

## Determining the Effectiveness of the Ventilation System in an Anatomy Lab using ISO 16000-8

Mohammadjavad Jafari<sup>1</sup> , Manoochehr Mehrian<sup>1\*</sup> , Mansuor Rezazadeh-Azari<sup>1</sup> , Soheila Khodakarim<sup>1</sup> 

1. Faculty of Health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\*Corresponding author: m.mehrian@arakmu.ac.ir

### Abstract

**Background and Objectives:** Dissection laboratories should have effective ventilation always. This study aimed to determine the effectiveness of the ventilation system in a dissection laboratory.

**Materials and Methods:** Based on ISO 16000-8 using tracer gas decay method, the effectiveness of a ventilation system operating at 4 different modes including 1) exhaust system is “on”, 2) supply system is “on”, 3) both systems are “on”, and 4 both systems are “off” in a dissection lab was evaluated. Tracer gas (SF<sub>6</sub>) was injected into dissection lab and air sampling was conducted in five zones of the lab. The air samples were then transferred to the laboratory and their concentration was determined. Finally, the Local mean age (LMA) and Room mean age of air (RMA) and the rate of local and general exhaust ventilation were calculated. Ethical issues related to human bodies was considered in the research protocol.

**Results:** Two-way analysis of variances showed that while the LMA and the local rate of ventilation at different ventilating modes had no significant, the effect of ventilating mode on the RMA and general ventilation rate, was significant ( $P < 0.001$ ). One-way ANOVA test showed that the exhaust system had the greatest effect on RMA and general ventilation rate of the room.

**Conclusion:** According to the results, the ventilation is more effective when the supply and exhaust systems are “on” together considering the toxicity of formaldehyde, in addition to the general exhaust ventilation, the implementation of a local exhaust ventilation system for each mortuary desk is recommended.

**Key words:** ventilation effectiveness, local average age of air (LMA), tracer gas, ventilation rate

### How to cite this article:

Jafari MJ, Mehrian M, Rezazadeh-Azari M, Khodakarim S. Determining the Effectiveness of the Ventilation System in an Anatomy Lab using ISO 16000-8. *J Saf Promot Inj Prev.* 2018; 6(3):113-22.

## تعیین اثربخشی سیستم تهویه در یک سالن تشریح با استفاده از روش استاندارد ISO ۱۶۰۰۰-۸

محمدجواد جعفری<sup>۱</sup>، منوچهر مهربان<sup>۱\*</sup>، منصور رضازاده آذری<sup>۱</sup>، سهیلا خداکریم<sup>۱</sup>

۱. دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

## چکیده

**سابقه و هدف:** سالن‌های تشریح از جمله مکان‌هایی هستند که باید همواره از تهویه مؤثری برخوردار باشند. هدف از این مطالعه تعیین اثربخشی سیستم تهویه یک سالن تشریح با استفاده از روش استاندارد ISO ۱۶۰۰۰-۸ بود.

**روش بررسی:** در مطالعه حاضر ضمن حفظ شأن و احترام اجساد انسانی موجود در یک سالن تشریح در طول مدت پژوهش، اثربخشی سیستم تهویه یک سالن تشریح در چهار حالت متفاوت شامل: مکنده روشن، دمنده روشن، هر دو سیستم روشن و هر دو سیستم خاموش، بر پایه استاندارد ISO ۱۶۰۰۰-۸، به روش نرخ کاهش گاز ردیاب (SF<sub>6</sub>) مورد ارزیابی قرار گرفت. گاز ردیاب در سالن، تزریق و سپس نمونه‌برداری در پنج نقطه انجام و در آزمایشگاه تعیین مقدار شد. سپس میانگین عمر موضعی هوا و میانگین عمر هوای سالن و همچنین نرخ تهویه موضعی و کلی هوای سالن تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج آزمون آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که میانگین عمر موضعی هوا و نرخ تهویه محلی در محل‌ها و حالات مختلف سیستم تهویه تفاوت معنی‌داری (p-value=۰,۳۹۰ و p-value=۰,۲۲۰) نداشتند. همچنین اثر حالت سیستم تهویه بر میانگین عمر هوای سالن و نرخ تهویه سالن معنی‌دار بود (p<۰,۰۰۱). آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که سیستم مکنده بیشترین اثر را بر میانگین عمر هوا و نرخ تهویه سالن داشت.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج حاصله سیستم تهویه در هنگامی که هم دمنده و هم مکنده روشن باشند اثربخش‌تر بود. با توجه به سمیت فرمالدئید، علاوه بر تهویه عمومی استفاده از تهویه موضعی استاندارد نیز برای میزهای تشریح قویاً توصیه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** اثربخشی تهویه، میانگین عمر موضعی، گاز ردیاب، نرخ تهویه

## مقدمه

کیفیت هوای داخل در ساختمان‌های صنعتی، مسکونی، اداری، تجاری، وسایل حمل‌ونقل، گلخانه‌ها، حیوان‌خانه‌ها و سایر محیط‌های بسته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱). اثربخشی تهویه در برخی از این مکان‌ها نظیر کابین‌های هواپیما یک فاکتور بحرانی برای به حداقل رساندن آلودگی پاتوژن‌های هوابردی است که به‌وسیله مسافران تولید می‌گردد (۲). هرچه هوا بیشتر در داخل مانده باشد این زمان بیشتر بوده و احتمال تجمع آلاینده‌های هوا از منابع داخلی بیشتر است؛ بنابراین میانگین عمر هوا می‌تواند یک شاخص کیفیت هوا باشد و برای ارزیابی اثربخشی تهویه به‌صورت کیفی استفاده شود. اثربخشی تهویه، معیاری از کارایی زدودن آلاینده در حریم هوایی موردنظر است. چند روش کیفی، از جمله کارایی مبادله هوا، دبی پاک‌سازی و مدت پاک‌سازی برای مطالعه اثربخشی تهویه استفاده شده است (۳). این روش‌های کیفی را می‌توان بیشتر آنالیز و بر پایه مفهوم

میانگین عمر هوا بیان کرد و رابطه بین تراکم‌های آلاینده در حریم هوایی موردنظر و نرخ تهویه را شرح داد. درواقع میانگین عمر هوا نشان‌دهنده میانگین عمر مقدار زیادی ذره یا مولکول هوا در یک حجم مشخص یا فضای کامل یک اتاق است (۳).

برای تعیین میانگین عمر هوا روش‌های استاندارد گوناگونی وجود دارد که می‌توان به استانداردهای ASTM E۷۴۱، ASHRAE ۱۲۹ و ISO ۱۶۰۰۰-۸ اشاره نمود. از میان استانداردهای موجود استاندارد ISO ۱۶۰۰۰-۸ به دلایلی همچون به‌روز بودن، در دسترس بودن، متناسب بودن استاندارد با شرایط حاکم بر محل نمونه‌برداری، تناسب شرایط و امکانات موجود با شرایط و امکانات موردنیاز ذکر شده در استاندارد برای محل‌هایی نظیر مطالعه حاضر مناسب است.

