

ارائه رابطه کاربردی به منظور برآورد میزان آلاینده‌ها در هوای داخل ساختمان

دانیال حکیمی راد^۱، مهدی معروفت^{۲*}، بهروز محمد کاری^۳

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استادیار، مهندسی عمران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۱۱۵-۱۱۱، maerefat@modares.ac.ir

چکیده
برآورد میزان آلاینده‌ها در یک فضای مسکونی برای اطمینان از کیفیت هوا بسیار حائز اهمیت است. در تحقیق حاضر، یک فضای مسکونی متداول به منظور بررسی رفتار آلاینده‌ها به روش عددی شبیه‌سازی شده است. با استفاده از نتایج عددی حاصل و نتایج تجربی مراجع دیگر، رابطه‌ای تحلیلی برای برآورد میزان غلظت گاز CO_2 بر حسب عواملی چون گاز CO_2 تولید شده توسط تنفس ساکنین و یا وسائل احتراقی، حجم فضای مسکونی و نرخ تهویه پیشنهاد شده است. نتایج رابطه تحلیلی انتباری کاملاً با نتایج تجربی و عددی دارد و می‌توان از آن برای برآورد کیفیت هوای داخل ساختمان استفاده نمود. رابطه پیشنهادی در تمام فضاهای مشابه قابل استفاده است.

اطلاعات مقاله

داداشت پژوهشی

دریافت: ۰۹ آذر ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۲ دی ۱۳۹۵

ارائه در سایت: ۱۳ بهمن ۱۳۹۵

کلیل و ازکان:

کیفیت هوای داخل

غلظت دی اکسید کربن

نرخ تهویه

آلاینده

Proposing of a practical relation to estimate amount indoor air pollutants

Danial HakimiRad¹, Mehdi Maerefat^{1*}, Behrouz Mohammad Kari²

۱- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

۲- Energy, Acoustic & Light Department of Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran

* P.O.B. 14115-111, Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Research Note

Received 29 November 2016

Accepted 11 January 2017

Available Online 01 February 2017

Keywords:

Indoor air quality IAQ

CO_2 concentration

Ventilation rate

Pollutant

ABSTRACT

Estimating indoor air pollutants to ensure the air quality is very important. In this study, a conventional residential space is numerically simulated in order to investigate the behavior of pollutants. Using the numerical results and the experimental results of other references, the analytical relation to estimate the concentration of CO_2 in term of factors such as CO_2 produced by breathing residents or combustion equipment, the volume of space and ventilation rate are proposed. The results of the analytical relation are full compliance with experimental and numerical results and it can be used to estimate indoor air quality. Proposed relation can be used in all similar cases.

۱- مقدمه

امروزه بدليل اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ساختمان‌ها دارای درزبندی مناسب‌تری نسبت به گذشته هستند که باعث کاهش نفوذ هوا می‌شود. این عامل و همچنین استفاده از وسائل احتراقی مانند پکیج، بخاری گازی و اجاق‌گاز در ساختمان، باعث کاهش کیفیت هوا می‌گردد؛ که در صورت نبودن راهکاری برای تأمین هوای تازه، تهدیدی جدی برای سالمتی ساکنین خواهد بود.

نوروزی و همکاران [۱] با در نظر گرفتن نیروی شناوری حاصل از وسائل احتراقی (بخاری)، راهکارهایی برای کاهش غلظت گازهای حاصل از احتراق دادند که شامل جانمایی دریچه خروجی هوا می‌شود. یو و همکاران [۲] با استفاده از سنسور CO_2 ، تعداد تعویض هوای مناسب برای مکان‌های مختلف مانند کتابخانه، خوابگاه و... را تعیین کردند. فیدوروک و همکاران [۳] با

