلدگی از اتاق، تخت بیمار در ۲ وضعیت مختلف چیزه شد.

ظرفیت‌های مختلف تهویه برای حالت کم ۳ تعویض در ساعت، متوسط ۶ تعویض در ساعت و زیاد ۱۲ تعویض در ساعت در نظر گرفته شد(۱۲). هوای جایگزین برای اتاق از هوای بیرون بود و ۱۰۰٪ هوای خروجی به بیرون تخلیه می‌شد. در ضمن برای تعیین تعداد بیوآئرولس‌های موجود در هوای بیرون نمونه‌برداری محیطی در دهانه کanal ورودی هوا انجام شد. میزان هوا خروجی ۲۰٪ از کمتر از هوای تازه ورودی به اتاق تنظیم گردید تا از ورود آلودگی از درب بسته اتاق به داخل آن جلوگیری گردد. با استقرار یک مولاژ در پایین دست تخت مانند شکل ۱ نیز حضور یک پرستار در اتاق شبیه‌سازی شد.



شکل ۱- طرح چیدمان تخت در اتاق مورد مطالعه

هوای نمونه‌گیری شده (پس از تصحیح برای دما و فشار) و تعداد کلنی‌های شمارش شده، تراکم بیوآئرولس‌ها به صورت تعداد کلنی در هر مترمکعب هوا نسخه ۱۷ نرمافزار آماری SPSS گردید و تحلیل‌های آماری مربوطه انجام شد. در این تحقیق برای آنالیز داده‌ها از آنالیز واریانس چهار طرفه برای تجزیه تحلیل یک طرح فاکتوریل سه عاملی استفاده شد و در صورت معنی‌داری هر یک از اثرات اصلی و برهمکنش از Post Hac Dunnett استفاده شد. در آزمون‌های آماری سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

اتاق بدون تهویه: نتایج نشان داد که میانگین و انحراف معیار باکتری‌های کلی اتاق بیمار مسلول با یک بیمار بستری شده در آن و بدون تهویه مساوی $379 \pm 68/5$ (cfu/m³) می‌باشد(جدول ۲).

شد. با توجه به ۵ حالت تهویه، ۳ ظرفیت تهویه، ۲ نوع چیدمان تخت بیمار و ۳ تکرار برای هر حالت، جمعاً ۹۰ نمونه برای حالات دارای تهویه و ۶ نمونه برای حالت بدون تهویه و در مجموع ۹۶ نمونه جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری حالت بدون تهویه در دو روز متوالی و نمونه‌برداری سایر حالت‌ها هر یک در یک روز یعنی جمعاً در ۱۷ روز انجام شد. ضمناً برای اطمینان از میزان باکتری‌های موجود در هوای ورودی به اتاق نیز در دو روز جداگانه از کanal هوا ورودی نمونه‌گیری شد. برای پیشگیری از ورود احتمالی هوا از سایر مسیرها در حین انجام آزمایشات درب و پنجه اتاق بیمار بسته بود.

روش تعیین تراکم بیوآئرولس‌ها

برای تعیین تراکم بیوآئرولس‌ها از نمونه‌برداری به روش برخورد مستقیم استفاده شد.

وسایل مورد نیاز در این روش شامل پمپ نمونه‌بردار میکروبی هوا ساخت شرکت کاسلا (Casella Airborne Bacteria Sampler)، پلیت، محیط کشت آگار خونی برای کشت عمومی باکتریابی و سایر وسایل آزمایشگاهی بود. تمام وسایل قبل از نمونه‌برداری کالیبره شدند. محیط کشت آگار خونی در آزمایشگاه تهیه و تحت شرایط استریل به اتاق منتقل و در محیط اتاق سنت نمونه‌برداری آماده و نمونه‌برداری انجام شد. سپس پلیت حاوی محیط کشت داخل دستگاه باکتری سمپلر با دبی ۳۰ لیتر بر دقیقه قرار گرفت و به مدت ۴ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردید. محیط کشت حاوی باکتری‌ها تحت شرایط استریل به آزمایشگاه منتقل و پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۸ درجه سانتیگراد تعداد کلنی‌ها شمارش گردید. با داشتن حجم

