

Indoor and outdoor concentrations of volatile organic compounds at two administrative buildings in the center of Tehran

Mohammad Javad Jafari¹, Zahra Babaei Mahabadi², Farideh Atabi³, Leila Omid^{4*}, Nasrin Karimi Asl⁵

1. Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. MSc, Department of Environmental Engineering, School of Environment and Energy, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment and Energy, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran, Iran

4. PhD Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5. MSc, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: Volatile organic compounds (VOCs) have been simultaneously measured at industrial cities and inside the buildings as well. These compounds are concerned for their influences on indoor air quality and thus on human health. This study was, therefore, aimed to determine the relationship between VOCs concentration in indoor and outdoor environments of two administrative offices in the center of Tehran.

Materials and Methods: In the present work, indoor/outdoor concentrations of VOCs were measured in totally 143 rooms of two Petroleum Industry Health Organization administrative buildings in winter. Ethical issues with regard to obtaining the required permits were considered. First Check (model 6000) was used to measure VOCs concentration. Natural ventilation was calculated using the rate of air changes per hour in the indoor environment. Tables given by authorized organizations were exploited as well.

Results: The results indicated that indoor/outdoor concentration ratios for volatile organic compounds ranged from 1 to 2 for office building No.1. This ratio ranged from 0.5 to 1 for office building No.2. The indoor concentrations of totally measured VOCs in these two office buildings were 1006.23 ± 179.39 ppb and 645.44 ± 123.42 ppb, respectively.

Conclusions: Indoor concentrations of most studied volatile organic compounds were higher than their corresponding outdoor values. Office building No.1 experienced higher concentrations of measured VOCs as compared with office building No.2. The measured concentrations were higher in office rooms with 1 air change per hour than rooms having 1.5 air changes per hour.

Keywords: Volatile organic compounds, Natural ventilation, Benzene, Toluene, Tehran.

***Corresponding author:** Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: omidil@razi.tums.ac.ir

Received: 16 March 2016

Accepted: 17 July 2016

بررسی تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل و خارج از دو ساختمان اداری در مرکز تهران

محمد جواد جعفری^۱، زهرا بابائی مهابادی^۲، فریده عتابی^۳، لیلا امید^{۴*}، نسرين کریمی اصل^۵

۱. استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۴. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۵. کارشناس ارشد، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: ترکیبات آلی فرار از مهمترین آلاینده‌های هوا در شهرهای صنعتی و همچنین در داخل ساختمان هستند که بر کیفیت هوای داخل ساختمان و سلامت انسان تأثیر می‌گذارند. در این تحقیق ارتباط میان تراکم ترکیبات آلی فرار داخل و خارج از دو ساختمان اداری در مرکز تهران مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: تراکم ترکیبات آلی فرار در ۱۴۳ اتاق اداری از ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ سازمان بهداشت و درمان شرکت نفت در فصل زمستان اندازه‌گیری شد. ملاحظات اخلاقی در اخذ مجوزهای لازم از سوی مدیریت سازمان برای اندازه‌گیری‌ها مورد توجه قرار گرفت. اندازه‌گیری تراکم ترکیبات آلی فرار با استفاده از دستگاه First Check مدل ۶۰۰۰ انجام شد. میزان تهویه طبیعی از طریق برآورد میزان نفوذ هوا به داخل ساختمان و با استفاده از جداول ارائه شده از سوی سازمان‌های مرتبط برآورد گردید.

یافته‌ها: نسبت ترکیبات آلی فرار در داخل به خارج از ساختمان شماره یک بین ۱ تا ۲ و این نسبت در ساختمان شماره ۲ بین ۰/۵ تا ۱ بود. تراکم کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در ساختمان شماره ۱، $179/39 \pm 1006/23$ ppb و در ساختمان شماره ۲، $42 \pm 123/44$ ppb بود.

نتیجه‌گیری: تراکم اغلب ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان‌های مورد مطالعه بیش از تراکم آن‌ها در خارج از ساختمان گزارش گردید. تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان شماره ۱ از ساختمان شماره ۲ بالاتر بود. در واحدهای با تعداد یک و نیم تعویض هوا در ساعت، میزان آلاینده‌ها کمتر از واحدهای با یک تعویض هوا در ساعت بود.

کلید واژه‌ها: ترکیبات آلی فرار، تهویه طبیعی، بنزن، تولوئن، تهران.

*نویسنده مسئول:

ایران، تهران، بلوار کشاورز، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، کدپستی ۱۴۱۵۵۶۴۴۶.

