فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ششم/ شماره دوم/ تابستان ۹۳/ صفحات ۱۲-۱

تاثیر تهویه بر تراکم آلاینده‌های بیولوژیک هوا در یک اتاق بیمار مسلول

محمد جواد جعفری[۱*]، محمدرضا حاج غلامی[۲]، سوسن صالح پور[۳]، زهره امیری[٤]، پیام طبرسی[٥]

۱. عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
۲. کارشناس ارشد مهندسی 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
٤. 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 دریافت: ۹۲/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش:۹۲/۰۸/۲۷

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 تاثیر تهویه بر میزان تراکم بیوآئروسول‌های 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 تهـویه، تخت بیمار در ۲ وضعیت مختلف و مجسمه یک نفر پرستار در کنار تخت قرار داده شد. در هر یک از این حالات، از بیوآئروسل‌های 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 بیوآئروسول‌های کل در هوای اتاق بیمار با اعمال حالت‌های مختلف تهویه به طور معنی‌داری ($P<۰/۰۰۱$) تغییر کرد. حتی با اعمال کمترین ظرفیت تهویه در بدترین شرایط هوادهی و هواکشی نیز میزان تراکم بیوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق نسبت به حالتی که در اتاق از سیستم تهویه استفاده نمی‌شد به طور معنی‌داری ($P<۰/۰۰۱$) 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 بیوآئروسول‌های 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: بیوآئروسل، اتاق ایزوله، باکتری، سل، تهویه

* نویسنده مسئول: آدرس پستی: گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تلفن: ۰۲۱-۲۲٤۳۲۰٤۰
پست الکترونیکی: jafari1952@yahoo.co

www.SID.ir

مقدمه

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(۲,۳). 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(٤,٥). 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 ٣٦٤ مورد بیماری سل در بین پرستاران و افراد ماما شناسایی شد(٥,٦) و در یک بیمارستان، سرایت عفونت به کارکنان بین ۱ تا ۱۰٪ در سال بوده است(٥).

در سال ۲۰۰۷، نتایج یک مطالعه در کشور ایتالیا نشان داد که از میان ۲۱۸۲ نفر پرسنل بیمارستان، بعد از گذشت یک سال، حدود ۱٤۸ نفر پرستار و ٤۳ نفر پزشک دچار تغییر در تست پوستی بیماری سل شده‌اند(۷). در سال ۲۰۰٦، در مطالعه دیگری در هلند، یک جمعیت ۱۰۱ نفری در مدت ٥ سال مورد بررسی قرار گرفتند که از این تعداد ٦۷ 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). متاسفانه آمار دقیقی در ارتباط با میزان 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، ٤-۲). از میان روش‌های کنترل مهندسی موجود برای کاهش و حذف پاتوژن‌های هوابرد، سیستم تهویه مناسب احتمالاً موثرترین روش برای کنترل می‌باشد(٤,۱۰,۱۲,۱۳-۲). استفاده از فیلترهای راندمان بالا ویژه ذرات و لامپ‌های UVGI نیز اقدامات موثری هستند که می‌توانند مکمل سیستم تهویه در مناطق پر خطر باشند(۱۳-۱۰، ٤-۲).

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 (ASHRAE) American Society of Heating, Refregeration & Ventilation Engineers مقدار ٦ 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

Archive of SID
www.SID.ir

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 هوابرد نقش داشته باشند. ثابت شده است که مکنده‌های خطی(۱٤) قادرند آلاینده‌های هوا را در طول بیشتری به طور یکنواخت تخلیه کنند. دمنده‌های گرد(۱٤) 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(۱٤).

تخت بیمار به منزله منبع آلودگی اتاق‌های ایزوله به شمار می‌رود. تغییر محل استقرار تخت بیمار به منزله 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 بیوآئروسل‌های 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.

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

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

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 ۱٦ 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.