فرمالدئید به‌عنوان ماده نگه‌دارنده و فیکساتور مؤثر برای نگهداری و تشریح اجساد انسانی و حیوانات در آناتومی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴، ۵). سازمان بین‌المللی تحقیقات بر روی سرطان، در ژوئن سال ۲۰۰۴ این ماده را در گروه سرطان‌زاهای انسانی (A۱) طبقه‌بندی کرده است (۶، ۷) که باعث سرطان حلق و بینی در انسان می‌شود (۸).

این سالن مجهز به سیستم تهویه عمومی از نوع دمشی و مکشی با دبی ثابت بود که دما، رطوبت و تراکم آلاینده‌های سالن‌ها را کنترل می‌کرد. هوای خارج شده به دلیل اینکه حاوی آلاینده فرمالدئید بود، جهت استفاده مجدد بازچرخش نشده و کل حجم آن به بیرون منتقل می‌گردید. سیستم دمنده، شامل کانال گردی به طول ۱۷ متر بود که دارای ۴ دریچه خروجی هر یک به قطر ۳۰ سانتیمتر و به فواصل متفاوت (فاصله دریچه اول و دوم ۳ متر، فاصله دریچه دوم و سوم ۵ متر و فاصله دریچه سوم و چهارم ۳ متر) مجهز به پخش کننده هوای گرد تخت آلومینیومی و در طول دیوار جنوبی سالن و در ارتفاع ۲/۶۳ متر از کف قرار داشتند (شکل ۲).

سیستم مکنده سالن موردنظر از دو سیستم جداگانه تشکیل شده بود. طول کانال سیستم مکنده اول از انتها تا محل خروج آن از سالن (دیوار شرقی) ۴/۵ متر و دارای دو خروجی (شماره ۱ و ۲) به قطر ۳۰ سانتیمتر و بافاصله ۲/۵ متر بود. فاصله خروجی شماره ۲ از انتهای کانال این سیستم ۱/۲۵ متر و فاصله خروجی شماره ۱ از دیوار شرقی ۰/۷۵ متر بود.



شکل ۲ موقعیت سیستم‌های تهویه دمنده و دریچه‌های ۲، ۳ و ۴ (شکل a) و سیستم مکنده دوم و دریچه‌های ۳ و ۴ و پنجره‌های سالن (شکل b) و وضعیت قرارگیری دانشجویان در زمان آموزش نسبت به منابع تولید آلاینده در این شکل مشخص شده است.

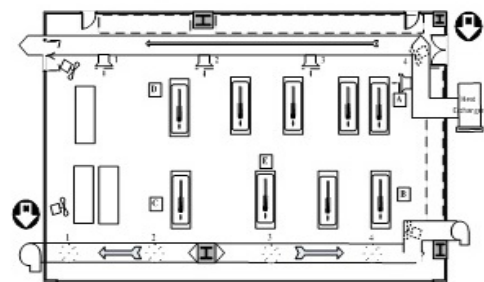
طول کانال سیستم مکنده دوم از انتها تا ابتدای آن (دیوار غربی سالن) ۷/۷۵ متر و دارای ۲ دریچه خروجی (شماره ۳ و ۴) به قطر ۳۰ سانتیمتر و به فاصله ۳/۵ متر بود. فاصله خروجی چهارم تا دیوار ۱/۲۵ متر و فاصله خروجی سوم تا انتهای کانال، ۲ متر و فاصله آن تا خروجی شماره ۲ که بر روی سیستم مکنده اول قرار داشت، ۴ متر بود (شکل ۲). این دو سیستم در طول دیوار شمالی سالن و در ارتفاع ۲/۴۲ متر از کف نصب شده بودند (شکل ۱).

شایان ذکر است، در تمام آزمون‌ها این دو سیستم هم‌زمان روشن و خاموش می‌شدند و به‌عنوان یک سیستم مدنظر قرار گرفتند. خروجی دمنده‌ها به‌طور افقی و جهت مکنده‌ها عمودی به سمت کف سالن

تاکنون جایگزین‌های زیادی برای فرمالدئید معرفی شده است (۹-۱۲) ولی به عللی همچون مقادیر بالای موردنیاز این مواد در مقایسه با فرمالدئید، زمان بر بودن فرایند فیکساسیون و همچنین هزینه بر بودن آن‌ها مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. نتایج مطالعات ارزیابی مواجهات فردی نشان می‌دهد که سطح ریسک مواجهه نیروی انسانی شامل اساتید، دانشجویان و تکنسین‌ها با فرمالدئید در سالن‌های تشریح به هنگام آموزش و تدریس بالا بوده و بایستی به حد قابل قبول کاهش یابد (۱۳-۲۲). به همین دلیل اثربخشی سیستم‌های تهویه سالن‌های تشریح به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم کنترل آلاینده‌های هوای محیط کار بایستی به‌طور مداوم مورد ارزیابی قرار گرفته و اشکالات فنی آن‌ها مرتفع گردد. هدف از این مطالعه تعیین اثربخشی سیستم تهویه یک سالن تشریح بر پایه مفهوم میانگین عمر هوا بر اساس استاندارد ISO ۱۶۰۰۰-۸ است.

### مواد و روش‌ها

در برخی از مکان‌ها هدف از تهویه ورود هوای پاک با استفاده از تجهیزات سرمایش/گرمایش و ایجاد هوایی با کیفیت مناسب در محیط‌های بسته است. معمولاً در فضاهای بسته سه متغیر وجود دارد که توسط تهویه می‌توان آن‌ها را کنترل نمود. این متغیرها عبارتند از: ۱- دما (گرمای محسوس) ۲- رطوبت نسبی ۳- آلاینده هوا برد خاص. تهویه موردنیاز نشان دهنده حداقل نرخ تهویه‌ای است که باید برای ایجاد هر یک از سه متغیر بالا در سطوح قابل قبول بکار گرفته شود. میزان تهویه موردنیاز برای یک فضا با توجه به شرایط اتمسفری محل و نوع عملیات متفاوت است (۲۳). میانگین عمر موضعی هوا<sup>۱</sup>، متوسط مدت‌زمان ماند هوا را در داخل فضای موردنظر است (۲۴). در این بررسی اثربخشی تهویه یک سالن تشریح بر اساس میانگین عمر موضعی هوا تعیین شد. فضای تهویه شده شامل یک سالن با ابعاد ۱۲/۵×۴×۱۰/۴ متر و به حجم ۳۹۰ مترمکعب بود. تعداد ۱۱ عدد میز تشریح مستقر در این سالن منابع اصلی انتشار فرمالین به شمار می‌رفت (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت نقاط اندازه‌گیری، سیستم‌های تهویه دمنده و مکنده، چیدمان میزهای تشریح و محل قرارگیری فن‌های اختلاط