مطالعه میدانی، نرخ تعویض هوای بهینه از نظر مصرف انرژی و کیفیت هوا را در مطب پزشکان کشور لهستان محاسبه کردند. ماک و ژو [۴] روش‌های مختلف تهویه طبیعی برای تأمین کیفیت هوا در زمان خواب ساکنین در ساختمانی در هنگ‌کنگ را بررسی کردند و نتیجه گرفتند چند دقیقه تهویه طبیعی با پنجره باز، کیفیت هوای لازم برای خواب شبانه را فراهم می‌کند. پاتنزا اراس و همکاران [۵] با یک مدل ریاضی و استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس، مدلی برای پیش‌بینی غلظت CO_2 و مصرف انرژی در مکان‌های خاص مانند کتابخانه، اداره و غیره ارائه دادند. محققین پژوهش حاضر در کار قبلی خود [۶]، به بررسی و تخمین کیفیت هوای داخل در حالت استفاده از پنجره‌های هوابند در فصول معتدل و بدون کارکرد وسائل احتراقی پرداختند. طبق استانداردهای تهویه مطبوع، کیفیت هوای داخل براسas غلظت گاز CO_2 (دی‌اکسیدکربن) سنجیده می‌شود [۷]. استانداردهای مختلف، محدوده

Please cite this article using:

D. HakimiRad, M. Maerefat, B. Mohammad Kari, Proposing of a practical relation to estimate amount indoor air pollutants, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 2, pp. 446-450, 2017 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

جدول ۱ ابعاد و محل قرارگیری جزئیات فضای نمونه

Table 1 Dimensions and location details Model

ابعاد (m)			محل قرارگیری (m)			جزئیات مدل
x	y	z	x	y	z	
3	3	4	0	0	0	اتاق
0.8	2	-	1.1	0	4	در
1	0.8	-	1	1.5	0	پنجره
0.5	0.05	-	1.25	0.1	4	دريچه خروجي هوا
1	0.05	-	1	1.5	0	مجرای ورودی هوا
1.75	0.2	0.5	1.1	0.4	1.75	بدن شخص
0.02	-	0.04	2.63	0.58	1.98	دهان شخص
0.2	0.6	0.6	0.2	0	1.5	بخاری

سایر دیوارها، سقف و کف آیدیاتیک می‌باشند. در و پنجره نیز ضریب هدایت حرارتی 0.78 W/mK دارند. تهویه اتاق از قسمت پایینی پنجره انجام می‌گیرد، که شرط مرزی ورودی سرعت دارد و مقدار سرعت براساس نرخ تهویه اتاق تعیین می‌شود. دما و غلظت CO_2 های ورودی مشابه هوای بیرون است. دریچه خروجی به صورت جریان خروجی، پایین در تعیین شده است. با کارکرد بخاری (با دودکش)، اکسیژن هوای داخل در اثر احتراق به مرور کاهش یافته و بنابراین درصد حجمی سایر گازهای موجود در هوا و حاصل از احتراق از جمله CO_2 افزایش می‌یابد که با مدل‌سازی صورت گرفته طبق مرجع [1] این وسیله به عنوان منبع تولید CO_2 شبیه‌سازی می‌شود. بالا و پایین بخاری به ترتیب برای خروج و ورود هوا به بخاری شرط مرزی سرعت قرار گرفته است. دما و غلظت CO_2 خروجی از بخاری 50°C و 2000 ppm است [1]. نرخ هوای جریان یافته توسط بخاری در بازه $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ تا $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ باشد. تولید حرارت بدن 105W ، و براساس مرجع [10] نرخ تنفس انسان

۸ lit/min و نرخ تولید CO_2 توسط تنفس 0.23 lit/min است.