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 بیوآئروسل‌های موجود در هوای اتاق به عمل آمد. برای هر حالت ۳ نمونه محیطی از بیوآئروسل‌های کلی هوای اتاق گرفته

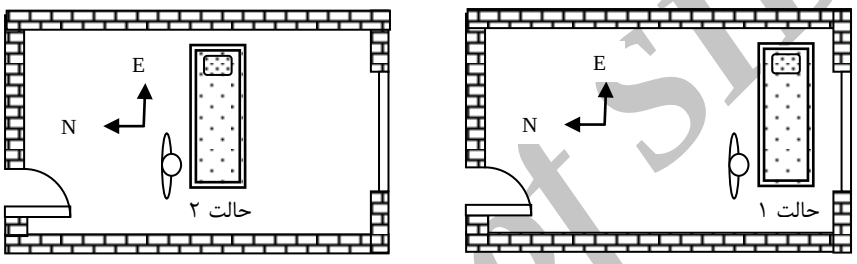
Archive of SID

www.SID.ir

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 ٦ نمونه برای حالت بدون تهویه و در مجموع ۹٦ 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.

ظرفیت‌های مختلف تهویه برای حالت کم ۳ تعویض در ساعت، متوسط ٦ 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 بیوآئروسل‌های 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.



شکل ۱- طرح چیدمان تخت در اتاق موردمطالعه

روش تعیین تراکم بیوآئروسل‌ها

برای تعیین تراکم بیوآئروسل‌ها 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 ٤ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردید. محیط کشت حاوی باکتری‌ها تحت شرایط استریل به آزمایشگاه منتقل و پس از ٤۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۸ درجه سانتیگراد تعداد کلنی‌ها شمارش گردید. با داشتن حجم هوای نمونه‌گیری شده (پس از تصحیح برای دما و فشار) و تعداد کلنی‌های شمارش شده، تراکم بیوآئروسل‌ها به صورت تعداد کلنی در هر مترمکعب هوا (cfu/m^3)گزارش گردید(۱۵,۱٦). 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 ۳۷۹ ±٦۸/۵ (cfu/m^3) می‌باشد(جدول ۲).

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- تعداد بیوآئروسل‌های کلی اتاق ایزوله به روش نمونه‌برداری محیطی در حالت بدون تهویه (cfu/m^3)

زمان نمونه‌گیری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین و انحراف معیار
روز اول	٤٤١/٦	٤١٦/٦	٣٧٥	٣٧٩ ±٦٨/٥
روز دوم	٣٧٥	٤١٦/٦	٢٥٠	

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±٦/٧ 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 (cfu/m^3)

زمان نمونه‌گیری	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ٤	میانگین و انحراف معیار
روز اول	٤/١	٨/٣	٠	١٢/٥	١١±٦/٧
روز دوم	٢٠/٨	١٦/٦	٨/٣	١٨	

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±۸/۳ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ و با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر ۸۸/٦±٥٣/٦ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند(جدول ٤).

جدول ٤- میانگین و انحراف معیارتراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3) در حالت تهویه به روش ۱

ظرفیت تهویه AC/h	محل استقرار تخت	
	محل ۱	محل ۲
۳	٨٨/٦± ٥٣/٦	٧٧/٧ ±٢١
٦	٦٦/٦± ١٤/٤	٥٥/٥ ±٤٧/٤
١٢	٦٣/٨±١٧/٣	٢٥ ±٨/٣

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 ٨٦ ±٣٩/٤ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ و با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر ١٨٨/٨ ±٥٣/٦ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند(جدول ۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٥- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3)در حالت تهویه به روش ۲

ظرفیت تهویهAC/h	محل استقرار تخت	
	محل ۱	محل ۲
۳	۱۸۸/۸ ±۵۳/٦	۱۸٦ ±۲٥/٥
٦	۱۲٥ ±۳۸	۱۳۸/۸ ±٥۱
۱۲	۱۱۱ ±۲۹/۲	۸٦ ±۳۹/٤

تهویه اتاق در حالت۳: 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 حداقل ۱٦/۷± ۳۳/۳ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر ۲۲± ۱۰۰ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ و با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند(جدول ٦).