KIMO فرانسه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در ۱۶ نقطه بر روی دو قطر عمود برهم (۸ نقطه در هر قطر) و در شرایطی که سنسور دستگاه کاملاً چسبیده به دهانه کانال و عمود بر مسیر جریان هوا بود صورت گرفت. سپس سرعت جریان هوا قرائت و ثبت گردید. با برآورد میانگین سرعت جریان هوا در دهانه‌ها و سطح مقطع آن‌ها میزان نرخ تهویه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$Q=A \times V \quad (2)$$

$Q$ : نرخ گذر هوا برحسب مترمکعب بر دقیقه

$V$ : میانگین سرعت هوا در دهانه کانال برحسب متر بر دقیقه

$A$ : سطح مقطع کانال برحسب مترمربع

در این بررسی گاز سولفور هگزافلوراید با گرید ۵ و با درجه خلوص ۹۹/۹۵٪ مورد استفاده قرار گرفت. تراکم اولیه گاز ردیاب، بایستی حداقل ۱۰۰ برابر حد تشخیص دستگاه اندازه‌گیری (تجزیه) باشد. حجم خالص گاز ردیاب تزریق شده به داخل یک ناحیه توسط رابطه زیر محاسبه گردید (۲۶):

$$v_p = \varphi_{t=t_0} \cdot V_p \quad (3-3)$$

$v_p$ : حجم خالص گاز ردیاب

$\varphi_{t=t_0}$ : تراکم اولیه گاز ردیاب برحسب میکرو لیتر بر لیتر یا پی‌پی‌ام  
 $V_p$ : حجم ناحیه (حجم سالن) برحسب مترمکعب

به‌منظور دست یافتن به نتایج بهتر که شرط آن ایجاد تراکم، فقط در یکی از سه محدوده تشخیص دستگاه سنجش گاز ردیاب بود، ابتدا محدوده تشخیص موردنظر برای دستگاه اندازه‌گیری گاز سولفور هگزافلوراید در محدوده صفر تا ۳۰ پی‌پی‌ام تعیین گردید، سپس با در نظر گرفتن حداقل مقدار حجمی گاز ردیاب توصیه شده توسط استاندارد، حد تشخیص دستگاه، نرخ گذر حجمی هوا در هر وضعیت سیستم تهویه، حجم سالن و امکان تجمع گاز ردیاب، مدت‌زمان تزریق گاز ردیاب در سالن تعیین گردید. با توجه به اینکه که مقدار تراکم اندازه‌گیری شده قبل از روشن شدن تهویه دارای اهمیت بود، لذا مدت‌زمان تزریق گاز به نحوی محاسبه گردید که مقادیر تراکم اولیه در هر وضعیت سیستم تهویه در محدوده ۳۰ پی‌پی‌ام حفظ گردد. در این مطالعه از یک کپسول محتوی ۸ کیلوگرم گاز فشرده سولفور هگزافلوراید مجهز به رگلاتور و فشارسنج عقربه‌ای استفاده گردید.

به‌منظور اختلاط کامل گاز ردیاب تزریق شده با هوای سالن از چهار دستگاه فن (پنکه) ساخت شرکت پارس خزر باقابلیت چرخش و

بودند (شکل ۱ و ۲). همچنین سالن موردنظر در تمام طول دیوار شمالی دارای ۱۲ پنجره به ابعاد ۸۴×۹۷ سانتیمتر بدون فاصله از سقف و به فاصله ۱۷۰ سانتیمتر از کف سالن بود (شکل ۱ و ۲). هوای نفوذی به سالن بر اساس روش حجمی محاسبه و تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت، تنها از طریق پنجره‌ها ۱ بار در ساعت برآورد گردید (۲۵).

سالن موردنظر دارای چهار درب که شامل دو درب چوبی به ابعاد ۲۰۰×۱۱۵ سانتیمتر منتهی به سالن مولاژ و سالن آماده‌سازی اجساد به ترتیب در دیوارهای غربی و شرقی سالن و دو درب شیشه‌ای منتهی به راهرو و به ابعاد ۹۰×۲۰۰ سانتیمتر به فاصله ۹ متر از یکدیگر بر روی دیوار جنوبی، قرار داشتند. اطراف درب‌های چوبی به‌جز قسمت کف آن، کاملاً بسته بود ولی تمام اطراف درب‌های شیشه‌ای باز و فاصله‌ای در حدود یک سانتیمتر داشتند. در هنگام انجام آزمون‌ها کلیه درب‌ها کاملاً بسته بود.

سالن موردنظر به دلیل بزرگ بودن مطابق با توصیه استاندارد به پنج ناحیه تقسیم گردید. نقاط اندازه‌گیری شامل پنج نقطه A, B, C, D و E بودند و اندازه‌گیری‌ها در این ۵ نقطه انجام شد (شکل ۱). محل‌های نمونه‌برداری در مجاورت منابع گاز ردیاب و محل هوای ورودی نبود و حداقل یک متر با این نقاط فاصله داشتند (شکل ۱). برای به دست آوردن میانگین و انحراف معیار برای نقاط نمونه‌برداری، هر آزمون در هر نقطه سه بار تکرار شد.

دوره اندازه‌گیری در این بررسی کوتاه‌مدت بود؛ و از روش کاهش گاز ردیاب استفاده شد. روش کاهش گاز ردیاب رایج‌ترین روش کاربردی برای پایش کوتاه‌مدت شرایط تهویه در ساختمان‌های ساده است (۲۶). به‌طور تجربی، کل زمان اندازه‌گیری در هر آزمون معادل زمان ماند هوا در سالن تشریح بوده و از رابطه زیر محاسبه گردید (۲۳).

$$t=V/Q \quad (1)$$

$t$ : زمان ماند اسمی برحسب دقیقه

$V$ : حجم کل سالن تشریح برحسب مترمکعب

$Q$ : دبی کل تهویه برحسب مترمکعب بر دقیقه

در این بررسی با توجه به متفاوت بودن زمان ماند اسمی چهار حالت سیستم تهویه و همچنین قابل‌مقایسه بودن نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌ها با همدیگر و حذف عامل مخدوش‌کننده زمان، کمترین زمان ماند اسمی محاسبه‌شده به‌عنوان مدت‌زمان اندازه‌گیری در هر آزمون مدنظر قرار گرفت.

نرخ تهویه از طریق اندازه‌گیری سرعت جریان هوا در دهانه دریچه‌های ورودی و خروجی سیستم‌های دمنده و مکنده تعیین شد. سرعت جریان هوا با استفاده از بادسنج حرارتی مدل TV50 ساخت

تنظیم ارتفاع و دور موتور در سه رنج کند یا ۱، متوسط یا ۲ و تند یا ۳ استفاده شد. ارتفاع فن‌ها در تمامی آزمون‌ها در حداکثر ارتفاع که حدود ۱۷۰ سانتیمتر بود، تنظیم گردید. همچنین محل قرارگیری فن‌ها در چهارگوشه سالن و جهت آن‌ها به سمت نقطه مرکزی، در حالت ثابت و بدون چرخش به طرفین و دور موتور در حالت بیشینه (تند) قرار داشت (شکل ۱).