جدول ۲- تعداد بيوآئروسل‌های کلی اتاق ايزوله به روش نمونه‌برداری محیطی در حالت بدون تهويه (cfu/m^3)

زمان نمونه‌گيری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	ميانگين و انحراف معivar
روز اول	۴۴۱/۶	۴۱۶/۶	۳۷۵	$۳۷۹ \pm ۶۸/۵$
روز دوم	۳۷۵	۴۱۶/۶	۲۵۰	

۱۱±۶/۷ کلنی در هر متر مکعب بود(جدول ۳). برای جلوگیری از آلودگی ثانویه هوا، نمونه‌برداری هوا ورودی به اتاق بدون حضور بيمار انجام شد. جدول ۳ جزئيات بيشتر اين اندازه‌گيری را نشان می‌دهد.

تراكم باكتري‌ها در هوای ورود: نتایج ۸ سري نمونه‌برداری در دو روز مختلف نشان داد که ميانگين و انحراف معivar تعداد باكتري‌های کلی هوای ورودی به اتاق ايزوله در زمانی که سيستم تهويه کار می‌کرد مساوی

جدول ۳- تعداد باكتري‌های کلی هوای بیرون به روش نمونه‌برداری محیطی (cfu/m^3)

زمان نمونه‌گيری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	ميانگين و انحراف معivar
روز اول	۴/۱	۸/۳	۰	$۱۲/۵ \pm ۶/۷$
روز دوم	۲۰/۸	۱۶/۶	۸/۳	۱۸

هوای اتاق مسلول از حداقل $۲۵ \pm ۸/۳$ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ و با ۱۲ بار تعويض هوا در ساعت) تا حدакثر $۸۸/۶ \pm ۵۳/۶$ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعويض هوا در ساعت) تغيير می‌کند(جدول ۴).

تهويه اتاق در حالت ۱: در صورتی که هوای بیرون از طريق يك دريچه گرد نصب شده در دیوار شمالی به داخل اتاق ارسال شده و از طريق يك تخلیه‌کننده خطی نصب شده در دیوار مقابل (دیوار جنوبی) به بیرون تخلیه شود ميانگين و انحراف معivar تراكم کلی باكتري‌های

جدول ۴- ميانگين و انحراف معivar تراكم باكتري‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهويه به روش ۱

محل استقرار تخت		ظرفیت تهويه AC/h
محل ۱	محل ۲	
$۷۷/۷ \pm ۲۱$	$۸۸/۶ \pm ۵۳/۶$	۳
$۵۵/۵ \pm ۴۷/۴$	$۶۶/۶ \pm ۱۴/۴$	۶
$۲۵ \pm ۸/۳$	$۶۳/۸ \pm ۱۷/۳$	۱۲

حداقل $۸۶ \pm ۳۹/۴$ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ و با ۱۲ بار تعويض هوا در ساعت) تا حداكثر $۱۸۸/۸ \pm ۵۳/۶$ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعويض هوا در ساعت) تغيير می‌کند(جدول ۵).

تهويه اتاق در حالت ۲: با ارسال هوای تازه از طريق يك دريچه گرد نصب شده در روی دیوار جنوبی به داخل اتاق و تخلیه هوای آلوده از طريق يك تخلیه‌کننده گرد نصب شده در دیوار شمالی به بیرون، ميانگين و انحراف معivar تراكم کلی باكتري‌های هوای اتاق مسلول از

جدول ۵- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهویه به روش ۲

محل استقرار تخت		ظرفیت تهویه AC/h
محل ۱	محل ۲	
$186 \pm 25/5$	$188/8 \pm 53/6$	۳
$138/8 \pm 51$	125 ± 38	۶
$86 \pm 39/4$	$111 \pm 29/2$	۱۲

حداقل $33/3 \pm 16/7$ کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداقل 100 ± 22 کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند (جدول ۶).

تهویه اتاق در حالت ۳: در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در سقف اتاق به داخل اتاق ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده گرد نصب شده در دیوار جنوبی به بیرون تخلیه شود، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای اتاق مسلول از

جدول ۶- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهویه به روش ۳

محل استقرار تخت		ظرفیت تهویه AC/h
محل ۱	محل ۲	
$77/7 \pm 17/4$	100 ± 22	۳
$50 \pm 8/3$	$44/4 \pm 12/7$	۶
$41/6 \pm 30$	$33/3 \pm 16/7$	۱۲

اتاق مسلول از حداقل $52/7 \pm 12/7$ کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداقل $158/3 \pm 50/6$ کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند (جدول ۷).