برای ارزیابی کیفیت هوای داخل، معادلات بقای جرم، مومنتوم، انرژی و گونه‌ها حل شده‌اند. همچنین به منظور شبیه‌سازی جریان آشفتگی، از مدل توربولانسی صفر معادله‌ای داخلی^۲ استفاده شده است. جهت مدل‌سازی مسئله از نرم‌افزار ایرپاک^۳ استفاده شده است. معادلات جریان و دما به دلیل ماهیت پایدارشان در مسئله به صورت دائم و معادله گونه به صورت غیردائم حل شده‌اند. به منظور کوپلینگ معادلات مومنتوم و فشار، ایرپاک از مدل سیمپل^۴ استفاده می‌کند. همچنین برای جداسازی متغیرها از روش بالادست مرتبه اول استفاده شده است [6]. مقادیر باقیمانده برای همگرایی معادلات، 10^{-3} برای مومنتوم و پیوستگی و 10^{-6} برای انرژی و گونه در نظر گرفته شد.

برای حل عددی، از شبکه‌های شش وجهی منظم استفاده شده است. مسئله با چند شبکه‌ی مختلف با تعداد ۱۵۰۷۶۶، ۳۰۴۶۷۶، ۶۰۹۳۴۶ و ۱۱۲۸۵۱۶ سلول حل شده که نتایج توزیع CO_2 در شرایط دائم در مرکز اتاق بر حسب ارتفاع از کف در "شکل 2" رسم شده است. از "شکل 2" مشخص است که با افزایش تعداد سلول‌ها، نمودارها بسیار به هم نزدیک می‌شوند که نشان‌دهنده استقلال نتایج از اندازه شبکه می‌باشد. در این تحقیق از شبکه ۶۰۹۳۴۶ سلول استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی عددی با داده‌های ارائه شده در مرجع [6] انتطاب مناسبی دارد که بیانگر صحت نتایج مدل‌سازی است.

² Indoor zero equation³ Airpak v3⁴ SIMPLE

مجاز غلظت CO_2 در فضای داخل ساختمان را تعیین کرده‌اند. استاندارد اش瑞 ۲۰۰۱-۶۲ حد غلظت CO_2 در اتاق برای وجود کیفیت هوای مناسب را 700 ppm بالاتر از غلظت آن در هوای بیرون ذکر کرده است [7]. غلظت CO_2 در هوای بیرون بین 330 ppm تا 370 ppm است [8]. استاندارد اروپا حداقل غلظت CO_2 را 1500 ppm اعلام کرده ولی پیشنهاد داده است که غلظت CO_2 فضای داخل کمتر از 1000 ppm باشد [9]. استاندارد نیوش^۱ با شاخص سلامتی انسان، حد مجاز غلظت CO_2 در مواجهه ۸ ساعت در روز و ۴۰ ساعت در هفته را 5000 ppm اعلام کرده است [7]. بنابراین در طراحی تهویه ساختمان‌ها باید به این مقادیر توجه شود تا کیفیت هوای در شرایط مطلوب قرار گیرد. اما یکی از سوالات مطرح در این زمینه، چگونگی تخمین کیفیت هوای داخل می‌باشد که در پژوهش حاضر به آن پرداخته می‌شود. به طور کلی در پژوهش‌های انجام شده، رابطه‌ای برای برآورد میزان آلینده‌ها با کیفیت هوای داخل گزارش نشده است. در این پژوهش با شبیه‌سازی عددی و مقایسه آن با مدل تحلیلی، رابطه‌ای کاربردی و کلی برای تخمین کیفیت هوای ارائه می‌گردد که دست آورده ممکن است این پژوهش محاسبه می‌شود.

۲- تعریف مسئله و شبیه‌سازی عددی

فضای نمونه مورد بررسی در این تحقیق در "شکل 1" نشان داده شده است. هندسه کلی این مدل منطبق با مشخصات ارائه شده در مرجع [6] و براساس شرایط یک اتاق معمولی است که نتایج آن قابل تعمیم به سایر موارد می‌باشد. در این مدل، بخاری گازی و تنفس انسان، منابع تولید CO_2 هستند و تهویه اتاق با نرخ‌های مختلف به وسیله پنجره و دریچه پایین در انجام قرار گرفته است. هدف از این شبیه‌سازی، بررسی نحوه توزیع و مقدار غلظت CO_2 در دوره ۸ ساعته خواب و در ناحیه سکونت افراد (از کف تا ارتفاع 1.7 m) می‌باشد. ابعاد و محل قرارگیری جزئیات مدل "شکل 1" در جدول ۱ آورده شده است.