تعداد کل نمونه‌برداری‌های صورت گرفته برای ۴ حالت سیستم تهویه ۴۲۰ نمونه بود. به این صورت که در هر آزمون و تکرار آن، ابتدا نمونه‌بردارها (سرنگ‌های طبی پلاستیکی ۵۰ میلی‌لیتری گاواژ) بر اساس کد مربوطه در نقاط تعیین شده (A, B, C, D, E, شکل ۱) قرار داده شدند. سپس سیستم تهویه خاموش و تزریق دستی گاز ردیاب در تمام ناحیه‌ها انجام شد. پس از تزریق گاز ردیاب، ابتدا فن‌ها به‌عنوان عامل اختلاط در چهارگوشه سالن به مدت ۵ دقیقه و به‌منظور ایجاد تراکم یکنواخت گاز ردیاب در فضای سالن تشریح روشن گردیدند. سپس فن‌ها خاموش و بلافاصله نمونه‌برداری از تراکم اولیه به‌صورت دستی در نقاط موردبررسی و در ارتفاع حدود ۱۷۰ سانتیمتری از کف انجام شد. سپس سیستم تهویه روشن و نمونه‌های بعدی در ۵ نقطه و در هر نقطه به تعداد ۶ عدد و بافاصله زمانی ۵۵ ثانیه گرفته شد. در هر آزمون تعداد ۳۵ نمونه و در مجموع برای ۳ بار تکرار هر آزمون در هر حالت سیستم تهویه تعداد ۱۰۵ مورد نمونه‌برداری انجام شد. در نتیجه تعداد کل نمونه‌های جمع‌آوری شده در ۴ حالت مختلف تهویه ۴۲۰ نمونه بود (۷×۳×۵×۴).

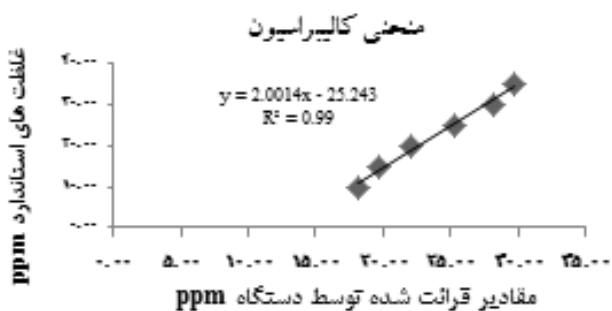
از مزایای استفاده از سرنگ‌ها کاربرد آسان، بسته بودن برای ماه‌ها، استحکامشان، ارزان بودن و امکان ارسال آن‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه، عدم جذب نمونه، واکنش ناپذیر و نفوذناپذیر بودن برای گاز ردیاب را می‌توان برشمرد. در هر آزمون پس از اطمینان از عدم نشستی سرنگ‌ها، نمونه‌برداری انجام، سرنگ‌ها بسته‌شده و برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شدند.

مقدار گاز سولفورهگزافلوراید هر نمونه هوا با استفاده از دستگاه سنجش گاز سولفورهگزافلوراید مدل GDWG-III ساخت شرکت HV Hipot Electric کشور چین در آزمایشگاه تعیین شد. دقت این دستگاه  $\pm 10\%$  بوده و بر پایه آنالیز گاز سولفورهگزافلوراید با استفاده از پرتو فرسرخ کار می‌کند. دستگاه در زمان استفاده دارای گواهینامه معتبر کالیبراسیون بود. مطالعات نیز نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری میزان کم گاز سولفورهگزافلوراید از روش طیف‌سنجی پرتو فرسرخ استفاده می‌شود (۲۴).

در زمان انجام تمام آزمون‌ها کلیه درب‌های سالن تشریح بسته بودند. پارامترهای شرایط جوی سالن، شامل دمای خشک معمولی، دمای خشک و تر چرخان و فشار هوای سالن به ترتیب با استفاده از دماسنج جیوه‌ای، دماسنج آسمن و هواسنج در نقطه مرکزی اندازه‌گیری و

ثبت گردید.

برای اعتبار سنجی نتایج آنالیز دستگاه اندازه‌گیری گاز سولفورهگزافلوراید، این دستگاه قبل از کاربرد، با استفاده از ساخت تراکم‌های استاندارد از گاز سولفورهگزافلوراید کالیبره گردید. منحنی کالیبراسیون و معادله خط و ضریب تعیین محاسبه‌شده در نمودار ۱ ارائه شده است. در هر نقطه، گاز ردیاب در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری و پس از آنالیز نمونه‌ها، تغییرات آن به‌عنوان تابعی از زمان تعیین و ثبت گردید.



نمودار ۱. منحنی کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری گاز SF<sub>6</sub>

در هر آزمون، میانگین عمر موضعی هوا، با استفاده از نمودار تغییرات لگاریتم طبیعی تراکم گاز ردیاب نسبت به زمان، محاسبه شد. در صورتی که نمودار لگاریتمی از ابتدای شروع کاهش (از زمان  $t_0$  تا  $t_e$ )، به‌صورت خطی بود، نشان‌دهنده کاهش نمایی غلظت گاز ردیاب بود. در این حالت میانگین عمر موضعی هوا از معکوس مقدار مطلق شیب نمودار لگاریتمی مطابق با رابطه ۳ محاسبه گردید (۲۶).

$$\bar{\tau} = 1/\lambda_{\text{linear}} \quad (3)$$

$\bar{\tau}$ : میانگین عمر موضعی هوا برحسب ثانیه

$\lambda_{\text{linear}}$ : مقدار مطلق شیب خط نمودار لگاریتمی

اگر شیب نمودار لگاریتمی خطی نبود برای برآورد نهایی غلظت گاز ردیاب از یکپارچه‌سازی عددی مطابق با رابطه ۴ استفاده می‌شد (۲۶).

$$\int_0^{\infty} \varphi_t dt = \int_{t_0}^{t_e} \varphi_{t=t_0} e^{-\lambda_{\text{tail}}(t-t_0)} dt = \Delta t \left( \frac{\varphi_{t_0}}{2} + \varphi_{t_0+1\Delta t} + \dots + \varphi_{t_0+(n-1)\Delta t} + \frac{\varphi_{t_e}}{2} \right) + \frac{\varphi_{t=t_e}}{\lambda_{\text{tail}}} \quad (4)$$

$\varphi_{t=t_0}$  یا  $\varphi_{t=t_e}$  به‌عنوان تراکم اندازه‌گیری شده در زمان  $t_0$  برحسب میکرو لیتر بزلی تر یا پی‌پی‌ام.  $\varphi_{t_0}$ : تراکم گاز ردیاب در واحد زمان بر حسب میکرو لیتر بر لیتر یا پی‌پی‌ام.

محاسبه گردید (۲۳):

$$\bar{Q} = \frac{V}{(t_2 - t_1)} \ln \left( \frac{C(t_1)}{C(t_2)} \right) \quad (۶)$$

$\bar{Q}$ : میانگین زمانی نرخ گذر حجمی هوا برحسب مترمکعب بر دقیقه/ساعت

$V$ : حجم سالن برحسب مترمکعب

$C$ : تراکم گاز ردیاب برحسب پی‌پی‌ام یا میلی‌گرم بر مترمکعب در زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$  برحسب دقیقه/ساعت

برای تجزیه و تحلیل آماری و تعیین تأثیر متغیرهای مستقل حالت سیستم تهویه و محل اندازه‌گیری بر روی میانگین عمر هوا و نرخ تهویه سالن از آزمون‌های آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه و دوطرفه و نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده گردید.

در این پژوهش به‌منظور رعایت ملاحظات اخلاقی، حفظ شأن و احترام اجساد انسانی موجود در سالن تشریح در طول مدت مطالعه همواره مدنظر قرار گرفت.

#### یافته‌ها:

نرخ گذر حجمی هوای تخلیه‌شده توسط سیستم تهویه در حالات مختلف، از طریق اندازه‌گیری نرخ هوای عبوری از هر دریچه تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. نرخ گذر هوا و زمان ماند در حالت‌های مختلف تهویه

زمان ماند ( $\bar{X} \pm sd$ )s	نرخ گذر هوا $\bar{X} \pm sd$ m <sup>3</sup> /s $(\bar{X} \pm sd)$	وضعیت سیستم تهویه	حالت
۴۷۶/۱۶۵ ± ۹۰۵/۰۵۰	۰/۱۱۸ ± ۰/۴۳۱	مکنده روشن - دمنده خاموش	۱
۳۳۰/۵۲۶ ± ۶۷۰/۷۲۳	۱/۱۷۹ ± ۰/۵۸۰	مکنده روشن - دمنده روشن	۲
۲۷۸۶/۵۸۵ ± ۱۰۸۸/۳۰۴	۰/۱۳۹ ± ۰/۳۵۸	مکنده خاموش - دمنده روشن	۳
۳۶۰۰/۰۰۰ ± ۱۰۰/۰۰	۰/۱۰۸ ± ۰/۰۰۱	مکنده خاموش - دمنده خاموش	۴

ارائه‌شده است. میانگین عمر هوای سالن<sup>۲</sup> و نرخ تهویه کلی سالن در حالت‌های مختلف سیستم تهویه محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است. نتایج حاصل از آزمون‌های آماری و تعیین اثر حالت سیستم تهویه بر روی میانگین عمر هوای سالن و نرخ تهویه سالن و همچنین اثر متقابل حالت سیستم تهویه و محل اندازه‌گیری بر روی میانگین عمر موضعی و نرخ تهویه محلی، با استفاده از مدل آنالیز واریانس در جدول ۴ ارائه‌شده است.

$\varphi(t_0)$ : تراکم اولیه گاز ردیاب در آغاز کاهش برحسب میکرو لیتر بر لیتر یا پی‌پی‌ام.

$n$ : تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در طول مدت‌زمان اندازه‌گیری در مرحله نهایی، برای رسیدن به یک برآورد از میانگین عمر موضعی هوا (LMA)، مطابق با رابطه ۵، انتگرال کلی برآورد شده در مرحله

قبل، بر تراکم اولیه گاز ردیاب ( $\varphi_{t=t_0}$ ) در زمان  $t=t_0$ ، تقسیم شد (۴).

$$\bar{t} = \frac{\int_{t_0}^{\infty} \varphi dt}{\varphi_{t=t_0}} \quad (۵)$$

$\bar{t}$ : میانگین عمر موضعی هوا برحسب ثانیه

$t$ : زمان برحسب ثانیه (S)

$\varphi_{t=t_0}$ : تراکم اولیه گاز ردیاب در زمان شروع کاهش ( $\rho$ ) برحسب پی‌پی‌ام یا میکرو لیتر بر لیتر. این مقدار در تمام ناحیه‌ها برابر بود. تغییرات تراکم گاز ردیاب در طول زمان نمونه‌برداری. در اینجا، دستیابی به تراکم اولیه صحیح بسیار مهم بود و از تراکم اندازه‌گیری شده در شروع کاهش استفاده گردید (۲۶).

پارامتر دیگر سیستم تهویه، نرخ تهویه محلی بود و در هر آزمون با استفاده از تراکم اندازه‌گیری شده گاز ردیاب در هر نقطه و رابطه ذیل

بیشترین نرخ گذر حجمی هوای تخلیه‌شده از سالن مربوط به حالتی بود که هر دو سیستم تهویه مکنده و دمنده روشن بودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، زمان ماند اسمی حالت‌های مختلف سیستم تهویه باهم متفاوت بود. کمترین زمان ماند اسمی مربوط به وضعیتی که هر دو سیستم مکنده و دمنده روشن بود. این زمان به‌عنوان مدت‌زمان اندازه‌گیری در هر آزمون مدنظر قرار گرفت (جدول ۱). میانگین عمر هوای موضعی و نرخ تهویه محلی محاسبه‌شده برای نقاط موردبررسی در حالت‌های مختلف سیستم تهویه در جدول ۲

جدول ۲. میانگین عمر موضعی هوا و نرخ تهویه محلی برای نقاط مورد بررسی در حالت مختلف سیستم تهویه

حالت تهویه	نقاط	میانگین عمر موضعی هوا- ثانیه ( $\bar{X} \pm sd$ )	نرخ تهویه محلی ( $\bar{Q}$ ) ( $\bar{X} \pm sd$ ) (m <sup>3</sup> /s)
مکنده روشن - دمنده خاموش	A	۳۷۹/۱۳ ± ۱۰۱/۰۱	۱/۱۳ ± ۰/۴۸
	B	۳۵۳/۳۳ ± ۲۰/۸۶	۰/۱۰ ± ۰/۰۷
	C	۳۹۷/۳۸ ± ۹۱/۶۱	۰/۹۸ ± ۰/۲۳
	D	۳۵۱/۵۳ ± ۹۱/۴۸	۰/۹۹ ± ۰/۴۴
	E	۲۵۵/۱۷ ± ۲۸/۰۹	۱/۴۷ ± ۰/۳۱
مکنده روشن - دمنده روشن	A	۳۱۷/۸۴ ± ۳۱۳/۴۴	۱/۳۸ ± ۰/۹۹
	B	۲۱۰/۳۵ ± ۱۸/۷۲	۱/۸۷ ± ۰/۱۷
	C	۲۷۷/۶۷ ± ۱۱۷/۰۸	۱/۵۰ ± ۰/۷۱
	D	۳۱۵/۰۴ ± ۹۴/۳۹	۱/۷۸ ± ۰/۹۶
	E	۴۲۱/۵۹ ± ۱۵۹/۱۶	۱/۲۲ ± ۰/۴۳
مکنده خاموش - دمنده روشن	A	۲۴۳۲/۴۹ ± ۱۱۸۰/۹۴	۰/۱۸ ± ۰/۰۲
	B	۱۸۰۵/۵۵ ± ۹۰۰/۱۰	۰/۲۱ ± ۰/۱۲
	C	۱۴۸۸/۰۹ ± ۱۲۹۵/۹۳	۰/۳۱ ± ۰/۲۳
	D	۱۱۷۹/۸۹ ± ۳۱۴/۵۴	۰/۳۴ ± ۰/۰۹
	E	۲۲۶۲/۱۵ ± ۱۴۷۴/۹۱	۰/۱۶ ± ۰/۱۸
مکنده خاموش - دمنده خاموش	A	۳۲۴۶/۷۵ ± ۲۶۶۸/۳۷	۰/۱۶ ± ۰/۱۶
	B	۱۸۱۴/۴۳ ± ۸۹۸/۲۵	۰/۲۳ ± ۰/۱۱
	C	۲۶۹۸/۴۱ ± ۱۵۵/۲۳	۰/۱۷ ± ۰/۱۱
	D	۱۹۶۹/۸۳ ± ۶۵۱/۵۵	۰/۱۸ ± ۰/۰۷
	E	۱۷۶۱/۲۳ ± ۵۸۴/۸۶	۰/۲۱ ± ۰/۰۲