Email: omidil@razi.tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۲۷

مقدمه

توجه به مواجهه با آلاینده‌های هوا در داخل ساختمان‌ها برای ارزیابی دقیق ریسک‌های سلامتی مرتبط با مواد شیمیایی اهمیت زیادی دارد، زیرا بسیاری از افراد زمان زیادی را در محیط‌های داخل ساختمان می‌گذرانند. امروزه تراکم بسیاری از ترکیبات آلی فرار در هوای داخل ساختمان‌ها بیش از تراکم آن‌ها در هوای خارج از ساختمان است [۱]. کیفیت هوای داخل ساختمان امروزه به دلیل افزایش شیوع مشکلاتی مانند سندرم ساختمان بیمار و بیماری‌های مشابه مورد توجه قرار گرفته است [۲، ۳]. نتایج مطالعات گوناگون نشان داده است که تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان، ۲ تا ۵ برابر بیش از مقدار آن در خارج از ساختمان بوده و در صورت انجام فعالیت‌های خاص در محیط‌های داخلی این تراکم تا ۱۰۰۰ برابر نیز افزایش می‌یابد [۴]. در محیط داخلی ساختمان، گونه‌های متفاوتی از ترکیبات آلی فرار یافت می‌شوند که گاهی تعداد آن‌ها در یک محیط بسته غیرصنعتی به بیش از ۳۰۰ نوع ترکیب می‌رسد [۵]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که افراد بیش از ۸۷ درصد از وقت خود را در محیط‌های داخلی سپری می‌کنند. در داخل ساختمان منابع عمده‌ای برای انتشار ترکیبات آلی فرار و مواجهه با آن‌ها وجود دارد. نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک بر پایه تحلیل‌های متاآنالیز از مواجهه با ترکیبات آلی فرار در محیط‌های اداری نشان داده است که کارمندان اداری به طور معمول شکایات متعددی از علائم تحریکات چشمی، بینی، گلو و سیستم تنفسی تحتانی دارند [۴، ۱۰]. اثرات سرطانزایی اصلی ترکیبات آلی فرار بر روی ریه، خون (لوسمی و لنفوم غیرهوچکین)، کلیه، کبد و مجاری صفراوی مورد بررسی قرار گرفته است. موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer: IARC) بنزن را به عنوان سرطانزای قطعی انسان (گروه ۱ مواد سرطانزا) و سایر ترکیبات آلی فرار مانند تتراکلرواتیلن و اتیل بنزن را در گروه سرطانزای شناخته شده یا محتمل برای انسان (گروه ۲A یا ۲B طبقه بندی نموده است [۶]. مستندات حاصل از تحقیقات گوناگون در داخل ساختمان حاکی از آن است که بسیاری از مواد مورد استفاده در داخل ساختمان‌ها، منبع انتشار ترکیبات آلی فرار هستند. این مواد تاثیر زیادی بر کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها دارند [۱]. نتایج مطالعه انجام شده توسط Guo در کشور هنگ کنگ نشان داد که حضور ترکیبات آلی فرار در محیط‌های اداری ریسک سرطان را در شاغلین افزایش می‌دهد. نتایج این مطالعه همچنین خاطر نشان ساخت که وجود برخی از ترکیبات آلی فرار مانند استایرن در محیط‌های اداری، سبب افزایش ریسک سرطان در طول عمر کارمندان می‌شود. بهبود طراحی ساختمان و انتخاب مواد مناسب، خطر مواجهه با ترکیبات آلی فرار را در محیط‌های داخلی ساختمان کاهش می‌دهد [۷]. مطالعات انجام شده

در کشور کانادا نشان داده است که بنزن، تولوئن و زایلن از جمله ترکیبات آلی فرار موجود در محیط‌های داخل ساختمان هستند که اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان دارند [۸]. نتایج بررسی عوامل موثر بر کیفیت هوای داخل در یک ساختمان اداری در شهر تهران توسط علیایی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که تراکم ترکیبات آلی فرار که با دستگاه First Check اندازه گیری شده بود، دارای میانگین $93/49 \pm 931/21$ قسمت در بیلیون (ppb) بود. حداقل مقدار ترکیبات آلی فرار اندازه گیری شده 658 ppb و حداکثر مقدار اندازه گیری شده این ترکیبات 2370 ppb به ترتیب مربوط به طبقات همکف و منهای ۵ بود [۹]. ارزیابی و سنجش مواد آلی فرار در هوای شهر تهران (در میدان انقلاب) در سال ۱۳۸۹ با دستگاه Phocheck نشان داد که بیشترین تراکم ترکیبات آلی فرار مربوط به گروه آروماتیک‌ها با غلظت $0/549 \pm 0/146$ ppb بود. غلظت تولوئن در اندازه گیری‌ها $0/135 \pm 0/108$ ppb گزارش گردید [۱۰]. نتایج تحقیقات علمی نشان داده است که کوشش‌های اخیر انسان در حفاظت از انرژی از طریق عایق کاری ساختمان‌ها سبب شده است که تراکم آلاینده‌ها در داخل ساختمان‌ها بیش از تراکم آن‌ها در خارج از ساختمان شود. تمام تلاش‌ها جهت حفظ انرژی به سمت و سویی معطوف گردیده است که در ساختمان‌های ساخته شده امکان نشت و نفوذ هوا وجود نداشته باشد. روش متداول در کنترل آلودگی هوای داخل ساختمان‌ها استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع است. با درز بندی‌های محکم ساختمان، از اثرات تهویه طبیعی کاسته شده و سیستم‌های معمول تهویه نیز در بسیاری از موارد قادر به پاکسازی تمامی آلاینده‌های داخل ساختمان نیستند. بعلاوه این سیستم‌ها نیازمند برنامه‌های تعمیر و نگهداری دقیق هستند [۱۱]. اثر تهویه در کنترل ترکیبات آلی فرار بطور قابل توجهی متفاوت است و بستگی به بهره‌برداری از ساختمان، منابع آلاینده و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موثر بر آلاینده دارد. بنابراین اقدامات کنترلی در منبع، علاوه بر تهویه کافی برای محدودکردن تراکم ترکیبات آلی فرار در ساختمان‌های اداری مورد نیاز می‌باشد [۱۲]. شرایط جوی و تغییرات فصلی نیز از عوامل موثر بر غلظت ترکیبات آلی فرار در محیط‌های داخل ساختمان‌ها است. غلظت تمامی ترکیبات آلی فرار در فصل زمستان به طور چشمگیری بالاتر از غلظت آن‌ها در سایر فصل‌ها است [۱۳]. روش‌های گوناگونی برای اندازه گیری تراکم ترکیبات آلی فرار وجود دارد. Adgate و همکاران از پایشگر بخارات آلی با مکانیسم انتشار غیر فعال جهت اندازه گیری تراکم این ترکیبات در هوای داخل منازل استفاده نمودند [۱۴]. Jia و همکاران با نمونه برداری غیرفعال (پسیو) و استفاده از لوله‌های جاذب، تراکم ترکیبات آلی فرار را در داخل ۱۶۲ منزل مسکونی از سه شهر ایالات متحده تعیین مقدار نمودند [۱۵]. با توجه به اینکه

گیرد [۱۶]. با توجه به اینکه در اماکن اداری، معمولاً میز کار، محل قرار گیری تجهیزات اداری است، به همین دلیل در داخل ساختمان‌ها نقاط اندازه‌گیری روی میز کار افراد انتخاب گردید. در خارج از ساختمان نیز جهت تعیین تراکم ترکیبات آلی فرار و مقایسه آن‌ها با تراکم ترکیبات در داخل ساختمان، چندین نقطه در خارج از ساختمان به عنوان نقاط اندازه‌گیری تعیین شد. نقاط اندازه‌گیری خارج از ساختمان در ارتفاع تنفسی و در زیر هر پنجره تعیین گردید. تراکم ترکیبات بنزن، تولوئن، زایلن، استایرن و کل ترکیبات اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری‌ها در فصل زمستان و ماه بهمن در ساعات اداری به هنگام فعالیت کارکنان صورت پذیرفت. کلیه پارامترهای موثر بر تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان‌ها، شامل تهویه طبیعی، تعداد افراد حاضر و ارباب رجوع و تجهیزات مورد استفاده نیز مورد نظر قرار گرفتند. میانگین دما و رطوبت در زمان اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار در ساختمان شماره ۱ به ترتیب $23 \pm 1/3$ درجه سانتی گراد و 51% و در ساختمان شماره ۲ به ترتیب 23 درجه سانتی گراد و 53% بود. جهت تعیین تراکم ترکیبات آلی فرار در هوا از دستگاه کالیبره شده First check مدل ۶۰۰۰ استفاده شد. این دستگاه دارای آشکارساز فتوئونیواسیون (PID) چند گازی برای اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار در محدوده 1 ppb تا 10000 ppb است. دقت این دستگاه $\pm 5\%$ عدد نمایش داده شده در نقطه کالیبراسیون است [۱۷]. میزان هوای نفوذی به داخل هر اتاق با استفاده از روش حجمی تعیین گردید. حجم هوای نفوذی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۱۸).

$$V = v \times n \quad (1)$$

که در آن V حجم هوای نفوذی، v حجم اتاق و n تعداد تعویض هوای اتاق در ساعت می‌باشد. جدول ۱ تعداد دفعات تعویض هوا بر مبنای نفوذ و تهویه طبیعی هوا و بدون کمک وسایلی مانند وانتیلاتور را نشان می‌دهد [۱۸].

جدول ۱- تعداد دفعات تعویض هوا بر مبنای نفوذ و تهویه طبیعی هوا

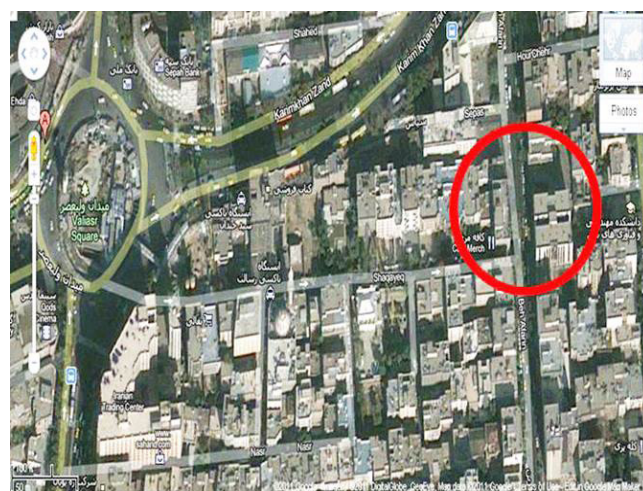
نوع اتاق	تعداد تعویض هوا در ساعت (n)
اتاق‌های دارای یک دیوار مشرف به بیرون با درب و یا پنجره	۱
اتاق‌های دارای دو دیوار مشرف به بیرون با درب و یا پنجره	۱/۵
اتاق‌های دارای سه یا چهار دیوار مشرف به بیرون با درب و یا پنجره	۲
راهروهای ورودی ساختمان	۲
اتاق‌ها یا فضاهای فاقد درب و یا پنجره روبه بیرون	۰/۵

تراکم بسیاری از ترکیبات آلی فرار در محیط داخل ساختمان‌ها بیش از تراکم آن‌ها در هوای خارج از ساختمان است و همچنین تاثیر نامطلوب این مواد بر سلامت انسان، این مطالعه با هدف مقایسه تراکم ترکیبات آلی فرار داخل و خارج دو ساختمان اداری در مرکز تهران صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات ساختمان‌های اداری مورد مطالعه

این مطالعه توصیفی در ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ سازمان بهداشت و درمان شرکت نفت در شهر تهران و در فصل زمستان سال ۱۳۹۰ انجام گردید. تأمین گرمایش ساختمان شماره ۱ از طریق فن‌کوئل و تهویه آن در فصل زمستان از طریق تهویه طبیعی انجام می‌شود. پنجره‌های مورد استفاده در این ساختمان تماماً از نوع تک جداره بودند. ساختمان شماره ۱ دارای ۱۲ واحد اداری و یک رستوران بود. بر حسب حضور افراد در ساختمان مذکور، ۶۳ ایستگاه نمونه‌برداری هوا در ساختمان شماره ۱ تعیین گردید. تأمین گرمایش ساختمان شماره ۲ از طریق رادیاتور و تهویه آن در زمستان بصورت طبیعی صورت می‌پذیرفت. در ساختمان شماره ۲، ۱۸ واحد اداری موجود بود. بر حسب حضور افراد در ساختمان شماره ۲، ۸۰ ایستگاه نمونه‌برداری هوا در این ساختمان محاسبه گردید. ملاحظات اخلاقی در اخذ مجوزهای لازم از سوی مدیریت سازمان برای اندازه‌گیری‌ها و حضور در ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفت. این دو ساختمان در دو ضلع شرقی و غربی خیابان به آفرین در شهر تهران (میدان ولی عصر (عج)، خیابان کریم خان زند) قرار گرفته اند. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ساختمان‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ساختمان‌های مورد مطالعه

اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار

اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار باید در محدوده تنفسی انسان صورت

آنالیز آماری داده‌ها

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. با استفاده از آزمون تحلیل واریانس تأثیر نوع واحدهای اداری، نوع ساختمان و نیز تعداد دیوارهای دارای پنجره مشرف به بیرون بر میزان تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها

تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل و خارج از ساختمان‌ها

یافته‌های حاصل از مطالعه نشان داد که در ساختمان شماره ۱، آلایندة بنزن با میانگین غلظت $9/92 \text{ ppb}$ در داخل ساختمان و میانگین غلظت 9 ppb در خارج از ساختمان کمترین تراکم را در میان ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده داشته است. ترکیب زایلن با میانگین غلظت $503/43 \text{ ppb}$ بیشترین تراکم را در میان ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در داخل ساختمان و ترکیب استایرن با میانگین غلظت $402/5 \text{ ppb}$ بالاترین تراکم اندازه‌گیری شده در میان ترکیبات آلی فرار را در خارج از ساختمان داشتند. در داخل

ساختمان شماره ۱، میانگین کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده $1006/23 \text{ ppb}$ و در خارج از ساختمان شماره ۱، میانگین کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده 854 ppb بود.

در ساختمان شماره ۲ نیز ترکیب بنزن کمترین دامنه تراکم را در داخل ساختمان با میانگین غلظت $6/98 \text{ ppb}$ و خارج از ساختمان با میانگین غلظت $9/5 \text{ ppb}$ داشت. در داخل ساختمان شماره ۲ ترکیب زایلن با میانگین غلظت $355/61 \text{ ppb}$ بیشترین غلظت اندازه‌گیری شده را داشت. در هوای خارج از ساختمان شماره ۲، دو ترکیب زایلن و استایرن با میانگین غلظت 373 ppb ، بالاترین غلظت اندازه‌گیری شده را در میان ترکیبات آلی فرار داشتند.

در داخل ساختمان شماره ۲، میانگین کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده $645/44 \text{ ppb}$ و در خارج از ساختمان شماره ۲، میانگین کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده 746 ppb بود. جدول ۲، میانگین تراکم ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در داخل ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ و شکل ۲ میانگین تراکم ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در خارج از ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ سازمان بهداشت و درمان شرکت نفت را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میانگین تراکم ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده بر حسب ppb در داخل ساختمان‌های شماره ۱ و ۲

آلاینده	ساختمان شماره ۱		ساختمان شماره ۲	
	دامنه	انحراف معیار $\pm$ میانگین	دامنه	میانگین $\pm$ انحراف معیار
بنزن	۵/۴-۱۵	$9/92 \pm 2/21$	۴/۸-۶۱	$6/98 \pm 6/24$
تولوئن	۲۶۰/۴-۴۹۶	$345/15 \pm 70/92$	۱۷۰/۵-۵۵۸	$224/01 \pm 45/82$
زایلن	۲۷۷/۳-۶۵۸	$503/43 \pm 94/91$	۲۳۹/۷-۶۵۸	$355/61 \pm 68/26$
استایرن	۲۵۶-۴۶۵/۶	$352/41 \pm 56/74$	۱۷۴/۴-۶۰۸	$231/76 \pm 56/12$
کل ترکیبات	۷۰۰-۱۷۷۴	$1006/23 \pm 179/39$	۴۶۰-۱۴۶۰	$645/44 \pm 123/42$

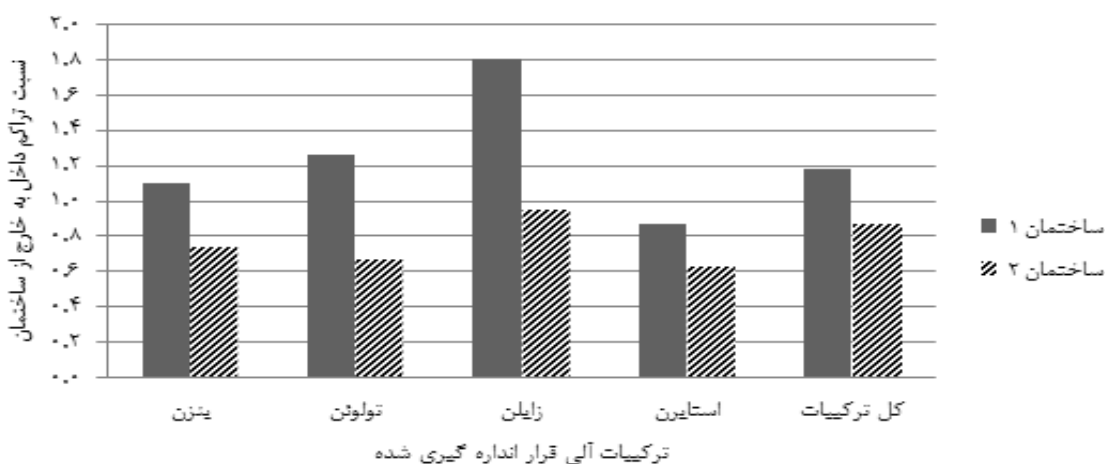
شکل ۳ نسبت ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه در داخل ساختمان به خارج از ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

نتایج آزمون‌های آنالیز واریانس میان تراکم آلایندة بنزن و نوع واحدهای اداری دو ساختمان نشان داد که میانگین تراکم بنزن در واحدهای اداری دو ساختمان مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری ندارد ($p > 0/05$). مقایسه میانگین تراکم سایر ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه در واحدهای اداری ساختمان شماره ۱ و ۲ نشان داد که میانگین تراکم آن‌ها در دو ساختمان با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند ($p < 0/05$)، به عبارت دیگر نوع واحد اداری در میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان تأثیرگذار می‌باشد.

محاسبات نسبت ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه در داخل ساختمان به خارج از ساختمان نشان داد که در ساختمان شماره ۱ ترکیب زایلن بیشترین نسبت تراکم را در داخل ساختمان نسبت به تراکم آن در خارج از ساختمان داشت (نسبت ۱/۸). در ساختمان شماره ۲ نیز همین ترکیب بالاترین نسبت تراکمی داخل به خارج را دارا بود. تراکم استایرن در داخل ساختمان شماره ۲ نسبت به خارج از آن کمترین مقدار ($0/62$) را داشت. در ساختمان شماره ۱ میانگین تراکم تمام آلایندة بنزن استایرن بیش از میانگین تراکم آن‌ها در خارج از این ساختمان (یک تا دو برابر) بود. در ساختمان شماره ۲ برای تمام ترکیبات، میانگین تراکم آلایندة بنزن در داخل کمتر از میانگین تراکم آن‌ها در خارج از ساختمان (بین نیم تا یک برابر) بود.



شکل ۲- میانگین تراکم ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در خارج از ساختمان‌های شماره ۱ و ۲



شکل ۳- نسبت ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در داخل به خارج از ساختمان‌های شماره ۱ و ۲

بار در ساعت بودند. جدول شماره ۳ میانگین و دامنه ترکیبات آلی فرار با توجه به دفعات تعویض هوا در هر دو ساختمان را نشان می‌دهد.

تعداد دفعات تعویض هوا و تهویه طبیعی در داخل ساختمان بررسی تعداد دفعات تعویض هوا در ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ نشان داد که ۴۱ اتاق در این دو ساختمان دارای دفعات تعویض هوای ۱ بار در ساعت و ۱۰۲ اتاق دارای دفعات تعویض هوای ۱/۵

جدول ۳- میانگین و دامنه ترکیبات آلی فرار بر حسب ppb با توجه به دفعات تعویض هوا در ساعت

تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت				نوع ترکیب آلی فرار
(n=۱۰۲) ۱/۵		(n=۴۱) ۱		
میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	
۷/۵	۵/۳-۱۵	۱۰	۴/۸-۶۱	بنزن
۲۶۳/۱	۱۸۱/۴-۵۵۸	۳۰۹/۸	۱۷۰/۵-۴۹۶	تولونن
۴۰۷/۷	۲۳۹/۷-۶۵۸	۴۴۹/۷	۲۵۸/۵-۶۳۴/۵	زایلین
۲۷۴/۴	۱۸۴-۶۰۸	۳۰۸/۲	۱۷۴/۴-۴۶۵/۶	استایرن
۷۷۲/۶	۵۲۰-۱۴۶۰	۸۷۸/۴	۴۶۰-۱۷۷۴	کل ترکیبات

۱: تعداد اتاق‌ها

در یک مطالعه در بیمارستانی در آلمان، بیشترین تراکم ترکیبات آلی فرار مورد بررسی مرتبط با ترکیب زایلن بود. تراکم ترکیب زایلن در هوای خارج از ساختمان بطور معنی داری بر کیفیت هوای داخل ساختمان تاثیر گذار است. مصرف سیگار سبب افزایش تراکم زایلن در هوای داخل ساختمان می شود [۲۱]. در خارج از ساختمان شماره ۲، ترکیب استایرن نیز با تراکمی مشابه با ترکیب زایلن بیشترین تراکم را داشت. نسبت تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان نسبت به تراکم آن ها در خارج از ساختمان نشان داد که ترکیب زایلن بیشترین نسبت تراکم را در داخل ساختمان نسبت به تراکم آن در خارج از ساختمان داشت. بر اساس مطالعه انجام شده در کره جنوبی الگوهای فعالیت و نوع سکونت و تجهیزات موجود بر نسبت تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان نسبت به تراکم آن ها در خارج از ساختمان و بطور معنی دار برای ترکیب زایلن موثر هستند [۲۲].

نتایج مطالعه انجام شده در کشور کانادا در سال ۲۰۰۸ نشان داد که نسبت مقادیر محیط داخل به محیط خارج از ساختمان مسکونی برای بنزن، تولوئن، و زایلن به ترتیب برابر ۲/۰۸، ۵/۵۸، ۵/۹۸ بود [۸]. همچنین اندازه گیری ترکیبات آلی فرار در دو شهر کشور کره در داخل ساختمان نشان داد که نسبت آلاینده های بنزن، تولوئن، زایلن در شهر آسان به ترتیب برابر ۱/۰۱، ۱/۱۲، ۱/۴۹ و در شهر سئول به ترتیب برابر ۱/۰۴، ۱/۰۳ و ۱/۹۶ بود [۲۲]. این نسبت برای بنزن، تولوئن، زایلن، استایرن و کل ترکیبات آلی فرار در ساختمان شماره ۱ به ترتیب ۱/۱، ۱/۲۶، ۱/۸۵، ۰/۸۸، ۱/۱۹ و در ساختمان شماره ۲، ۰/۷۳، ۰/۸۳، ۰/۸۳، ۰/۵۶، ۰/۹۶ بود. این نسبت در ساختمان های مورد مطالعه به ویژه در ساختمان شماره ۲ پائین تر از موارد مشابه آن در مطالعات انجام شده در کشور کانادا و کره می باشد. این تفاوت احتمالا ناشی از سوخت مصرفی خودروها و سیستم های گرمایشی در شهرهای کشور کره با ایران است. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش تعداد دفعات تعویض هوا در ساعت سبب کاهش تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان گردید. همچنین افزایش تعداد دیوارهای دارای پنجره مشرف به بیرون که سبب افزایش تعداد دفعات تعویض هوا می گردد، تراکم ترکیبات آلی فرار را در داخل ساختمان های اداری کاهش می دهد. نتایج آنالیز واریانس میان تراکم ترکیبات آلی فرار و تعداد دیوارهای دارای پنجره مشرف به بیرون نشان داد که مقادیر p -value بدست آمده برای بنزن، تولوئن، زایلن، استایرن و کل ترکیبات آلی فرار به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۰۴، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ بوده است و تعداد پنجره به طور معنی داری بر میزان آلودگی داخل ساختمان موثر بوده است. مطالعات مختلف نشان داده اند که نوع و تعداد پنجره ها بر میزان تهویه طبیعی و دفعات تعویض هوا موثر بوده و افزایش تهویه طبیعی سبب کاهش تراکم ترکیبات آلی فرار و سایر آلاینده ها در محیط می گردد [۲۳، ۲۰].

تهویه طبیعی در داخل ساختمان ها از طریق پنجره ها صورت می گرفت، بنابراین تعداد دیوارهای دارای پنجره مشرف به بیرون بر میزان آلاینده داخل ساختمان موثر بود. نتایج آزمون های آنالیز واریانس نشان داد واحدهایی که از نظر تعداد دیوارهای دارای پنجره مشرف به بیرون متفاوت بودند، میانگین تراکم کلیه ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه در آن ها متفاوت بود ($p < ۰/۰۵$). دلیل این اختلاف به علت تعداد تعویض های هوا در واحدهای دارای یک یا دو پنجره می باشد که بر تراکم آلاینده ها تاثیر داشته و باعث کاهش آلاینده های واحدهای با دو سمت پنجره نسبت به واحدهای با یک سمت شده است، یعنی تهویه طبیعی بیشتر، سبب کاهش میزان آلاینده های داخل واحدها شده است.

بحث

نتایج مطالعات گوناگون نشان داده است که تاکنون بیش از دویست آلاینده آلی، به خصوص ترکیبات آلی فرار در محیط داخل ساختمان شناسایی شده اند. به نظر می رسد که این گروه از ترکیبات، کیفیت هوای داخل ساختمان را تحت تاثیر قرار می دهند [۱، ۴]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کیفیت و نوع ساختمان بر میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان نقش دارد، بطوریکه میانگین تراکم کلیه ترکیبات آلی فرار اندازه گیری شده در داخل ساختمان شماره ۱ بطور معنی داری بالاتر از میانگین تراکم آن ها در ساختمان شماره ۲ بود ($p < ۰/۰۵$). هر دو ساختمان قدیمی بودند و تفاوت آنها در تراکم جمعیتی، بسته بودن فضا، تعداد پنجره ها و برخی تجهیزات بود. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که نوع ساختمان، مصالح بکار رفته در ساختمان و تجهیزات مورد استفاده در داخل ساختمان ها بر میزان انتشار ترکیبات آلی فرار تاثیر گذار هستند [۷، ۱۹، ۲۰]. نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین تراکم ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه در خارج ساختمان شماره ۱ و ساختمان شماره ۲ اختلاف معنی داری نداشتند ($p > ۰/۰۵$). افزایش اندک تراکم ترکیبات آلی فرار در خارج از ساختمان شماره ۲ بدلیل موقعیت ساختمان نسبت به خیابان بود. این ساختمان نسبت به ساختمان شماره ۱ در فاصله کمتری نسبت به خیابان اصلی قرار دارد. احتمالاً عبور و مرور بیشتر خودروها از خیابان اصلی سبب افزایش تراکم ترکیبات آلی فرار مورد بررسی در خارج از ساختمان شماره ۲ شده است. در هر دو ساختمان ترکیب بنزن کمترین غلظت و ترکیب زایلن بیشترین غلظت را در داخل و خارج از ساختمان داشت. نتایج تحقیقات Sarigiannis و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که ترکیب زایلن در آپارتمان های جدید بیشترین تراکم را میان سایر ترکیبات آلی فرار داشت اما با افزایش عمر ساختمان تراکم آن کاهش یافت. همچنین

بر کیفیت هوای داخل ساختمان ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه گیری

تراکم کل ترکیبات آلی فرار اندازه‌گیری شده در ساختمان شماره ۱ و ۲ به ترتیب $179/39 \pm 106/23$ ppb و $645/44 \pm 123/42$ ppb بود. میانگین تراکم تولوئن، زایلن و استایرن در واحدهای اداری دو ساختمان مورد مطالعه بطور معنی‌داری متفاوت بود ($p < 0/05$). تراکم اغلب ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان‌های اداری بیش از تراکم آن‌ها در خارج از ساختمان بود. نوع و تعداد پنجره‌ها بر میزان تهویه طبیعی و دفعات تعویض هوا موثر بوده و افزایش تهویه طبیعی سبب کاهش تراکم ترکیبات آلی فرار و سایر آلاینده‌ها در محیط گردید.

مطالعات انجام شده در سالهای اخیر نشان داده است که ترکیبات آلی و به ویژه ترکیبات آلی فرار بر کیفیت هوای داخل ساختمان‌های اداری تاثیر گذار هستند. پیشرفت‌های صنعتی و تلاش بر حفظ انرژی سبب شده است که دفعات تعویض هوا و تهویه عمومی ساختمان‌ها کاهش یافته و در نتیجه تراکم ترکیبات آلی فرار در داخل ساختمان‌ها افزایش یابد. بنابراین نیاز است که روش‌های مناسبی جهت کاهش تراکم این ترکیبات در داخل ساختمان‌های اداری بکار گرفته شود تا از این طریق حفاظت و صیانت از نیروی کار که از بزرگترین سرمایه‌های یک کشور است صورت پذیرد. از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به عدم اندازه‌گیری و آنالیز ترکیبات آلی فرار با روش‌های استاندارد و آنالیز آزمایشگاهی اشاره نمود. همچنین، انجام تحقیقات بیشتر برای تعیین تراکم ترکیبات آلی فرار و عوامل موثر بر تراکم آن‌ها در محیط داخل ساختمان‌های اداری و تاثیر آنها

REFERENCES

1. Levin H, Hodgson A. VOC concentrations of interest in North American offices and homes. Proceedings Healthy Buildings 2006 Jun. 4-8; Lisbon, Portugal. pp. 233-8.
2. Jafari MJ, Khajevandi AA, Najarkola SAM, Yekaninejad MS, Pourhoseingholi MA, Omid L, et al. Association of sick building syndrome with indoor air parameters. Tanaffos 2015; 14(1):55.
3. Jafari MJ, Khajevandi AA, Mousavi Najarkola SA, Pourhoseingholi MA, Omid L, Zarei E. Symptoms of Sick Building Syndrome in Office Workers of Petroleum Industry Health Organization. Journal of Occupational Hygiene Engineering 2015; 2(1):66-76 (In Persian).
4. Environmental Protection Agency. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. Accessed Date: January 1, 2014; Available from: <https://www.epa.gov/indoor-air>.
5. Morrison GC, Nazaroff WW. Ozone interactions with carpet: secondary emissions of aldehydes. Environmental Science & Technology 2002; 36(10):2185-92.
6. de Gennaro G, Farella G, Marzocca A, Mazzone A, Tutino M. Indoor and outdoor monitoring of volatile organic compounds in school buildings: Indicators based on health risk assessment to single out critical issues. International Journal of Environmental Research and Public Health 2013; 10(12):6273-91.
7. Guo H, Lee SC, Chan L, Li W. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. Environmental Research 2004; 94(1):57-66.
8. Stocco C, Mac Neill M, Wang D, Xu X, Guay M, Brook J, et al. Predicting personal exposure of Windsor, Ontario residents to volatile organic compounds using indoor measurements and survey data. Atmospheric Environment 2008; 42(23):5905-12.
9. Oliaei M, Jahangiri M, Mari Oriyad H, Rismanchiyan M, Karimi A. Effective factors on indoor air quality in an office building in Tehran. Health System Research 2013; 8(7):1331-40 (In Persian).

10. Sarkhosh M, Mahvi AH, Zare MR, Alavi J, Mohseni M. Assessment of volatile organic compound (voc) in Tehran air pollution in 2010-2011. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences* 2013; 12(4):271-78 (In Persian).
11. Wolkoff P, Wilkins C, Clausen P, Nielsen G. Organic compounds in office environments—sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 2006; 16(1):7-19.
12. Destailats H, Maddalena RL, Singer BC, Hodgson AT, McKone TE. Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. *Atmospheric Environment* 2008; 42(7):1371-88.
13. Jo W-K, Kim K-Y. Vertical variability of volatile organic compound (VOC) levels in ambient air of high-rise apartment buildings with and without occurrence of surface inversion. *Atmospheric Environment* 2002; 36(36):5645-52.
14. Adgate JL, Eberly LE, Stroebel C, Pellizzari ED, Sexton K. Personal, indoor, and outdoor VOC exposures in a probability sample of children. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2004; 14:S4-S13.
15. Jia C, Batterman SA, Relyea GE. Variability of indoor and outdoor VOC measurements: An analysis using variance components. *Environmental Pollution* 2012; 169:152-59.
16. Rezazadeh Azari M, Naghavi Konjin Z, Zayeri F, Salehpour S, Seyedi M. Occupational Exposure of Petroleum Depot Workers to BTEX Compounds. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2011;3.
17. on Science Ltd IS. First Check 4000 & 6000 Ex User Manual V2.7. 2009. Available from: www.ionscience.com/.../FirstCheck Manual V2.7.pdf. Accessed Feb 05, 2014.
18. Tabatabaei SM. Calculation of building installations. Tehran: Rouzbahan publication; 2011. p. 51-53 (In Persian).
19. Xu Y, Zhang Y. An improved mass transfer based model for analyzing VOC emissions from building materials. *Atmospheric Environment* 2003; 37(18):2497-505.
20. Edwards RD, Jurvelin J, Saarela K, Jantunen M. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 2001; 35(27):4531-43.
21. Sarigiannis DA, Karakitsios SP, Gotti A, Liakos IL, Katsoyiannis A. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environment International* 2011; 37(4):743-65.
22. Son B, Breysse P, Yang W. Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. *Environment International* 2003; 29(1):79-85.
23. Seppänen O, Fisk W. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air* 2002; 12(2):98-112.