تهویه اتاق در حالت ۴: در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در سقف اتاق به داخل اتاق ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده خطی نصب شده در دیوار جنوبی (سمت پنجه) به بیرون تخلیه شود، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای

جدول ۷- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهویه به روش ۴

محل استقرار تخت		ظرفیت تهویه AC/h
محل ۱	محل ۲	
$105/5 \pm 25/5$	$158/3 \pm 50/6$	۳
$94/5 \pm 29/3$	100 ± 65	۶
$80/5 \pm 4/8$	$52/7 \pm 12/7$	۱۲

حداقل 75 ± 22 کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداقل $194/4 \pm 45/8$ کلنجی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند (جدول ۸).

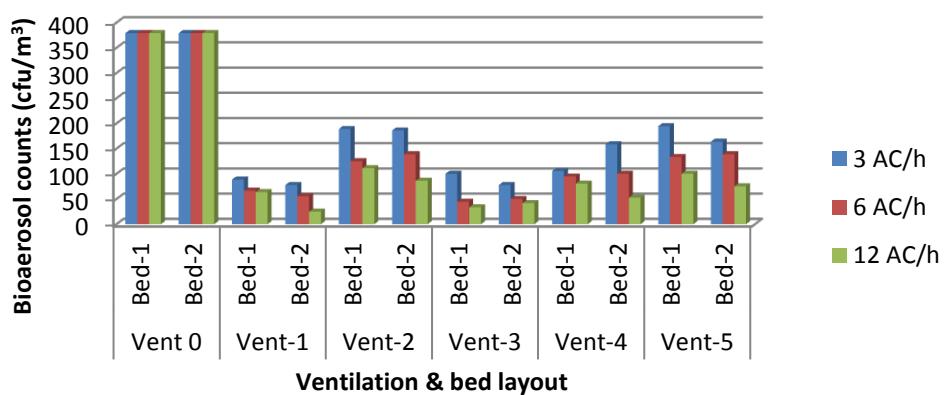
تهویه اتاق در حالت ۵: در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در دیوار شمالی اتاق به داخل آن ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده خطی نصب شده در سقف به بیرون تخلیه شود، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای اتاق مسلول از

جدول ۸- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهویه به روش ۵

		ظرفیت تهویه AC/h	
محل استقرار تخت		محل ۱	محل ۲
محل	۱	۲	۳
۱۶۳/۸	$\pm ۲۹/۳$	۱۹۴/۴ $\pm ۴۵/۸$	
۱۳۸/۸	± ۲۹	۱۳۳/۳ ± ۲۲	۶
۷۵	± ۲۲	۱۰۰ ± ۲۲	۱۲

ارسال و از طریق یک مکنده خطی نصب شده در روی دیوار جنوبی اتاق (سمت پنجره به فاصله ۴/۵ متر از یکدیگر) تخلیه می‌شود، بیشترین رقیقسازی صورت می‌گیرد. در این حالت با ۱۲ بار تعویض هوای داخل اتاق می‌توان به کمترین تعداد بیوآئروسول‌ها یعنی ۲۵ کلنی بر متر مکعب رسید. این مقدار از حد مجاز کمتر بوده و قابل قبول است.

مناسب‌ترین حالت تهویه: به منظور تعیین مناسب‌ترین حالت تهویه لازم است کلیه نتایج با یکدیگر مقایسه و مناسب‌ترین حالت تهویه انتخاب گردد. شکل ۲ میانگین تعداد بیوآئروسول‌ها را در هر یک از حالات تهویه و در هر یک از حالات استقرار تخت بیمار نشان می‌دهد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حالت اول تهویه یعنی هنگامی که هوای ۱۰۰٪ تازه بیرون، از طریق یک دمنده دایره‌ای شکل نصب شده در دیوار شمالی به داخل اتاق



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد بیوآئروسول‌ها با چیدمان‌های مختلف تهویه و تخت

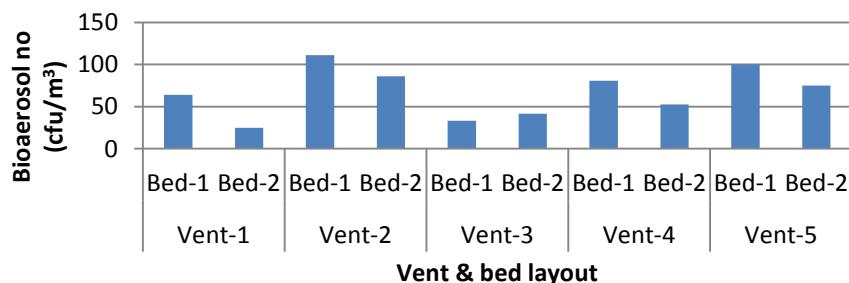
میانگین تعداد بیوآئروسول‌های کلی هوای اتاق به $194/4 \text{ cfu}/\text{m}^3$ کاهش می‌باید که به طور معنی‌داری کمتر از مقداری است که در حالت بدون تهویه وجود داشت ($P<0.001$).

به منظور تعیین مناسب‌ترین چیدمان تخت، میانگین تعداد بیوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق در موثرترین حالت‌های تهویه یعنی با بیشترین ظرفیت تهویه (۱۲ تعویض در ساعت) مقایسه شدند(شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که به جز حالت تهویه ۳ (در صورتی که

بیشترین آلدگی اندازه‌گیری شده مربوط به زمانی است که تهویه خاموش باشد. در این حالت، تعداد باکتری‌های کل هوا در اتاق مورد مطالعه تا حد ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب افزایش می‌یابد. در زمانی که سیستم تهویه روشن گردد در بدترین حالت یعنی در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در دیوار شمالی اتاق به داخل آن ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده خطی نصب شده در سقف به بیرون تخلیه شود با ۳ بار تعویض هوای در ساعت و محل تخت ۱،

ساعت، چیدمان تخت در حالت ۲ یعنی استقرار تخت در وسط اتاق سبب رقیق‌سازی بیشتر هوا شده و مناسب‌تر است.

هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در سقف اتاق به داخل اتاق ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده گرد نصب شده در دیوار جنوبی به بیرون تخلیه شود) در سایر حالات تهویه با ۱۲ بار تعویض در

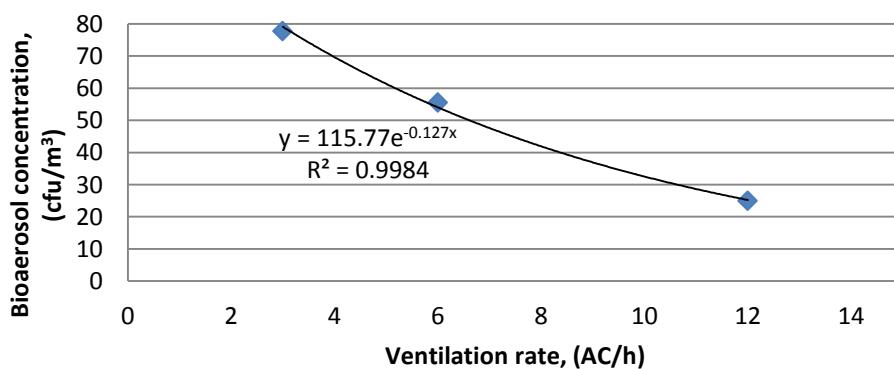


شکل ۳- نمودار مقایسه چیدمان تخت در موثرترین حالات‌ای مختلف تهویه

ظرفیت نیز به طور معنی‌داری با یکدیگر اختلاف دارند ($P<0.001$).

نقش ظرفیت تهویه بر تراکم بیوآئروسل‌ها: به منظور بررسی نقش ظرفیت تهویه بر تراکم بیوآئروسل‌های موجود در هوای اتاق، تغییرات تراکم بیوآئروسل‌های هوای اتاق در سه ظرفیت مختلف تهویه برای مناسب‌ترین حالت رسم شد(شکل ۴). نتایج نشان می‌دهد که در مناسب‌ترین چیدمان تهویه و تخت بیمار، با افزایش ظرفیت تهویه، تراکم آلاندنه‌های هوابرد به صورت نمایی کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد در حالتی که هوای تازه از طریق یک دریچه گرد نصب شده در روی دیوار جنوبی به داخل اتاق ارسال شده و هوای آلوده از طریق یک تخلیه‌کننده گرد نصب شده در دیوار شمالی به بیرون تخلیه شود (حالت تهویه ۲) و تخت در یک سمت اتاق یعنی نزدیک به پنجره قرار گرفته باشد (حالت ۱ در شکل ۱)، کمترین رقیق‌سازی صورت گرفته و تعداد بیوآئروسل‌های کلی هوا به ۱۱۱ کلنی در هر متر مکعب کاهش می‌یابد. مقایسه آماری میانگین تعداد بیوآئروسل‌ها در این حالت با بهترین حالت نشان می‌دهد که رقیق‌سازی حالات‌ای تهویه در بیشترین



شکل ۴- تغییرات تراکم بیوآئروسل‌های هوای اتاق نسبت به ظرفیت تهویه

بحث

معني‌دار ميكروارگانيس‌های هوابرد اتاق عمل آن بيمارستان گردید(۱۸).

با اعمال كمترین ظرفيت تهويه (۳ بار تعويض هوای اتاق در هر ساعت)، مناسب‌ترین چيدمان تخت (حالت ۲ شکل ۱ و جدول ۱) و مناسب‌ترین محل نصب دريچه هوادهی و هوакشی (در حالت ۱ و يا ۳ تهويه) تراكم تعداد بيوآئروسول‌های کلی هوا به حدود ۷۷ کلونی در هر متر مکعب يعني به ميزان ۵/۷۹٪ کاهش می‌يابد.

با اعمال بيشترین ظرفيت تهويه (۱۲ بار تعويض هوای اتاق در هر ساعت) در بدترین چيدمان تخت (در حالت ۱) تعداد بيوآئروسول‌های هوای اتاق از ۳۷۹ به ۱۱۱ کلونی در هر متر مکعب (۷۰/۷٪) کاهش می‌يابد. اصلاح محل استقرار تخت، محل و نوع دريچه‌های هوادهی و هوакشی يعني اعمال بيشترین ظرفيت تهويه (۱۲ بار تعويض هوای اتاق در هر ساعت و استقرار تخت در حالت ۲ شکل ۱) تعداد تراكم بيوآئروسول‌های هوای اتاق بيمار را از ۳۷۹ کلونی در هر متر مکعب (موردنظر در حالت بدون تهويه) به ۲۵ کلونی در هر متر مکعب هوا يعني ۹۳/۴٪ کاهش می‌هد.

مقاييسه بيشترین و كمترین ظرفيت تهويه به ترتيب با نامناسب‌ترین و مناسب‌ترین چيدمان تخت و محل‌های ارسال و تخلية هوا نشان می‌دهد که چيدمان مناسب تخت و محل دريچه‌های هوا نقش عمده‌ای در کارآيی تهويه دارد.

اعمال هر يك از حالات‌های مطالعه شده تهويه با هر يك از چيدمان‌های تخت تراكم بيوآئروسول‌های کلی هوای اتاق را به طور معني‌داری($P<0.001$) کاهش می‌دهد، حتى اعمال كمترین ظرفيت تهويه در بدترین شرياط هوادهی و هوакشی نيز ميزان تراكم بيوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق را نسبت به حالتی که از سистем تهويه استفاده نشود به طور معني‌داری ($P<0.001$) کاهش می‌دهد.

كمитеه بيوآئروسول انجمن دولتي مهندسين بهداشت حرفة‌ای آمريكا (ACGIH) of Governmental Industrial Hygienists يكى از مراجع اصلی در زمينه تحقيقات پيرامون بيوآئروسول‌ها، استانداردي برای تعداد کلونی‌ها در هوای مكان‌های مختلف ارائه نكرده است(۱۶). برخی از مراكز معتبر نظير سازمان ملي ايمنى و بهداشت حرفة‌ای آمريكا National Institute of Occupational (NIOSH) Safety and Health تووصيه می‌كنند که در پژوهش‌های هوای داخل، بهترین معيار مقاييسه سطح بيوآئروسول‌های هوای داخل با هوای بیرون و اعمال اقدامات كترلي در صورت افزایش آن می‌باشد(۱۵). Mcdermott پيشنهاد می‌کند هوائي که داراي بيش از ۵۰۰ کلونی بر متر مکعب باشد بسيار آلوده بوده و نيازمند اقدامات كترلي از جمله نصب سистем تهويه می‌باشد(۱۷).

بر پایه نتایج مطالعه حاضر در اتاق مسلولی که يك بيمار بستري است، چنانچه تهويه اعمال نشود ميانگين تراكم بيوآئروسول‌های کلی هوا از حدود ۱۱ کلونی در هر متر مکعب به ۳۷۹ کلونی در هر متر مکعب (۴۵/۳۳۴۵٪) افزایش می‌يابد.

بر پایه اين نتایج اعمال تهويه به اتاق‌های ايزوله امری اجتناب ناپذير است. اعمال كمترین ظرفيت تهويه (۳ بار تعويض هوای اتاق در هر ساعت) در بدترین چيدمان تخت و نامناسب‌ترین نوع و محل هوادهی به اتاق و هوакشی از اتاق (حالت تهويه ۵ و استقرار تخت در حالت ۱) ميانگين تراكم بيوآئروسول های کلی اتاق از ۳۷۹ کلونی در هر متر مکعب به ۱۹۴/۴ کلونی در هر متر مکعب (۸/۴٪) کاهش می‌يابد. اين کاهش از نظر آماري معني‌دار است ($P<0.001$). اين نتایج با يافته‌های Ghorbani و همكاران مطابقت دارد. آنها نشان دادند که در يكى از ۴ بيمارستان مورد مطالعه خود تهويه اتاق عمل (عليرغم اينكه سистем تهويه مطلوب نبود) باعث کاهش

که از نتایج مطالعه حاضر به دست آمد مشابه طرحی است که توسط مرکز کنترل بیماری‌های آمریکا (CDC) Center for Disease Control برای اتفاق‌های ایزووله نیز توصیه شده است^(۴).

ضعیفترین حالت‌های تهویه مربوط به حالت‌های ۲ و ۵ با میانگین ۱۳۹ کولنی بر مترمکعب و ۱۳۴ کولنی بر مترمکعب بود. از لحاظ آماری نیز اختلاف معنی‌داری بین حالت‌های ۲ و ۵ مشاهده نشد.

نتایج مطالعه حاضر توصیه انجمان‌های ASHRAE، American Institute of Architects (AIA) و Health Resources and Services Adminstration (HRSA) آمریکا را مبنی بر لزوم حداقل ۶ تعویض در ساعت برای ساختمان‌های قدیمی و ۱۲ بار تعویض در ساعت برای ساختمان‌های جدید را قویاً تایید می‌کند.

بنا به توصیه همین سازمان‌ها مقدار ۶ بار تعویض هوا در ساعت بر مبنای راحتی و کنترل بو می‌باشد و در نتیجه اثربخشی آن در کاهش عفونت‌های هوابرد جای سؤال دارد. نرخ تهویه‌ای بیشتر از ۶ تعویض در ساعت احتمالاً باعث کاهش بیشتر در غلظت باکتری‌ها در یک اتفاق می‌شود.

برای کاهش غلظت قطرات ریز عفونی در اتفاق‌های ایزووله سل و اتفاق‌های درمانی باید جریان‌هایی بزرگتر از ۶ تعویض در ساعت وجود داشته باشد که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی کامل دارد. گرچه ظرفیت ۶ بار تعویض در مناسب‌ترین چیدمان تهویه و تخت بیمار، تعداد بیوآئرولس‌های موجود در هوای اتفاق بیمار مسلول را به کمتر از ۷۵ کلنی در هر متر مکعب کاهش می‌دهد اما با توجه به خطرناک بودن باکتری سل نمی‌توان میزان خطر این روش را پذیرفت و نرخ ۶ تعویض در ساعت را انتخاب نمود، لذا توصیه می‌شود برای اتفاق‌های ایزووله مسلولین از همان نرخ تهویه ۱۲ تعویض در ساعت استفاده شود، شاید در سایر بخش‌های درمانی که دارای خطر کمتری می‌باشند بتوان از نرخ تهویه ۶ تعویض در ساعت استفاده نمود.

مقایسه محل نصب دمنده و مکنده هوا در حالات مختلف نشان داد که مناسب‌ترین حالت تهویه استفاده از یک دمنده دایره‌ای نصب شده در سقف اتفاق برای ارسال هوا و یک مکنده خطی نصب شده بر روی دیوار جنوبی است.

اگر طبق نظر برخی منابع سطح بیوآئرولس مجاز برای شروع مطالعه و تحقیق ۷۵ کولنی در هر مترمکعب در نظر گرفته شود در این صورت طبق نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، با چیدمان مناسب تهویه و تخت یعنی در حالتی که هوای تمیز از طریق یک دمنده دایره‌ای شکل نصب شده در سقف وارد اتفاق شده و از طریق یک مکنده (گرد و یا خطی) نصب شده در روی دیوار تخلیه گردد حتی با ۶ بار تعویض نیز می‌توان تراکم بیوآئرولس‌های موجود در هوای اتفاق مسلول را به کمتر از ۷۵ کلنی در هر متر مکعب کاهش داد.

نتایج این مطالعه با توصیه برخی از سازمان‌های معتبر نظیر انجمان مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه آمریکا که میزان تهویه ۶ بار تعویض در ساعت را برای ساختمان‌های جدید و ۱۲ بار تعویض در ساعت را برای ساختمان‌های قدیمی توصیه می‌کنند کاملاً مطابقت دارد^(۱۲).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که حالت ۱ را می‌توان بهترین حالت تهویه در نظر گرفت، گرچه حالت ۳ نیز رقیق‌سازی قابل قبولی را فراهم می‌سازد، اما با توجه به اینکه در کنار تخت بیمار، احتمال حضور تیم درمانی و یا سایر افراد می‌باشد، لذا این روش توصیه نمی‌گردد، زیرا هوایی که از سقف بر روی تخت ارسال می‌شود احتمال پراکندن بیوآئرولس‌ها را به منطقه تنفسی افرادی که در اطراف تخت حضور دارند افزایش می‌دهد. در صورتی که هوای تازه از سمت دیوار شمالی ارسال و از سمت دیوار جنوبی تخلیه شود (حالت تهویه ۱)، الگوی هوا همانند اتفاق‌های پاک به گونه‌ای خواهد بود که تیم درمانی و سایر ملاقات‌کنندگان در یک منطقه تمیز بین دمنده و تخت بیمار مستقر خواهد بود^(۱۹). مناسب‌ترین طرحی

برای ورود و خروج محقق به اتاق بیمار و نصب دستگاه‌های نمونه‌بردار در آن از بیمار رضایت کنی دریافت گردید. برای تصویب انجام کلیه مطالعه، مجوز کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ضروری است. در این مطالعه نیز مجوزهای لازم دریافت شد.

نتیجه‌گیری

نوع و ظرفیت تهویه، چیدمان تخت بیمار و محل استقرار کادر درمانی در کنار تخت نقش مهمی در کاهش میزان مواجهه کادر درمانی به آلاینده‌های بیولوژیکی هوابرد دارند. برپایه نتایج مطالعه حاضر، حالت ۱ را می‌توان بهترین حالت تهویه برای اتاق‌های ایزوله در نظر گرفت.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی شماره ۲۵/۲۷۵۵/پ تاریخ ۸۹/۹/۶ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و پایان‌نامه آقای محمدرضا حاجی غلامی به راهنمایی دکتر محمدجواد جعفری می‌باشد. بدین وسیله از دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و بیمارستان مسیح دانشوری به خاطر تامین اعتبارات لازم و فراهم ساختن زمینه انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

طبق نظر Cox & Kowalski & Bahnfleth باکتری‌های سل می‌توانند برای ساعت متواتی در هوا باقی بمانند و استفاده از ۱۲ بار تعویض هوا در اتاق بیمار مسلول باعث خواهد شد تا در خوش‌بینانه‌ترین برآورد، باکتری‌ها پس از ۵ دقیقه از اتاق خارج شوند که این امر در کاهش خطر مواجهه شاغلین با باکتری‌های هوابرد سل نقش عمده‌ای دارد(۱۰,۱۲).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تغییرات تراکم بیوآئرولهای هوای اتاق نسبت به ظرفیت تهویه به صورت نمایی کاهش می‌یابد. این نتایج با نظریه تعادل جرم مواد مطابقت دارد.

طبق نظریه فوق مقدار تراکم آلاینده مساوی است با مقدار تولید منهای مقدار تخلیه شده از اتاق که در صورت در نظر گرفتن نقش تهویه اتاق، مقدار تراکم آلاینده در هوای اتاقی که تهویه می‌شود به صورت نمایی کاهش خواهد یافت(۱۴,۱۹).

شایان ذکر است که در مطالعه حاضر هیچگونه مداخله‌ای که منجر به افزایش میزان مواجهه بیمار و یا کارکنان بیمارستان با تراکم بیشتر آسودگی هوا گردد انجام نشد. در زمان نمونه‌برداری، محقق و کلیه افرادی که وارد اتاق می‌شدند از وسایل حفاظت فردی شامل ماسک ویژه استفاده می‌کردند.

منابع

- Hubalek Z. Emerging human infectious diseases: anthroponoses, zoonoses, and sapronoses. *Emerging Infectious Diseases* 2003; 9(3): 403-4.
- Beggs C. The use of Engineering Measures to Control Airborne Pathogens in Hospital Buildings. CRC Press, New York, 2002: 1.
- Bozzi CJ, Burwen DR, Dooley SW, Simone PM. Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Facilities: Centers for Disease Control and Prevention (CDC United States); 1994.
- Jensen PA, Lambert LA, Iademarco MF, Ridzon R. Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings: Centers for Disease Control and Prevention (CDC United States); 2005: 1-141.
- Menzies D, Fanning A, Yuan L, Fitzgerald M. Tuberculosis among health care workers. *The New England Journal of Medicine* 1995; 332(2): 92 - 8.

6. Meredith S, Watson JM, Citron KM, Cockcroft A, Derbyshire JH. Are healthcare workers in England and Wales at increased risk of tuberculosis? *BMJ* 1996; 313: 522-5
7. Baussano I, Bugiani M, Carosso A. Risk of tuberculin conversion among healthcare workers and the adoption of preventive measures. *Occup Environ Med*; 2007; 64: 161-6.
8. Vries Gd. Healthcare workers with tuberculosis infected during work. *European Respiratory Journal* 2006; 28(6): 1216-21.
9. Menzies D, Fanning A, Yuan L, Fitzgerald M. Hospital Ventilation and Risk for Tuberculosis Infection in Canadian Health Care Workers. *Annals of Internal Medicine* 2000; 133(10): 779-89.
10. Kowalski WJ, Bahnfleth W. Airborne Respiratory Diseases and Mechanical Systems for CONTROL OF MICROBES. *HPAC Heating/Piping/Air Conditioning* 1998: 34-48.
11. Luksamijarulkul P, Supapvanit C, Loosereewanich P, Aiumlaor P. Risk Assessment towards tuberculosis among hospital personnel: Administrative control, risk exposure use of protective barriers and microbial air quality. *South East Asian J. Trop. Med. Public Health* 2004; 35(4): 1005-11.
12. Cox R, Memarzadeh F. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE Publications; Atlanta, Georgia, 2003: 14.
13. Cerise FP. Tuberculosis Control Manual. Louisiana: Department of Health and Hospitals, Office of Public Health, 2007: 39.
14. ACGIH, Industrial Ventilation Handbook, American Conference of Governmental Hygienists, Cincinnati, Ohio, 2010.
15. Jensen PA. Sampling and Characterization of Bio-aerosols. NIOSH Manual of Analytical Methods 1998: 82-112.
16. Macher J. Bio-aerosols: Assessment and Control: ACGIH bio-aerosol committee 1999.
17. McDermott HJ. Air Monitoring for Toxic Exposures. Moraga, California: A JOHN WILEY & SONS, INC 2004.
18. Ghorbani, F, Diversity and density of bio-aerosols in operating rooms Hamedan teaching hospitals and the profile and effectiveness of ventilation systems, MSc thesis, Occupational Health Dept, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, 2004.
19. Zhang, Y, Indoor Air Quality Engineering, CRC Press, London, 2005: 495.