جدول ۳. میانگین عمر هوا و نرخ تهویه سالن

حالت سیستم تهویه	میانگین عمر هوای سالن- ثانیه ( $\bar{X} \pm sd$ )	نرخ تهویه سالن (Q) ( $\bar{X} \pm sd$ ) (m <sup>3</sup> /s)
مکنده روشن - دمنده خاموش	۳۷۹/۷۱ ± ۹۶/۹۰	۱/۱۳ ± ۰/۲۷
مکنده روشن - دمنده روشن	۳۱۹/۳۰ ± ۱۲۷/۳۵	۱/۵۵ ± ۰/۵۰
مکنده خاموش - دمنده روشن	۱۸۳۳/۶۳ ± ۸۲۰/۶۲	۰/۴۲ ± ۰/۱۱
مکنده خاموش - دمنده خاموش	۲۲۹۸/۱۳ ± ۱۰۷۵/۱۳	۰/۱۹ ± ۰/۰۶

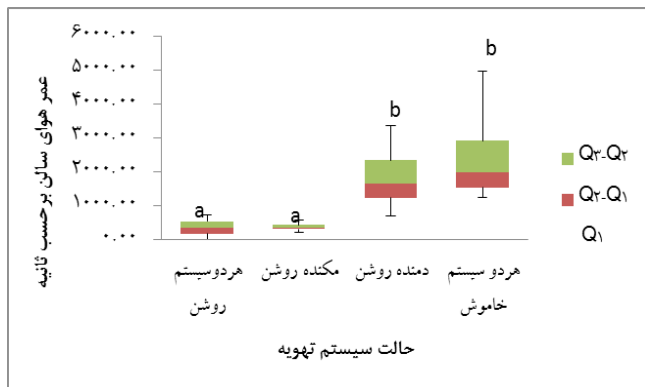
جدول ۴. اثر متغیرهای مستقل بر روی میانگین عمر هوا و نرخ تهویه سالن

متغیر مستقل	متغیر وابسته	مقادیر p-value	معنی داری رابطه
حالت سیستم تهویه	میانگین عمر هوای سالن	P < ۰.۰۰۱	+
حالت سیستم تهویه	نرخ تهویه سالن	P < ۰.۰۰۱	+
حالت سیستم تهویه و نقطه اندازه گیری	میانگین عمر هوای موضعی	۰/۳۹۰	-
حالت سیستم تهویه و نقطه اندازه گیری	نرخ تهویه سالن	۰/۲۷۱	-

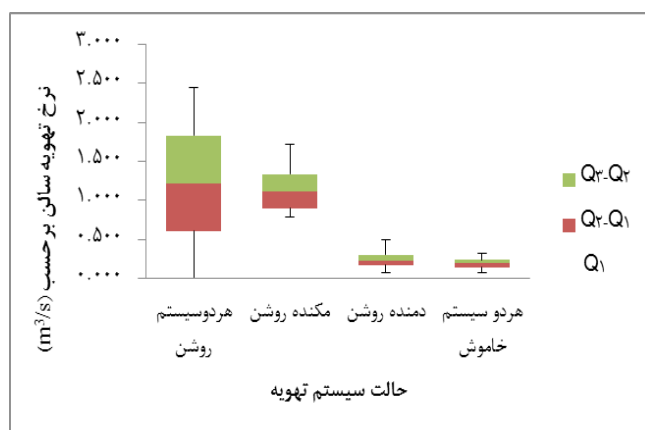
جدول ۵. مقایسه میانگین عمر هوای سالن و نرخ تهویه کل سالن در حالت‌های تهویه

F	R <sup>2</sup>	معنی داری تفاوت	مقادیر p-value	متغیر وابسته	حالت‌های سیستم تهویه مورد مقایسه
۳۲/۹۴۶	۰/۶۳۸	-	۰/۹۹۵	میانگین عمر هوای سالن	حالت اول <sup>۱</sup> باحالت دوم <sup>۲</sup>
۷۸/۹۲۷	۰/۸۰۹	+	۰/۰۰۲	نرخ تهویه سالن	حالت اول <sup>۱</sup> باحالت دوم <sup>۲</sup>
۳۲/۹۴۶	۰/۶۳۸	-	۰/۲۵۳	میانگین عمر هوای سالن	حالت سوم <sup>۳</sup> باحالت چهارم <sup>۴</sup>
۷۸/۹۲۷	۰/۸۰۹	-	۰/۹۶۲	نرخ تهویه سالن	حالت سوم <sup>۳</sup> باحالت چهارم <sup>۴</sup>
۳۲/۹۴۶	۰/۶۳۸	+	P<۰.۰۰۱	میانگین عمر هوای سالن	حالت اول و دوم باحالت سوم و چهارم
۷۸/۹۲۷	۰/۸۰۹	+	P<۰.۰۰۱	نرخ تهویه سالن	حالت اول و دوم باحالت سوم و چهارم

۱- مکنده روشن - دمنده خاموش  
 ۲- مکنده روشن - دمنده روشن  
 ۳- مکنده خاموش - دمنده روشن  
 ۴- مکنده خاموش - دمنده خاموش



نمودار ۲. مقایسه میانگین عمر هوای سالن در حالت‌های مختلف تهویه (Q<sub>1</sub>: چارک اول، Q<sub>2</sub>: چارک دوم، Q<sub>3</sub>: چارک سوم)



نمودار ۳. مقایسه نرخ تهویه سالن در حالت‌های مختلف تهویه (Q<sub>1</sub>: چارک اول، Q<sub>2</sub>: چارک دوم، Q<sub>3</sub>: چارک سوم)

شده است لذا انتظار می‌رود، میزان تراکم و انباشت آلاینده‌های شیمیایی خصوصاً فرمالدئید در نقاط مختلف سالن در هر حالت سیستم تهویه با یکدیگر تفاوتی نداشته باشند. نتایج این بخش با نتایج مطالعات سند برج و کاون (۲۷، ۲۸) مطابقت دارد. مطالعه

معنی دار بودن تفاوت‌های میانگین عمر هوا و نرخ تهویه در حالت‌های مختلف سیستم تهویه در جدول ۵ ارائه شده است. همچنین در نمودارهای ۲ و ۳ تفاوت‌های میانگین عمر هوای سالن و نرخ تهویه سالن در حالت‌های مختلف سیستم تهویه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. اندازه اثر هر یک از حالات تهویه بر روی میانگین عمر هوای سالن در مقایسه باحالت مینا (حالت چهارم) با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که سیستم مکنده بیشترین اثر را بر میانگین عمر هوای سالن داشت ( $B=-1918.419$  &  $S.E=284.660$ ).

پس از حذف اثر متقابل از مدل آنالیز واریانس، بررسی اثر تعدیل شده حالت‌های تهویه و محل‌های اندازه‌گیری بر روی میانگین عمر هوا و نرخ تهویه نشان داد که تأثیر حالت تهویه حتی با تعدیل اثر محل اندازه‌گیری همچنان معنی دار است ( $p<0.001$ ).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان اثر تعدیل شده سیستم تهویه مکنده نسبت به سطح مینا (مکنده خاموش - دمنده خاموش) بر روی میانگین عمر هوا ( $B=-1918.419$  &  $S.E=243.784$ ) و نرخ تهویه ( $B=0.932$  &  $S.E=125$ ) همچنان بیشترین مقدار بود.

## بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت هم‌زمان هر دو سیستم تهویه دمنده و مکنده اثربخش‌تر از زمانی است که یکی از سیستم‌ها به‌تنهایی فعال و یا هر دو سیستم خاموش باشند.

میانگین عمر موضعی هوا و نرخ تهویه محلی، در نقاط مختلف سالن در حالت‌های مختلف سیستم تهویه تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند و الگوی ارسال و تخلیه هوا در سالن و محل نصب دمنده‌ها و مکنده‌ها به‌درستی رعایت

به مراتب بالاتر از مقدار اندازه‌گیری شده خواهد بود. برای برآورد هوای موردنیاز تهویه عمومی چنانچه ضریب اختلاط برابر با ۵ و نرخ انتشار فرمالدئید به ازای هر مترمکعب بر دقیقه (۱۶) در نظر گرفته شود در این صورت نرخ گذر حجمی هوای واقعی موردنیاز از طریق تهویه عمومی، در حدود ۵۶۰ مترمکعب بر دقیقه برآورد می‌گردد. این مقدار هوا ۷/۳ برابر نرخ گذر حجمی هوا در حالت فعالیت هر دو سیستم است. البته این مقدار هوا منجر به حدود ۸۶ بار تعویض هوا در ساعت خواهد شد که هزینه گرمایش و سرمایش سالن را بسیار بالا خواهد برد. در نتیجه علیرغم اثربخش بودن فعالیت سیستم تهویه در حالت فعالیت هم‌زمان هر دو سیستم نسبت به سه حالت دیگر، لیکن این حالت هم اثربخشی لازم را در جمع‌آوری آلاینده‌های هوا از داخل سالن و انتقال آن به بیرون ندارد. لذا توصیه می‌شود در درجه نخست بجای فرمالدئید از مواد کم‌خطر استفاده شود (۳۲). در درجه دوم با توجه به این‌که تأمین گذر حجمی هوا از طریق سیستم تهویه عمومی برای رقیق‌سازی در سالن موردنظر عملاً ناممکن است (۱۴، ۳۳) لذا توصیه می‌شود از تهویه موضعی استاندارد برای میزهای تشریح استفاده شود (۳۱، ۳۴). از نقاط قوت این مطالعه می‌توان به اجرای آن برای اولین بار در ایران و کاربرد گاز ردیاب برای بررسی اثربخشی سیستم‌های تهویه در شرایط معمول کار اشاره نمود.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای منوچهر مهربان به راهنمایی آقای دکتر محمدجواد جعفری با کد اخلاق IR.SBMU.RAM.REC1394.271 است. از مدیر محترم گروه علوم تشریح و آناتومی و همکاران ایشان و از آقایان مهندس نجف نوری‌زاده و مهندس غلامرضا پارسا سرشت، به پاس همکاری‌شان در اجرای این پژوهش تقدیر و تشکر می‌گردد.

حاضر همانند مطالعه ون بوگنهایت و همکاران (۲۹) که در شرایط آزمایشگاهی و کاملاً کنترل‌شده انجام شد و نقاط خروجی را بهترین نقطه برای تعیین نرخ تهویه معرفی کرد، نقطه خاصی را معرفی نمی‌نماید.

معنی‌دار بودن اثر حالت‌های مختلف سیستم تهویه نشان داد که با افزایش نرخ تهویه میانگین عمر هوای سالن کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان تراکم و انباشت آلاینده‌های شیمیایی در سالن در زمان خاموش بودن سیستم‌های تهویه و یا فعالیت سیستم دمنده به‌تنهایی که گردش هوای ضعیف‌تری دارند بیشترین و در زمان فعالیت هر دو سیستم تهویه دارای کمترین مقدار است. همچنین با مقایسه نرخ تهویه در حالات ۱ و ۲ (جدول ۳) مشخص شد که خاموش کردن هر کدام از سیستم‌های تهویه مکنده و دمنده نرخ تهویه را به ترتیب به میزان ۸۸/۲ درصد و ۳۰/۶ درصد کاهش داده و نشان می‌دهد که سیستم مکنده نقش بارزتری را بر روی میانگین عمر هوای سالن و در نتیجه کنترل آلاینده‌ها ایفا می‌کند. نتایج این بخش از مطالعه حاضر با نتایج حاصل از مطالعه ونگ (۲)، بوراتی (۳۰) و کاون (۲۸) مطابقت دارد.

نتایج اندازه‌گیری‌ها و ارزیابی مواجهات فردی با فرمالدئید در سالن‌های تشریح و سالن مورد مطالعه توسط محققین نشان داد که میزان مواجهه شاغلین در این آزمایشگاه‌ها بیش از حد مجاز است (۱۳-۲۲). نتیجه حاصل از ارزیابی مواجهات شاغلین با نتایج مطالعه حاضر که از جنبه دیگری سیستم تهویه سالن موردنظر را ارزیابی نمود، کاملاً مطابقت داشت و نشان داد که تهویه عمومی فعلی اولاً مناسب نبوده و ثانیاً ظرفیت موردنیاز را ندارد.

تهویه زمانی اثربخش است که آلاینده‌های هوا را جمع‌آوری و به بیرون منتقل نماید (۱). از طرفی در هنگامی که مقدار حد مجاز مواجهه شغلی آلاینده‌ها از ۱۰۰ پی‌پی‌ام کمتر است تهویه عمومی توصیه نمی‌شود (۳۱). چنانچه قرار باشد در سالن مورد بررسی از تهویه عمومی نظیر تهویه فعلی استفاده شود میزان هوای موردنیاز

#### References

- Han H, Shin C-Y, Lee I-B, Kwon K-S. Tracer gas experiment for local mean ages of air from individual supply inlets in a space with multiple inlets. *Building and Environment*. 2011;46(12): 2462-71. [Scopus]
- Wang A, Zhang Y, Sun Y, Wang X. Experimental study of ventilation effectiveness and air velocity distribution in an aircraft cabin mockup. *Building and Environment*. 2008;43(3):337-43. [Scopus]
- Roos A. On the effectiveness of ventilation: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde; 1999.
- Occupational Safety Health Administration. Formaldehyde fact sheet. 2002. US Department of labor.
- Rosen JC. Assessing Formaldehyde Exposure in Your Gross Lab: Occupational Exposure Limits and

- Best Practices. The FASEB Journal. 2012; 26 (1\_ Meeting Abstracts): 340.2.
6. Cogliano VJ, Grosse Y, Baan RA, Straif K, Secretan MB, El Ghissassi F, et al. Meeting report: summary of IARC monographs on formaldehyde, 2-butoxyethanol, and 1-tert-butoxy-2-propanol. Environmental health perspectives. 2005:1205-8. [PubMed]
7. International Agency for Research on Cancer(IARC). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans:Formaldehyde,2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxy-2-propanol,8thIAfRoC.Volume88:2-9 (June).www.cie.iarc.fr/htdocs/announcements/vol88.html. 2004.
8. Tang X, Bai Y, Duong A, Smith MT, Li L, Zhang L. Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects. Environment international. 2009; 35(8): 1210-24. [Scopus]
9. Coleman R, Kogan I. An improved low- formaldehyde embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching. Journal of anatomy. 1998;192(3):443-6. [PubMed]
10. Kawamata S, Kodera H. Reduction of formaldehyde concentrations in the air and cadaveric tissues by ammonium carbonate. Anatomical science international. 2004; 79(3): 152-7. [Scopus]
11. De la Torre FR, Baeza AR, Mateu JMD. Setting up a plastination laboratory at the Faculty of medicine of Autonomous University of Barcelona. European Journal of anatomy. 2004;8(1):1-6.
12. Al-Hayani AA, Hamdy RM, Abd El-Aziz GS, Badawoud MH, Aldaqal S, Bedir Y. Shellac. A non-toxic preservative for human embalming techniques. Journal of Animal and Veterinary Advances. 2011; 10(12): 1561-7. [Scopus]
13. Azari MR, Asadi P, Jafari MJ, Soori H, Hosseini V. Occupational Exposure of a Medical School Staff to Formaldehyde in Tehran. Tanaffos. 2012; 11(3): 36. [Scopus]
14. Yamato H, Nakashima T, Kikuta A, Kunugita N, Arashidani K, Nagafuchi Y, et al. A novel local ventilation system to reduce the levels of formaldehyde exposure during a gross anatomy dissection course and its evaluation using real-time monitoring. Journal of occupational health. 2005; 47(5): 450-3. [Scopus]
15. Ohmichi K, Komiyama M, Matsuno Y, Takanashi Y, Miyamoto H, Kadota T, et al. Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory. Personal exposure level is higher than indoor concentration (5 pp). Environmental Science and Pollution Research. 2006; 13(2): 120-4. [Scopus]
16. Keil CB, Akbar-Khanzadeh F, Konecny KA. Characterizing formaldehyde emission rates in a gross anatomy laboratory. Applied occupational and environmental hygiene. 2001; 16(10): 967-72. [Scopus]
17. Demer FR. Effective Local Exhaust Ventilation for Controlling Formaldehyde Exposures in a Gross Anatomy Laboratory. 1996. Departments of Risk Management & Safety and Facilities Design & Construction" The University of Arizona, Tucson, Arizona, 85721.
18. Nacher V, Llombart C, Carretero A, Navarro M, Ysern P, Calero S, et al. A new system to reduce formaldehyde levels improves safety conditions during gross veterinary anatomy learning. Journal of veterinary medical education. 2007; 34(2): 168-71. [Scopus]
19. Hiipakka DW, Dyrdaahl KS, Cardenas MG. Successful reduction of morticians' exposure to formaldehyde during embalming procedures. AIHAJ-American Industrial Hygiene Association. 2001;62(6):689-96. [Scopus]
20. Chia SE, Ong CN, Foo SC, Lee HP. Medical students' exposure to formaldehyde in a gross anatomy dissection laboratory. Journal of American College

- Health. 1992;41(3):115-9. [Scopus]
21. Perkins JL, Kimbrough JD. Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 1985;27(11):813-4. [Scopus]
22. Ye X, Yan W, Xie H, Zhao M, Ying C. Cytogenetic analysis of nasal mucosa cells and lymphocytes from high-level long-term formaldehyde exposed workers and low-level short-term exposed waiters. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2005;588(1):22-7. [Scopus]
23. Zhang Y. *Indoor air quality engineering*: CRC press; 2004.
24. Crawley LH. Application of non-dispersive infrared (NDIR) spectroscopy to the measurement of atmospheric trace gases. 2008.
25. Tabatabaee.M. Calculation of building installations(in persian). 16, editor: Roozbahan; 2013. 52 p.
26. ISO. 16000-8 Indoor air -Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions. *Indoor air -Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions*2007.
27. Sandberg M, Sjöberg M. The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms. *Building and Environment*. 1983;18(4):181-97. [Scopus]
28. Kwon K-S, Lee I-B, Han H-T, Shin C-Y, Hwang H-S, Hong S-W, et al. Analysing ventilation efficiency in a test chamber using age-of-air concept and CFD technology. *biosystems engineering*. 2011;110(4):421-33. [Scopus]
29. Van Buggenhout S, Van Brecht A, Özcan SE, Vranken E, Van Malcot W, Berckmans D. Influence of sampling positions on accuracy of tracer gas measurements in ventilated spaces. *Biosystems Engineering*. 2009;104(2):216-23. [Scopus]
30. Buratti C, Mariani R, Moretti E. Mean age of air in a naturally ventilated office: Experimental data and simulations. *Energy and Buildings*. 2011;43(8):2021-7. [Scopus]
31. ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists). *Industrial Ventilation A Manual of Recommended Practice for Desin*. 28th ed 2013. Cincinnati, Ohio.
32. Brauer RL. *Safety and health for engineers*: 2006. Published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada. [Scopus]
33. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Normative Appendix E-Table E-1*. 2007. [Scopus]
34. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) American Society of Heating RaA-CE. *Ventilation of Health Care Facilities. 75 Support Spaces*2013. [Scopus]