جدول ٦- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3)در حالت تهویه به روش ۳

ظرفیت تهویه AC/h	محل استقرار تخت	
	محل ۱	محل ۲
۳	۱۰۰ ±۲۲	۷۷/۷ ±۱۷/٤
٦	٤٤/٤ ±۱۲/۷	٥۰ ±۸/۳
۱۲	۳۳/۳ ±۱٦/۷	٤۱/٦ ±۳۰

تهویه اتاق در حالت ٤: 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 اتاق مسلول از حداقل ۱۲/۷± ٥۲/۷ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر ٥۰/٦± ۱٥۸/۳ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند(جدول ۷).

جدول ۷- میانگین و انحراف معیار تراکم باکتری‌های کلی هوای اتاق مسلول (cfu/m^3)در حالت تهویه به روش ٤

ظرفیت تهویه AC/h	محل استقرار تخت	
	محل ۱	محل ۲
۳	۱۰٥/٥ ±۲٥/٥	۱٥۸/۳ ±٥۰/٦
٦	۹٤/٥ ±۲۹/۳	۱۰۰ ±٦٥
۱۲	۸۰/٥±٤/۸	٥۲/۷ ±۱۲/۷

تهویه اتاق در حالت ٥: 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 حداقل ۲۲±۷٥ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۲ با ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت) تا حداکثر ٤٥/۸±۱۹٤/٤ کلنی در هر متر مکعب (استقرار تخت در حالت ۱ با ۳ بار تعویض هوا در ساعت) تغییر می‌کند(جدول ۸).

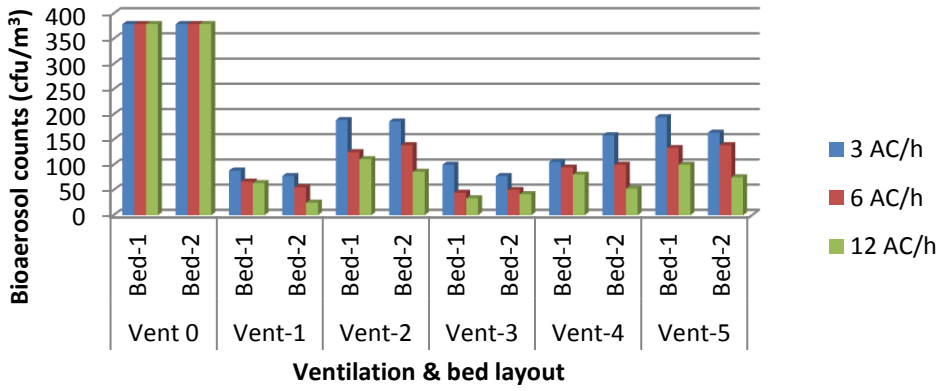
Archive of SID

www.SID.ir

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
۳	۱۹٤/٤ ±٤٥/۸	۱٦۳/۸ ±۲۹/۳
٦	۱۳۳/۳ ±۲۲	۱۳۸/۸ ±۲۹
۱۲	۱۰۰ ±۲۲	۷۵ ±۲۲

مناسب‌ترین حالت تهویه: به منظور تعیین مناسب‌ترین حالت تهویه لازم است کلیه نتایج با یکدیگر مقایسه و مناسب‌ترین حالت تهویه انتخاب گردد. شکل ۱ 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 ارسال و از طریق یک مکنده خطی نصب شده در روی دیوار جنوبی اتاق (سمت پنجره به فاصله ٤/۵ 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.



