

## تأثیر تهویه بر تراکم آلاینده‌های بیولوژیک هوا در یک اتاق بیمار مسلول

محمد جواد جعفری<sup>۱\*</sup>، محمدرضا حاج غلامی<sup>۲</sup>، سوسن صالح پور<sup>۳</sup>، زهره امیری<sup>۴</sup>، پیام طبرسی<sup>۵</sup>

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: ۹۲/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۲۰

### چکیده

**مقدمه:** تهویه در کاهش میزان پاتوژن‌های هوابرد در اتاق‌های ایزوله به ویژه اتاق‌هایی که بیماران مسلول در آن بستری هستند، نقش قابل توجهی دارد. این مطالعه به بررسی تأثیر تهویه بر میزان تراکم بیوائروسول‌های هوابرد در یک اتاق بیمار مسلول می‌پردازد.

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی به یک اتاق تک تخته بیمارستانی که در آن یک بیمار مبتلا به سل بستری بود ۵ حالت تهویه که هر یک دارای ۳ ظرفیت تهویه مختلف بود اعمال گردید. در ضمن در هر حالت تهویه، تخت بیمار در ۲ وضعیت مختلف و مجسمه یک نفر پرستار در کنار تخت قرار داده شد. در هر یک از این حالات، از بیوائروسول‌های موجود در هوای اتاق نمونه‌برداری محیطی به عمل آمد. بدین منظور برای هر حالت، ۳ نمونه محیطی از هوای اتاق گرفته شد. نمونه‌برداری محیطی توسط دستگاه باکتری سمپلر و محیط کشت آگار خونی انجام و در آزمایشگاه پاتولوژی شمارش گردید.

**یافته‌ها:** میزان تراکم بیوائروسول‌های کل در هوای اتاق بیمار با اعمال حالت‌های مختلف تهویه به طور معنی‌داری ( $P < 0/001$ ) تغییر کرد. حتی با اعمال کمترین ظرفیت تهویه در بدترین شرایط هوادهی و هواکشی نیز میزان تراکم بیوائروسول‌های موجود در هوای اتاق نسبت به حالتی که در اتاق از سیستم تهویه استفاده نمی‌شد به طور معنی‌داری ( $P < 0/001$ ) کاهش یافت. در بهترین حالت با ورود هوای تمیز از طریق یک دریچه گرد سقفی و خروج آن از طریق یک مکنده خطی نصب شده بر روی دیوار (با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) میانگین تراکم بیوائروسول‌های کل به ۲۵ کلنی در هر متر مکعب کاهش یافت. در موثرترین حالت تهویه در صورت ثابت بودن نوع و ظرفیت تهویه اتاق، چیدمان تخت باعث کاهش ۱۷/۷۵٪ در میزان تراکم آلاینده‌های نمونه‌برداری شده از هوای کل شد.

**نتیجه‌گیری:** نصب سیستم تهویه مناسب تعیین شده در این مطالعه برای اتاق‌های ایزوله توصیه می‌شود.

**کلید واژه‌ها:** بیوائروسول، اتاق ایزوله، باکتری، سل، تهویه

\* 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، ضدعفونی کردن به وسیله اشعه UV و ایزولاسیون به وسیله کنترل فشار می‌باشد (۱۲-۱۰، ۴-۲). از میان روش‌های کنترل مهندسی موجود برای کاهش و حذف پاتوژن‌های هوابرد، سیستم تهویه مناسب احتمالاً موثرترین روش برای کنترل می‌باشد (۱۳، ۱۲، ۱۰، ۴-۲). استفاده از فیلترهای راندامان بالا ویژه ذرات و لامپ‌های UVGI نیز اقدامات موثری هستند که می‌توانند مکمل سیستم تهویه در مناطق پر خطر باشند (۱۳-۱۰، ۴-۲).

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 فضاها 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, (ASHRAE) Refrigeration & Ventilation Engineers مقدار ۶ بار تعویض هوا در ساعت را به منظور راحتی و کنترل بو توصیه می‌نماید (۱۲) (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 (۱۰).

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 (۱). بیماری سل یک نمونه از بیماری‌های ریوی است که از طریق ذرات هوابرد انتقال می‌یابد (۳، ۲). 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 (۳). 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 وسایل حفاظت فردی تنفسی گزارش شده است (۵، ۴). 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 (۶، ۵) و در یک بیمارستان، سرایت عفونت به کارکنان بین ۱ تا ۱۰٪ در سال بوده است (۵).

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 (۷). 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 (۸). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۰، در کشور کانادا در بین ۱۲۸۹ نفر کارکنان مراقبت‌های بهداشتی ۲۳۸ نفر دچار عفونت سل شده بودند (۹). متأسفانه آمار دقیقی در ارتباط با میزان

تغییر موقعیت منبع آلودگی است که به احتمال قوی بر گستره انتشار آلودگی در اتاق اثر دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر پارامترهای مختلف تهویه و محل استقرار تخت بیمار بر میزان تراکم بیوائروس‌های موجود در هوای اتاق‌های ایزوله طراحی و اجرا گردید.

### روش بررسی

در این پژوهش تجربی، ابتدا یک اتاق تک تخته بیمارستانی فاقد سیستم تهویه که در آن یک فرد دارای بیماری سل بستری بود انتخاب گردید. برای این اتاق ۵ حالت تهویه که می‌تواند برای اتاق‌های ایزوله مناسب باشد انتخاب گردید. جدول ۱، سناریوهای مختلف تهویه 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 تهویه شده و از طرف دیگر اعمال ظرفیت‌های کم سبب افزایش ریسک انتقال بیماری به سایرین می‌گردد. بنابراین لازم است نقش تهویه را بر فاکتورهایی که مستقیماً در انتقال بیماری نقش دارند یعنی تعداد باکتری‌های موجود در هوا مطالعه نمود. علاوه بر ظرفیت تهویه نوع و محل دریچه‌های ارسال‌کننده هوا به اتاق و همچنین نوع و محل تخلیه‌کننده‌های هوای اتاق‌های ایزوله نیز می‌توانند در کاهش تعداد باکتری‌های هوا برد 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 یک محل ارسال می‌کنند و به نظر می‌رسد هنگامی که به محل منبع آلودگی متمرکز شوند بهتر قادرند آلاینده‌های موجود در هوا را رقیق کنند (۱۴). تخت بیمار به منزله منبع آلودگی اتاق‌های ایزوله به شمار می‌رود. تغییر محل استقرار تخت بیمار به منزله

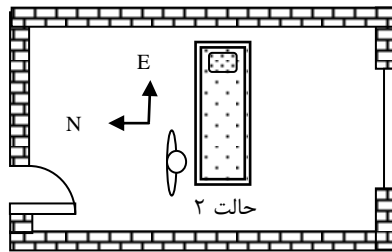
جدول ۱- حالت‌های مختلف تهویه اعمال شده به اتاق مورد مطالعه

وضعیت مکنده	وضعیت دمنده	حالت‌های مختلف تهویه
خاموش	خاموش	۰
دریچه خطی در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	۱
دریچه گرد در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	۲
دریچه گرد در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در سقف اتاق	۳
دریچه خطی در دیوار سمت جنوب	دریچه گرد در سقف اتاق	۴
دریچه گرد در سقف اتاق	دریچه گرد در دیوار سمت شمال	۵

در حالت اول، تخت در یک 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 یک از این حالات نمونه‌برداری‌های محیطی از بیوائروس‌های موجود در هوای اتاق به عمل آمد. برای هر حالت ۳ نمونه محیطی از بیوائروس‌های کلی هوای اتاق گرفته

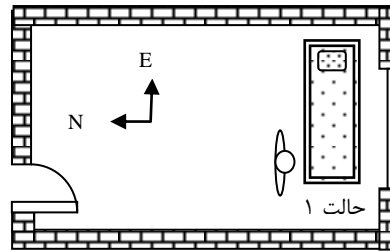
در هر یک از این حالت‌های تهویه، ۳ ظرفیت تهویه مختلف اعمال گردید. بدین ترتیب جمعاً ۱۵ حالت تهویه و یک حالت بدون تهویه یعنی در مجموع ۱۶ حالت مورد بررسی قرار گرفت. در ضمن با توجه به موقعیت استقرار دمنده و مکنده به منظور کسب بیشترین رقیق‌سازی و تخلیه آلودگی از اتاق، تخت بیمار در ۲ وضعیت مختلف چیده شد.

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 بیوائروسل‌های موجود در هوای بیرون نمونه‌برداری محیطی در دهانه کانال ورودی هوا انجام شد. میزان هوای خروجی ۲۰٪ 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.



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 کانال هوای ورودی نمونه‌گیری شد. برای پیشگیری از ورود احتمالی هوا از سایر مسیرها در حین انجام آزمایشات درب و پنجره اتاق بیمار بسته بود.



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 بیوائروسل‌ها به صورت تعداد کلنی در هر مترمکعب هوا ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) گزارش گردید (۱۶، ۱۵). داده‌ها و نتایج، وارد 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  $379 \pm 68/5$  ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) می‌باشد (جدول ۲).

#### روش تعیین تراکم بیوائروسل‌ها

برای تعیین تراکم بیوائروسل‌ها 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 باکتریایی 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 ست 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 بیواژوسل‌های کلی اتاق ایزوله به روش نمونه‌برداری محیطی در حالت بدون تهویه ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ )

زمان نمونه‌گیری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین و انحراف معیار
روز اول	۴۴۱/۶	۴۱۶/۶	۳۷۵	۳۷۹ ± ۶۸/۵
روز دوم	۳۷۵	۴۱۶/۶	۲۵۰	

تراکم باکتری‌ها در هوای ورود: نتایج ۸ سری نمونه‌برداری در دو روز متفاوت نشان داد که میانگین و انحراف معیار تعداد باکتری‌های کلی هوای ورودی به اتاق ایزوله در زمانی که سیستم تهویه کار می‌کرد مساوی

۱۱ ± ۶/۷ کلنی در هر متر مکعب بود (جدول ۳). برای جلوگیری از آلودگی ثانویه هوا، نمونه‌برداری هوای ورودی به اتاق بدون حضور بیمار انجام شد. جدول ۳ جزئیات بیشتر این اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تعداد باکتری‌های کلی هوای بیرون به روش نمونه‌برداری محیطی ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ )

زمان نمونه‌گیری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	میانگین و انحراف معیار
روز اول	۴/۱	۸/۳	۰	۱۲/۵	۱۱ ± ۶/۷
روز دوم	۲۰/۸	۱۶/۶	۸/۳	۱۸	

تهویه اتاق در حالت ۱: در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در دیوار شمالی به داخل اتاق ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده خطی نصب شده در دیوار مقابل (دیوار جنوبی) به بیرون تخلیه شود میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های

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

جدول ۴- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) در حالت تهویه به روش ۱

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

تهویه اتاق در حالت ۲: با ارسال هوای تازه از طریق یک دریچه گرد نصب شده در روی دیوار جنوبی به داخل اتاق و تخلیه هوای آلوده از طریق یک تخلیه‌کننده گرد نصب شده در دیوار شمالی به بیرون، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای اتاق مسلول از

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

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

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

حداقل  $33/3 \pm 16/7$  کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر  $100 \pm 22$  کلنی 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 ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) در حالت تهویه به روش ۳

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

اتاق مسلول از حداقل  $52/7 \pm 12/7$  کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر  $158/3 \pm 50/6$  کلنی 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 پنجره) به بیرون تخلیه شود، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای

جدول ۷- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) 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
$94/5 \pm 29/3$	$100 \pm 65$	۶
$80/5 \pm 4/8$	$52/7 \pm 12/7$	۱۲

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

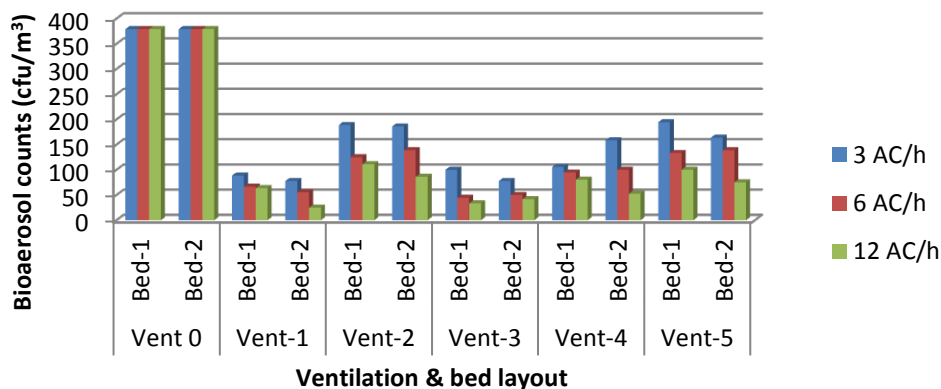
تهویه اتاق در حالت ۵: در صورتی که هوای بیرون از طریق یک دریچه گرد نصب شده در دیوار شمالی اتاق به داخل آن ارسال شده و از طریق یک تخلیه‌کننده خطی نصب شده در سقف به بیرون تخلیه شود، میانگین و انحراف معیار تراکم کلی باکتری‌های هوای اتاق مسلول از

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

محل استقرار تخت		ظرفیت تهویه AC/h
محل ۱	محل ۲	
$194/4 \pm 45/8$	$163/8 \pm 29/3$	۳
$133/3 \pm 22$	$138/8 \pm 29$	۶
$100 \pm 22$	$75 \pm 22$	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

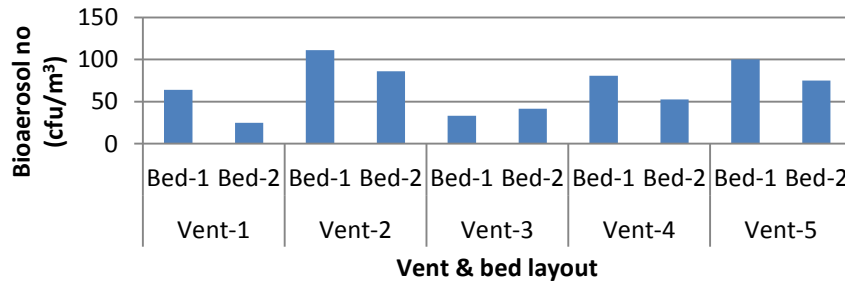
میانگین تعداد بیوآئروسول‌های کلی هوای اتاق به  $194/4 \text{ cfu}/\text{m}^3$  کاهش می‌یابد که به طور معنی‌داری کمتر از مقداری است که در حالت بدون تهویه وجود داشت ( $P < 0/001$ ).

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 آلودگی 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 هوا 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

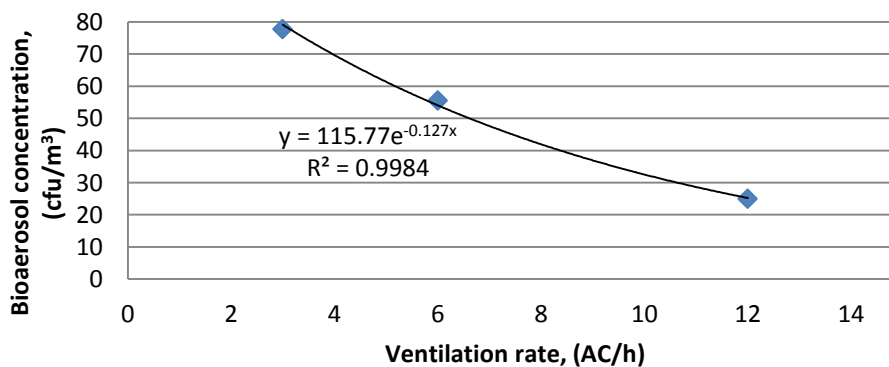


شکل ۳- نمودار مقایسه چیدمان تخت در موثرترین حالت‌های مختلف تهویه

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

نقش ظرفیت تهویه بر تراکم بیوائروسول‌ها: به منظور بررسی نقش ظرفیت تهویه بر تراکم بیوائروسول‌های موجود در هوای اتاق، تغییرات تراکم بیوائروسول‌های 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 آلاینده‌های هوا برد 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 بیوائروسول‌های کلی هوا به ۱۱۱ کلنی در هر متر مکعب کاهش می‌یابد. مقایسه آماری میانگین تعداد بیوائروسول‌ها در این حالت با بهترین حالت نشان می‌دهد که رقیق‌سازی حالت‌های تهویه در بیشترین



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



## بحث

معنی‌دار میکروارگانیزم‌های هوابرد اتاق عمل آن بیمارستان گردید (۱۸).

با اعمال کمترین ظرفیت تهویه (۳ بار تعویض هوای اتاق در هر ساعت)، مناسب‌ترین چیدمان تخت (حالت ۲ شکل ۱ و جدول ۱) و مناسب‌ترین محل نصب دریچه هوادهی و هواکشی (در حالت ۱ و یا ۳ تهویه) تراکم تعداد بیوائروسول‌های کلی هوا به حدود ۷۷ کلنی در هر متر مکعب یعنی به میزان ۰/۷۹/۵٪ کاهش می‌یابد.

با اعمال بیشترین ظرفیت تهویه (۱۲ بار تعویض هوای اتاق در هر ساعت) در بدترین چیدمان تخت (در حالت ۱) تعداد بیوائروسول‌های هوای اتاق از ۳۷۹ به ۱۱۱ کلنی در هر مترمکعب (۰/۷۰/۷٪) کاهش می‌یابد. اصلاح محل استقرار تخت، محل و نوع دریچه‌های هوادهی و هواکشی یعنی اعمال بیشترین ظرفیت تهویه (۱۲ بار تعویض هوای اتاق در هر ساعت و استقرار تخت در حالت ۲ شکل ۱) تعداد تراکم بیوائروسول‌های هوای اتاق بیمار را از ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب (مورد انتظار در حالت بدون تهویه) به ۲۵ کلنی در هر متر مکعب هوا یعنی ۰/۹۳/۴٪ کاهش می‌دهد.

مقایسه بیشترین و کمترین ظرفیت تهویه به ترتیب با نامناسب‌ترین و مناسب‌ترین چیدمان تخت و محل‌های ارسال و تخلیه هوا نشان می‌دهد که چیدمان مناسب تخت و محل دریچه‌های هوا نقش عمده‌ای در کارایی تهویه دارد.

اعمال هر یک از حالت‌های مطالعه شده تهویه با هر یک از چیدمان‌های تخت تراکم بیوائروسول‌های کلی هوای اتاق را به طور معنی‌داری ( $P < 0/001$ ) کاهش می‌دهد، حتی اعمال کمترین ظرفیت تهویه در بدترین شرایط هوادهی و هواکشی نیز میزان تراکم بیوائروسول‌های موجود در هوای اتاق را نسبت به حالتی که از سیستم تهویه استفاده نشود به طور معنی‌داری ( $P < 0/001$ ) کاهش می‌دهد.

کمیته بیوائروسول انجمن دولتی مهندسين بهداشت حرفه‌ای آمریکا (ACGIH) American Conference of Governmental Industrial Hygienists به عنوان یکی از مراجع اصلی در زمینه تحقیقات پیرامون بیوائروسول‌ها، استاندارد برای تعداد کلنی‌ها در هوای مکان‌های مختلف ارائه نکرده است (۱۶). برخی از مراکز معتبر نظیر سازمان ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH) National Institute of Occupational Safety and Health توصیه می‌کنند که در پژوهش‌های هوای داخل، بهترین معیار مقایسه سطح بیوائروسول‌های هوای داخل با هوای بیرون و اعمال اقدامات کنترلی در صورت افزایش آن می‌باشد (۱۵). Mcdermott پیشنهاد می‌کند هوایی که دارای بیش از ۵۰۰ کلنی بر مترمکعب باشد بسیار آلوده بوده و نیازمند اقدامات کنترلی از جمله نصب سیستم تهویه می‌باشد (۱۷).

بر پایه نتایج مطالعه حاضر در اتاق مسلولی که یک بیمار بستری است، چنانچه تهویه اعمال نشود میانگین تراکم بیوائروسول‌های کلی هوا از حدود ۱۱ کلنی در هر متر مکعب به ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب (۰/۳۳۴۵/۴۵٪) افزایش می‌یابد.

بر پایه این نتایج اعمال تهویه به اتاق‌های ایزوله امری اجتناب ناپذیر است. اعمال کمترین ظرفیت تهویه (۳ بار تعویض هوای اتاق در هر ساعت) در بدترین چیدمان تخت و نامناسب‌ترین نوع و محل هوادهی به اتاق و هواکشی از اتاق (حالت تهویه ۵ و استقرار تخت در حالت ۱) میانگین تراکم بیوائروسول‌های کلی اتاق از ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب به ۱۹۴/۴ کلنی در هر متر مکعب (۰/۴۷/۸٪) کاهش می‌یابد. این کاهش از نظر آماری معنی‌دار است ( $P < 0/001$ ). این نتایج با یافته‌های Ghorbani و همکاران مطابقت دارد. آنها نشان دادند که در یکی از ۴ بیمارستان مورد مطالعه خود تهویه اتاق عمل (علیرغم اینکه سیستم تهویه 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 اتاق‌های ایزوله 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 انجمن‌های ASHRAE، American Institute of Architects (AIA) و Health Resources and Services Administration (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 اتاق می‌شود.

برای کاهش غلظت قطرات ریز عفونی در اتاق‌های ایزوله سل و اتاق‌های 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 بیوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق 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 اتاق‌های ایزوله 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 اتاق برای ارسال هوا و یک مکنده خطی نصب شده بر روی دیوار جنوبی است.

اگر طبق نظر برخی منابع سطح بیوآئروسول 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 اتاق 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 بیوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق مسلول را به کمتر از ۷۵ کلنی در هر متر مکعب کاهش داد.

نتایج این مطالعه با توصیه برخی از سازمان‌های معتبر نظیر انجمن 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 قابل‌قبولی 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 بیوآئروسول‌ها 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 اتاق‌های 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 کتبی 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 هوا برد 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 و Memarzadeh باکتری‌های سل می‌توانند برای ساعات متوالی 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 بیوآئروسول‌های 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 آلودگی 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

1. Hubalek Z. Emerging human infectious diseases: anthroponoses, zoonoses, and sapronoses. *Emerging Infectious Diseases* 2003; 9(3): 403-4.
2. Beggs C. *The use of Engineering Measures to Control Airborne Pathogens in Hospital Buildings*. CRC Press, New York, 2002: 1.
3. 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.
4. 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.
5. 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, Darbyshire 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. Ccox 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.*