مدل‌سازی برای فضول معمدل و سرد سال انجام گرفته است. در فضول سرد دمای هوای بیرون 5°C است. در فضول معمدل دمای هوای بیرون 20°C است و بخاری حذف می‌شود. همچنین غلظت CO_2 در هوای بیرون و شرایط اولیه اتاق 350 ppm می‌باشد. دیوار دارای پنجره و دیوار نزدیک بخاری از جنس آجر با ضریب هدایت حرارتی 0.7 W/mK و ضخامت 20cm است.

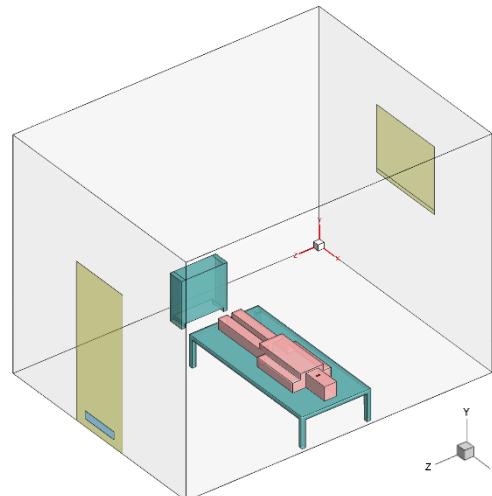
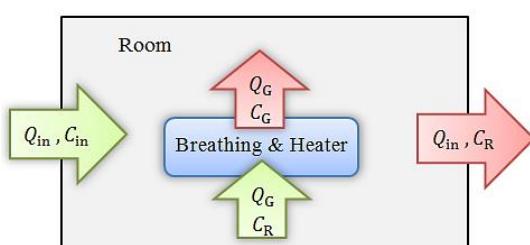


Fig. 1 Overview of simulated sample space

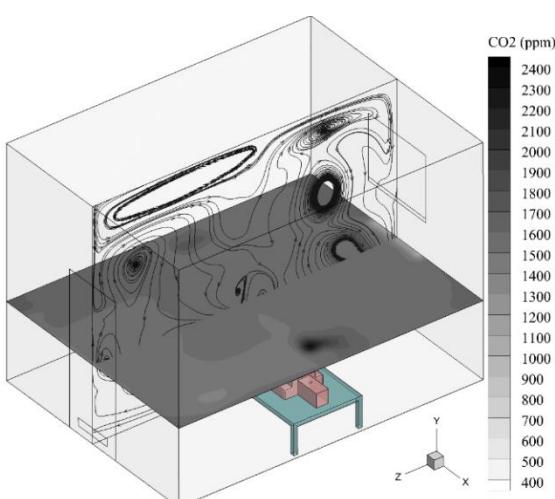
شکل ۱ نمای کلی فضای نمونه شبیه‌سازی شده

منابعی است که دمای آن‌ها نسبت به میانگین دمای اتاق بیشتر است. در کل، غلظت موضعی ناحیه تنفس با غلظت متوسط اتاق تفاوت بسیار کمی دارد، طوری که می‌توان توزیع CO_2 در اتاق را تقریباً یکنواخت در نظر گرفت. در سایر نزخ‌های تهویه نیز، الگوی توزیع CO_2 به همین شکل رعایت شده است. در "شکل‌های 5 و 6" نتایج غیردائم غلظت CO_2 مربوط به شبیه‌سازی عددی و رابطه (3) با هم مقایسه شده‌اند. "شکل 5" مربوط به فضول سرد و همزمان با کارکرد بخاری، و "شکل 6" مربوط به فضول معتدل و بدون کارکرد بخاری است. "شکل‌های 5 و 6" نشان می‌دهند که نتایج رابطه (3) به خوبی از نظر رفتار و مقدار، با نتایج شبیه‌سازی عددی مطابقت دارد و می‌توان نتیجه گرفت که فرض توزیع یکنواخت غلظت CO_2 درون اتاق صحیح بوده است. در صورت نبودن تهویه و بدون کارکرد بخاری، پس از 8 ساعت میانگین غلظت CO_2 در ناحیه تنفس به 3000 ppm رسید که بسیار بیشتر از حد مجاز و برای سلامتی مصر است که این نشان دهنده اهمیت تهویه مناسب اتاق است. برای بررسی دقیق‌تر، در جدول 2 حداکثر اختلاف در نمودارهای "شکل 5 و 6" و همچنین عملکرد تهویه در نزخ‌های تهویه مختلف نشان داده شده است.

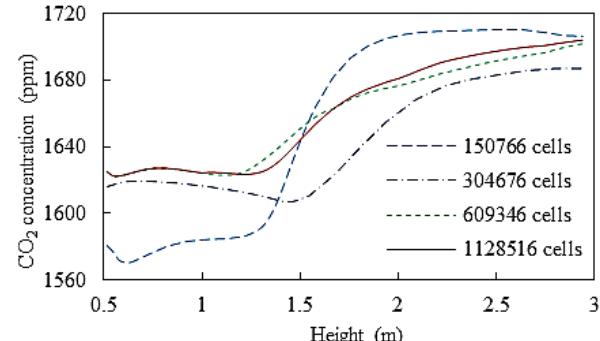
شبیه‌سازی فضای نمونه طوری انجام شده که هوا از یک سمت اتاق وارد و از سمت مقابل خارج شود (شرایط عدم اختلاط یا تهویه پیستونی) ولی با این حال مقدار ۴ در جدول 2 تا حد زیادی نزدیک به ۱ است که نشان می‌دهد تهویه فضای در شرایط مورد بررسی و مسائل مشابه از نوع اختلاطی است. همچنین اختلاف نتایج رابطه (3) و شبیه‌سازی عددی همواره کمتر از 7 درصد است که نشان دهنده انطباق بالای نتایج تحلیلی و عددی است.



شکل 3 شماتیک مدل حل تحلیلی



شکل 4 توزیع CO_2 پس از 8 ساعت و نزخ تهویه 1 ACH در صفحه $y = 1 \text{ m}$ و خطوط جریان در صفحه $x = 1.5 \text{ m}$



شکل 2 غلظت CO_2 روی خط ($x = 1.5, z = 2$) بر حسب ارتفاع

3- حل تحلیلی

در مسئله حاضر، اگر توزیع غلظت CO_2 درون اتاق به صورت یکنواخت فرض شود، می‌توان از حل تحلیلی برای تخمین کیفیت هوا استفاده کرد. اما این فرض، وابسته به نوع تهویه اتاق است. اگر تهویه فضا به صورت اختلاطی باشد، فرض غلظت یکنواخت CO_2 درون اتاق صحیح است. می‌توان از رابطه (1) برای تعیین میزان اختلاطی بودن تهویه استفاده کرد [11].

$$\epsilon = \frac{C_{\text{out}} - C_{\text{in}}}{C_{\text{R}} - C_{\text{in}}} \quad (1)$$

در رابطه (1)، ϵ مقداری بین 0 تا 2 دارد و اگر این مقدار به عدد 1 نزدیک باشد، تهویه از نوع اختلاطی است [11]. در حل تحلیلی، با فرض غلظت یکنواخت CO_2 درون اتاق، مسئله برای شرایط مختلف حل شده و در بخش نتایج، با نتایج شبیه‌سازی عددی مقایسه می‌شوند تا میزان صحت و محدوده اعتبر این فرض انجام شده مشخص گردد.

با در نظر گرفتن اتاق به عنوان حجم کنترل می‌توان مدلی به صورت "شکل 3" فرض کرد. نزخ ورود و خروج هوا، تنفس و هوا در گردش توسط بخاری معلوم است. همچنین غلظت CO_2 در هوا ورودی، بازدم انسان و خروجی بخاری نیز مشخص است. با فرض یکنواخت بودن توزیع CO_2 در اتاق می‌توان غلظت CO_2 هوا خروجی را با غلظت CO_2 هوای اتاق در نظر گرفت. بنابراین تنها مجهول مسئله غلظت CO_2 در هوای اتاق (C_{R}) است. معادله بالا نس جرمی برای غلظت در اتاق به صورت رابطه (2) نوشته می‌شود.

$$V \frac{dC_{\text{R}}}{dt} + C_{\text{R}}(Q_{\text{in}} + Q_{\text{G}}) = Q_{\text{in}}C_{\text{in}} + Q_{\text{G}}C_{\text{G}} \quad (2)$$

که با حل معادله فوق بر حسب زمان و قرار دادن شرایط اولیه به صورت $C_{\text{R}}(t) = C_{\text{R}}(0) e^{\frac{(C_{\text{in}} - C_{\text{G}})Q_{\text{G}} + (C_{\text{i}} - C_{\text{in}})Q_{\text{in}}}{V(Q_{\text{G}} + Q_{\text{in}})t}}$ رابطه (3) بدست می‌آید.

$$C_{\text{R}} = \frac{(C_{\text{i}} - C_{\text{G}})Q_{\text{G}} + (C_{\text{i}} - C_{\text{in}})Q_{\text{in}}}{e^{\frac{t(Q_{\text{G}}+Q_{\text{in}})}{V}}(Q_{\text{G}} + Q_{\text{in}})} + \frac{C_{\text{G}}Q_{\text{G}} + C_{\text{in}}Q_{\text{in}}}{Q_{\text{G}} + Q_{\text{in}}} \quad (3)$$

4- نتایج و بحث

برای بررسی و درک مقدار و الگوی توزیع CO_2 در شرایط واقعی، شبیه‌سازی برای چهار نزخ تهویه مختلف شامل ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ACH انجام شده است. استفاده از واحد ACH به این دلیل است که پارامتر حجم اتاق را نیز در بر می‌گیرد. نمونه‌ای از توزیع CO_2 و جریان هوا در اتاق همزمان با کارکرد بخاری در "شکل 4" نشان داده شده است. در "شکل 4" مشاهده می‌گردد که غلظت CO_2 در نواحی مختلف اتاق تقریباً یکنواخت است و فقط در ناحیه دهان شخص افزایش محسوسی دارد. همچنین غلظت CO_2 با افزایش ارتفاع در راستای عمودی، کمی افزایش می‌یابد که دلیل این امر، تولید CO_2 توسط

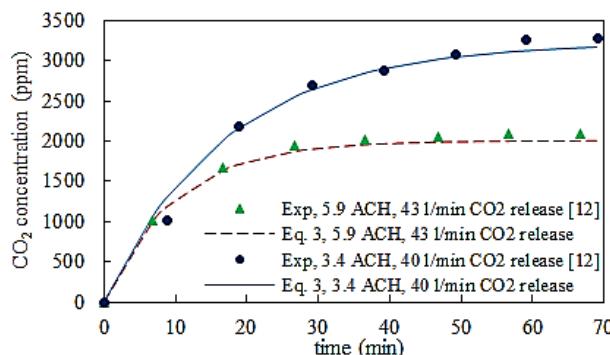


Fig. 8 Comparison the results of Eq.3 and experiment results of ref.[12] for high ventilation rates

شکل 8 مقایسه نتایج رابطه (3) و نتایج تجربی مرجع [12] برای نرخ تهویه بالا

تجربی دارد. میانگین و حداقل اختلاف نتایج در نمودارهای "شکل 7 و 8" به ترتیب 4.2 و 8.1 درصد است. ضمن این که نتایج تجربی، خود بین 1 تا 3 درصد خطا دارند [12,7]. به طور کلی می‌توان گفت که نتایج رابطه (3)، هم با نتایج شبیه‌سازی عددی و هم با نتایج تجربی مطابقت کامل دارد. بنابراین این رابطه برای تمامی فضاهای مشابه و همچنین برای تمام فصول سال از جمله موارد همزمان با کارکرد وسائل احتراقی قابل استفاده است.

5- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر بر مبنای نتایج عددی و تجربی، رابطه‌ای تحلیلی برای پیش‌بینی و برآورد کیفیت هوای داخل پیشنهاد شده است. با داشتن مقادیر حجم اتاق، نرخ تهویه، نرخ تولید آلینده (گاز CO_2) و شرایط اولیه، غلظت متوسط گاز آلینده (C_R) از رابطه (4) قابل محاسبه است.

$$C_R = \frac{(C_i - C_G)Q_G + (C_i - C_{in})Q_{in}}{e^{\frac{t(Q_G+Q_{in})}{v}}(Q_G + Q_{in})} + \frac{C_G Q_G + C_{in} Q_{in}}{Q_G + Q_{in}} \quad (4)$$

ضمناً مقادیر متداول برای پارامترهای مذکور، در بخش 2 اشاره شده است.

6- فهرست عالیم

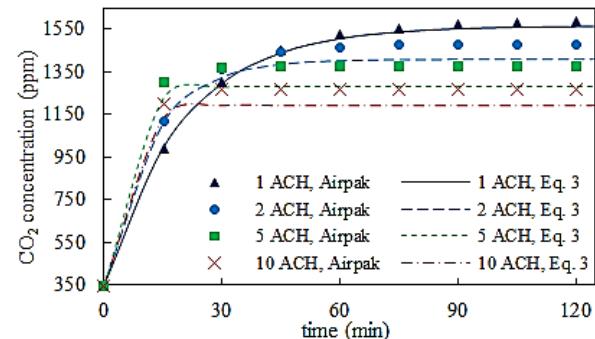
غلهظت گونه (ppm)	C
دبی حجمی (m^3s^{-1})	Q
زمان (s)	t
حجم (m^3)	V
عالیم یونانی	
عملکرد تهویه (برای حذف آلدگی)	E

زیرنویس‌ها

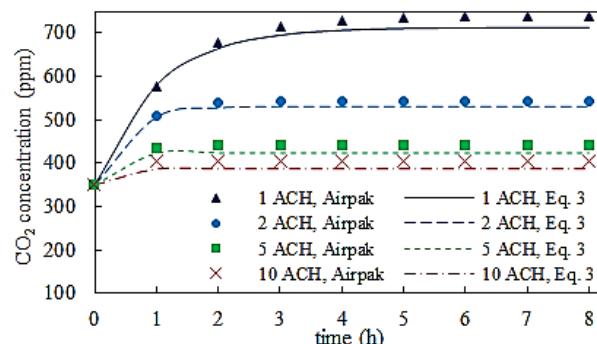
تولید (توضیع تنفس و وسیله احتراقی)	G
شرایط اولیه	i
ورودی	in
خروجی	out
اتاق	R

7- مراجع

- Ch. Noroozi, M. Maerefat, S. A. Zolfaghari, Effective use of thermal floating combustion heating appliances in order to control indoor air quality, *Sharif Mechanical Engineering*, Vol. 29, No. 1, pp. 103-111, 2011. (in Persian فارسی)
- Y. You, C. Niu, J. Zhou, Y. Liu, Z. Bai, Measurement of air exchange rates in different indoor environments using continuous CO_2 sensors, *Environmental Sciences*, Vol. 24, No. 4, pp. 657-664, 2012.



شکل 5 غلظت CO_2 در ناحیه تنفس با کارکرد بخاری



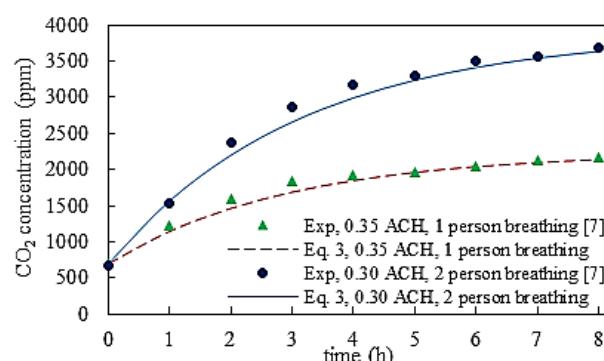
شکل 6 غلظت CO_2 در ناحیه تنفس بدون کارکرد بخاری

به دلیل اهمیت بالای این موضوع، برای اطمینان کامل نسبت به صحت و اعتبار رابطه (3)، نتایج حاصل از این رابطه با نتایج تجربی دو مرجع [12,7] در "شکل‌های 7 و 8" مقایسه شده است. "شکل‌های 7 و 8" نشان می‌دهند که برای تنفس ساکنین در ناحیه تنفس در نرخ تهویه کم، و همچنین وجود منبع تولید CO_2 در نرخ تهویه بالا، نتایج رابطه (3) انطباق خوبی با نتایج

جدول 2 مقایسه نتایج رابطه (3) و نتایج شبیه‌سازی شده

Table 2 Comparison the results of Eq. 3 and simulation results

نرخ تمویض هوای (ACH)	حداکثر اختلاف نتایج (%)	با کارکرد بخاری	عملکرد تهویه (E)	بدون کارکرد	حداکثر اختلاف نتایج (%)	عملکرد تهویه (E)	با کارکرد بخاری
6.10	7.02	4.75	1.46	(%)			
0.84	0.87	0.84	0.89				
4.27	4.31	2.44	3.39				
0.97	0.97	1.00	0.94				



شکل 7 مقایسه نتایج رابطه (3) و نتایج تجربی مرجع [7] برای نرخ تهویه پایین

- [8] bedrooms, *Procedia Engineering*, Vol. 75, pp. 175-182, 2013.
- [9] ASHRAE, *Handbook of fundamentals, Chapter 16: ventilation and infiltration*, USA Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2009.
- [10] EN 13779, Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems, Brussels: European Committee for Standardization, 2007.
- [11] Y. C. Tung, Y. C. Shih, S. C. Hu, Numerical study on the dispersion of airborne contaminants from an isolation room in the case of door opening, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, No. 8, pp. 1544-1551, 2009.
- [12] C. Guangyu, et al. A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings, *Building and Environment*, Vol. 73, pp. 171-186, 2014.
- [13] C. Guangyu, S. Kai, K. Simo, Modelling and experimental study of performance of the protected occupied zone ventilation, *Energy and Buildings*, Vol. 68, pp. 515-531, 2014.
- [3] K. Fiedoruk, D. A. Krawczyk, The possibilities of energy consumption reduction and a maintenance of indoor air quality in doctor's offices located in north-eastern Poland, *Energy and Buildings*, Vol. 85, pp. 235-245, 2014.
- [4] Z. T. Ai, C.M. Mak, D. J. Cui, P. Xue, Ventilation of air-conditioned residential buildings: A case study in Hong Kong, *Energy and Buildings*, Vol. 127, pp. 116-127, 2016.
- [5] A. Pantazaras, S. E. Lee, M. santamouris, J. Yang, Predicting the CO₂ levels in buildings using deterministic and identified models, *Energy and Buildings*, Vol. 127, pp. 774-785, 2016.
- [6] D. HakimiRad, B. Mohammad Kari, M. Maerefat, Study the impact of caulking modern windows on air infiltration rate and indoor air quality, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 11, pp. 23-34, 2016. (in Persian)
- [7] P. Batog, M. Badura, Dynamic of changes in carbon dioxide concentration in