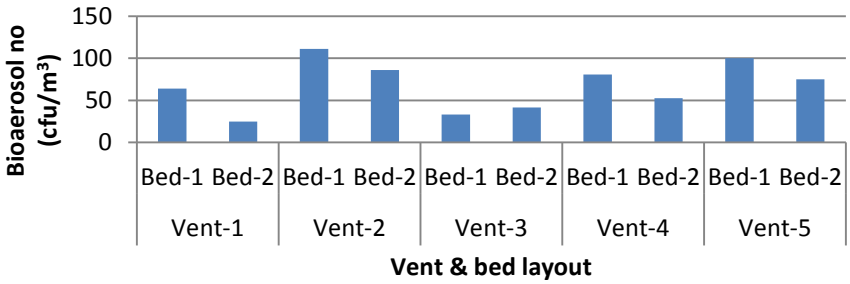
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد بیوآئروسول‌ها با چیدمان‌های مختلف تهویه و تخت

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، میانگین تعداد بیوآئروسول‌های کلی هوای اتاق به ۱۹٤/٤ cfu/m^3 کاهش می‌یابد که به طور معنی‌داری کمتر از مقداری است که در حالت بدون تهویه وجود داشت($P<۰/۰۰۱$).

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(شکل۳). نتایج نشان می‌دهد که به جز حالت تهویه 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

www.SID.ir

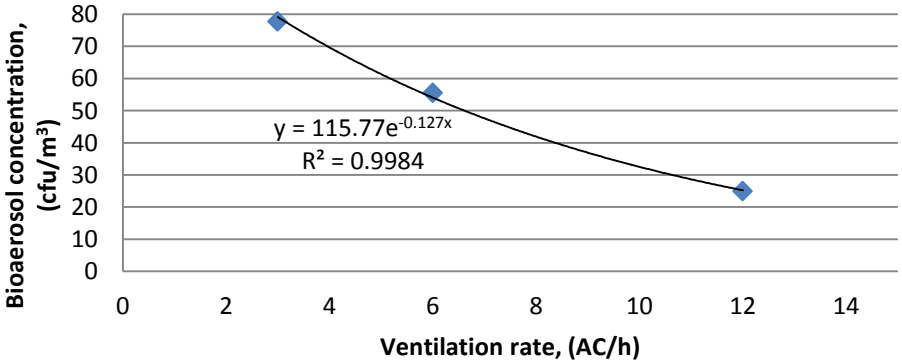
نصب شده در دیوار جنوبی به بیرون تخلیه شود) در سایر حالات تهویه با ۱۲ بار تعویض در ساعت، چیدمان تخت در حالت ۲ یعنی استقرار تخت در وسط اتاق سبب رقیق‌سازی بیشتر هوا شده و مناسب‌تر است.



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

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 شکل۱)، کمترین رقیق‌سازی صورت گرفته و تعداد بیوآئروسول‌های کلی هوا به ۱۱۱ کلنی در هر متر مکعب کاهش می‌یابد. مقایسه آماری میانگین تعداد بیوآئروسول‌ها در این حالت با بهترین حالت نشان می‌دهد که رقیق‌سازی حالت‌های تهویه در بیشترین ظرفیت نیز به طور معنی‌داری با یکدیگر اختلاف دارند($P<۰/۰۰۱$).

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 ٤). نتایج نشان می‌دهد که در مناسب‌ترین چیدمان تهویه و تخت بیمار، با افزایش ظرفیت تهویه، تراکم آلاینده‌های هوابرد به صورت نمایی کاهش می‌یابد.



شکل ٤- تغییرات تراکم بیوآئروسل‌های هوای اتاق نسبت به ظرفیت تهویه

بحث

کمیته بیوآئروسل انجمن دولتی مهندسین بهداشت حرفه‌ای آمریکا (ACGIH) American Conference of Governmental Industrial Hygienists به عنوان یکی از مراجع اصلی در زمینه تحقیقات پیرامون بیوآئروسل‌ها، استانداردی برای تعداد کلنی‌ها در هوای مکان‌های مختلف ارائه نکرده است(١٦). برخی از مراکز معتبر نظیر سازمان ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا National Institute of Occupational (NIOSH)

Archive of SID
www.SID.ir

Safety and Health توصیه می‌کنند که در پژوهش‌های هوای داخل، بهترین معیار مقایسه سطح بیوآئروسل‌های هوای داخل با هوای بیرون و اعمال اقدامات کنترلی در صورت افزایش آن می‌باشد(۱۵). Mcdermott پیشنهاد می‌کند هوایی که دارای بیش از ۵۰۰ کولنی 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 بیوآئروسول‌های کلی هوا از حدود ۱۱ کولنی در هر متر مکعب به ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب (۳۳٤۵/٤۵٪) 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 بیوآئروسول های کلی اتاق از ۳۷۹ کلنی در هر متر مکعب به ۱۹٤/٤ کلنی در هر متر مکعب (٤۷/۸٪) کاهش می‌یابد. این کاهش از نظر آماری معنی‌دار است (P<۰/۰۰۱). این نتایج با یافته‌های Ghorbani و همکاران مطابقت دارد. آنها نشان دادند که در یکی از ٤ بیمارستان مورد مطالعه خود تهویه اتاق عمل (علیرغم اینکه سیستم تهویه مطلوب نبود) باعث کاهش معنی‌دار میکروارگانیسم‌های 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 بیوآئروسول‌های کلی هوا به حدود ۷۷ کلنی در هر متر مکعب یعنی به میزان ۷۹/۵٪ کاهش می‌یابد.

با اعمال بیشترین ظرفیت تهویه (۱۲ بار تعویض هوای اتـاق در هر ساعت) در بدترین چیـدمان تخـت (در حالت ۱) تعداد بیوآئروسول‌های هوای اتاق از ۳۷۹ به ۱۱۱ کولنی در هر مترمکعب (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 بیوآئروسول‌های 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 ۹۳/٤٪ کاهش می‌هد.

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 کارآیی تهویه دارد.

اعمال هر یک از حالت‌های مطالعه شده تهویه با هر یک از چیدمان‌های تخت تراکم بیوآئروسول‌های کلی هوای اتاق را به طور معنی‌داری(P<۰/۰۰۱) کاهش می‌دهد، حتی اعمال کمترین ظرفیت تهویه در بدترین شرایط هوادهی و هواکشی نیز میزان تراکم بیوآئروسول‌های موجود در هوای اتاق را نسبت به حالتی که از سیستم تهویه استفاده نشود به طور معنی‌داری (P<۰/۰۰۱) کاهش می‌دهد. 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 بیوآئروسل مجاز برای شروع مطالعه و تحقیق ۷۵ کولنی درهر 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 ٦ بار تعویض نیز می‌توان تراکم بیوآئروسول‌های

Archive of SID

www.SID.ir

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 ٦ 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 بیوآئروسل‌ها 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 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(٤).

ضعیف‌ترین حالت‌های تهویه مربوط به حالت‌های ۲ و ۵ با میانگین ۱۳۹ کولنی بر مترمکعب و ۱۳٤ 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 Adminstration (HRSA) آمریکا را مبنی بر لزوم حداقل ٦ 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 ٦ 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 ٦ 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 اتاق های درمانی باید جریان‌هایی بزرگتر از ٦ تعویض در ساعت وجود داشته باشد که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی کامل دارد. گرچه ظرفیت ٦ بار تعویض در مناسب‌ترین چیدمان تهویه و تخت بیمار، تعداد بیوآئروسل‌های 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 ٦ 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 ٦ تعویض در ساعت استفاده نمود. طبق نظر Kowalski & Bahnfleth و Cox & 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 بیوآئروسل‌های 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

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش خواهد یافت(۱٤,۱۹). 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. 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 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 ۸۹/۹/٦ 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.

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, BugianiM, 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir