مجله مهندسی مکانیک مدرس، بهمن 1395، دوره 16، شماره 11، ص‌ص 445-448

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

روابط کاربردی برای برآورد غلظت آلاینده ناشی از خودرو در پارکینگ‌های بسته

جواد امنیان[1]، مهدی معرفت[2*]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

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

* تهران، صندوق‌پستی 143-14115، maerefat@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

یادداشت پژوهشی

دریافت: 17 شهریور 1395

پذیرش: 29 شهریور 1395

ارائه در سایت: 01 آبان 1395

کلید واژگان:

پخش آلودگی

پارکینگ طبقاتی

افزایش غلظت آلاینده

مدل عددی

چکیده

با استفاده از تخمین میزان آلاینده در یک پارکینگ می‌توان سیستم تهویه‌ای با تضمین ایجاد کیفیت هوای مناسب طراحی کرد. در این مقاله رابطه کاربردی بین افزایش غلظت آلاینده ناشی از خودروها با زمان در پارکینگ‌های بسته به‌دست آمده است. نتایج حاصل از الگوی بالا از نظر فیزیکی به درستی بیانگر تغییرات میزان غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ تحت تأثیر پارامترهای عملکردی است. علاوه‌بر میزان دبی هوا که پارامتری با اهمیت در افزایش کیفیت هوا در پارکینگ‌های بسته است، کارآیی خروجی آلاینده هم در کیفیت هوا تأثیر داشته و اثر آن در رابطه بیان شده در این مقاله قابل مشاهده است.

Practical relation for estimation of air pollution induced by cars in enclosed parking lots

Javad Amnian, Mehdi Maerefat*

Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Research Note
Received 07 September 2016
Accepted 19 September 2016
Available Online 22 October 2016

Keywords:
Pollution dispersion
multi floor parking lot
pollution increasing
numerical simulation

ABSTRACT

By using the initial estimation of CO concentration in enclosed parking lots, the designer could design a ventilation system with assurance of producing good air quality. In this paper, the practical correlation of CO increasing due to cars and time in enclosed parking lots is proposed. The proposed model is represents the variation of CO concentration in parking lot according to functional parameters. In addition to air flow ventilation, the effect of CO removal effectiveness on the air quality of enclosed parking lots is expressed in the proposed relation.

1- مقدمه

افزایش استفاده از پارکینگ‌های بسته، پایه و اساس ایجاد چالش‌های جدید مقابله با تمرکز آلودگی است [1]. مهم‌ترین چالش پارکینگ‌های بسته تولید منوکسیدکربن به دلیل کارکرد ماشین در محیطی با اکسیژن کم است [2]. براساس استاندارد [3]، هوای تهویه لازم برای کاهش غلظت منوکسید برای کاهش دیگر آلاینده‌ها هم کافی است. نتایج تحقیقات نویسندگان مقاله حاضر بیانگر این است که با ایجاد الگوی جریان مناسب در پارکینگ می‌توان غلظت آلاینده‌ها و میزان مصرف انرژی را تا حد قابل توجهی در پارکینگ کاهش داد [4]؛ بنابراین جهت ایجاد کیفیت هوای مناسب باید هر دو پارامتر حجم *هوای تهویه* کافی و *کارآیی خروجی آلاینده* دارای مقدار مناسب باشند. حجم هوای تهویه با استفاده از روش استاندارد اشری [3] به‌دست می‌آید. کارآیی خروج آلاینده به صورت نسبت غلظت منوکسیدکربن در خروجی پارکینگ به متوسط غلظت منوکسیدکربن در فضای داخلی پارکینگ تعریف می‌شود [5]. رژیم جریان تهویه در پارکینگ با استفاده از کارآیی خروجی آلاینده در سه دسته قرار گرفته و شامل ضریب کارآیی کوچک‌تر از یک (جریان اتصال کوتاه)، برابر با یک (جریان اختلاطی) و بزرگ‌تر از یک (جریان جابه‌جایی) می‌شود [5]. افزایش مقدار کارآیی خروجی آلاینده سبب افزایش کیفیت هوا در پارکینگ‌های بسته می‌شود. در صورتی که کارآیی خروجی منوکسیدکربن بسیار بیشتر از یک باشد، نوع ایده‌آل الگوی جریان که جریان پیستونی نامیده می‌شود ایجاد خواهد شد. همچنین مقادیری که در محدوده عدد 1 قرار داشته باشند (مانند 0.9 و 1.1) باز هم معرف جریان اختلاطی هستند. در جریان اختلاطی میزان غلظت منوکسیدکربن در همه نقاط پارکینگ یکسان است، ولی لزوماً کمتر از حد مجاز استاندارد نیست. در حالت جریان جابه‌جایی غلظت منوکسیدکربن در خروجی بیش از متوسط فضای پارکینگ

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

J. Amnian, M. Maerefat, Practical relation for estimation of air pollution induced by cars in enclosed parking lots, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 11, pp. 445-448, 2016 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.38.1]

است [5]. ایجاد جریان جابه‌جایی در پارکینگ سبب افزایش غلظت منوکسیدکربن در محل خروجی‌ها شده و در صورتی که خروجی‌ها در موقعیت و ارتفاع بهینه قرار نگرفته باشند، کیفیت هوای داخلی پارکینگ کاهش خواهد یافت [4]. دسته‌بندی رژیم جریان با استفاده از کارآیی در جدول 1 بیان شده است.

رابطه‌ای جهت پیش‌بینی افزایش غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ‌های بسته بزرگ در مقالات موجود بیان نشده؛ بنابراین به‌دست‌آوردن رابطه میان غلظت منوکسیدکربن و پارامترهای عملکردی پارکینگ یک نوآوری چشمگیر است. وجود یک تخمین مناسب از غلظت منوکسیدکربن موجود در پارکینگ با استفاده از پارامترهای عملکردی مانند ظرفیت، حجم، میزان هوای تهویه و رژیم جریان سبب بهبود طراحی سیستم تهویه و مصرف انرژی کمتر خواهد شد. این رابطه در مقاله حاضر ارائه شده و از آن می‌توان به‌عنوان پایه‌ای جهت برآورد میزان آلودگی و طراحی سیستم تهویه در پارکینگ‌های بسته استفاده کرد.

2- پخش آلاینده در پارکینگ‌های بسته

پارکینگ‌های بسته طبقاتی از پرکاربردترین انواع پارکینگ‌های زیرزمینی است. شکل و هندسه پارکینگ‌ها در حالت کلی کاملاً وابسته به نقشه اصلی ساختمان بوده و هندسه استانداردی در این زمینه موجود نیست. پارکینگ‌های طبقاتی در ایران عموماً دارای شکل یکسانی بوده و به صورت طبقاتی مجزا (که با استفاده از رمپ به یکدیگر راه دارند) یا نیم‌طبقه‌های متصل به هم ساخته شده‌اند. مؤلفین مقاله کنونی در کار پیشین خود [6] دو نوع متداول پارکینگ‌های بسته طبقاتی مطابق با شکل 1 را مورد بررسی قرار داده و پخش آلودگی را در آن‌ها به صورت عددی شبیه‌سازی کرده‌اند. در شکل 1 پارکینگ 1 دارای 3 طبقه بوده و بیانگر نمونه‌ای از پارکینگ‌های طبقاتی است که در آن جریان تنها از طریق رمپ‌ها قادر به جابه‌جایی میان طبقات است. پارکینگ 2 بیانگر نمونه‌ای از پارکینگ‌های طبقاتی است که از چندین نیم‌طبقه متصل به هم تشکیل شده است. در مقاله فوق [6]، میزان کیفیت هوای داخلی دو پارکینگ طبقاتی با استفاده از بهبود موقعیت دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلاینده افزایش یافته است. در شکل 2، میانگین غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ‌های 1 و 2 بیان شده است. نتایج شکل 2 بیانگر این است که غلظت آلاینده در هر دو پارکینگ با گذر زمان افزایش پیدا کرده و سپس به مقداری تقریباً ثابت رسیده است. دلیل ثابت شدن غلظت آلاینده‌ها با گذر زمان از نظر فیزیکی بالانس بین هوای تهویه و آلاینده تولیدی است. به عبارتی آلاینده تولیدی با استفاده از جریان هوای تهویه رقیق شده و همراه با آن به محل دریچه‌های خروجی آلاینده منتقل شده و از فضای پارکینگ خارج شده است.

3- رابطه تغییر غلظت آلاینده با زمان و سایر متغیرها

همان‌گونه که نتایج شکل 2 نشان می‌دهد افزایش غلظت منوکسیدکربن با

جدول 1 مقادیر کارآیی خروجی آلاینده برحسب نوع جریان

Table 1 The quantity of ξ according to flow regime

رژیم جریان	کارآیی خروجی آلاینده (ξ)
جریان اتصال کوتاه	$0 < \xi < 1$
جریان اختلاطی	$\xi = 1$
جریان جابه‌جایی	$\xi > 1$

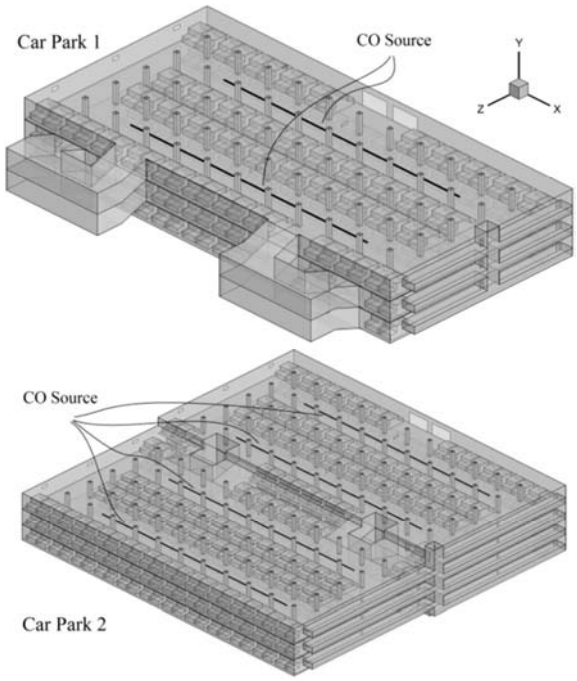

Fig. 1 Common layouts of multilevel parking lots [6]

شکل 1 هندسه متداول پارکینگ‌های طبقاتی [6]

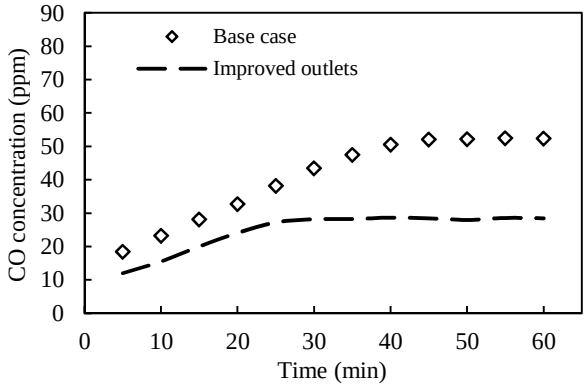

Fig. 2 Comparison of average CO concentration [6]

شکل 2 مقایسه غلظت منوکسیدکربن در دو حالت متفاوت جریان تهویه [6]

زمان در زمان‌های ابتدایی دارای شیب بیشتری نسبت به زمان‌های انتهایی بوده و با گذر زمان غلظت منوکسیدکربن ثابت شده است. دلیل این رفتار همان‌گونه که بیان شد بالانس شدن میزان هوای تهویه و میزان منوکسیدکربن تولیدی در سیستم است. به عبارتی میزان رقیق شدن آلودگی با استفاده از هوای تهویه با گذر زمان تقریباً ثابت شده و پس از آن میزان غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ افزایش نمی‌یابد. در این رفتار دو پارامتر دارای اهمیت هستند که نخستین آن‌ها زمان و دومی میزان افزایش غلظت آلاینده در پارکینگ است. در صورتی که بتوان رابطه‌ای تحلیلی بیان کرد که مقدار دو پارامتر بالا را به پارامترهای عملکردی جریان تهویه مرتبط کند، میزان افزایش غلظت منوکسیدکربن پیش از طراحی سیستم تهویه به‌دست‌آمده و با توجه به آن می‌توان کارآیی سیستم تهویه را بهبود بخشید. با توجه به نتایج شکل 2 و پارامترهایی چون تعداد تعویض هوا، تعداد ماشین‌های روشن موجود در پارکینگ، میزان غلظت آلاینده خروجی از ماشین، کارآیی خروجی منوکسیدکربن و میزان هوای تهویه می‌توان زمان بی‌بعد و غلظت آلاینده بی‌بعد را تعریف کرد. دو پارامتر یادشده به صورت

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.38.1]

روابط (2,1) بی‌بعد می‌شوند.

$$t^* = t \cdot 60\sqrt{\frac{g}{H}} \tag{1}$$

$$C^* = \frac{C}{1000n\dot{m}/\xi q} \tag{2}$$

در رابطه (1) پارامترها t^*، t، g و H به ترتیب بیانگر زمان بی‌بعد، زمان برحسب دقیقه، شتاب گرانش و ارتفاع طبقه پارکینگ هستند، همچنین در رابطه (2) پارامترهای C^*، C، n، $\dot{m}$، ξ و q به ترتیب بیانگر غلظت منوکسیدکربن بی‌بعد، غلظت منوکسیدکربن (mg/m^3)، تعداد ماشین‌های روشن، دبی جرمی منوکسیدکربن خروجی از اگزوز ماشین‌ها (g/s)، کارآیی خروجی منوکسیدکربن و دبی حجمی هوای تهویه (m^3/s) هستند.

در صورتی که مقادیر به‌دست‌آمده از شکل 2 با توجه به مشخصات عملکردی پارکینگ در روابط (2,1) قرار گیرند، نمودار تغییرات غلظت منوکسیدکربن برحسب زمان بی‌بعد به‌دست خواهد آمد. با توجه به داده‌های شکل 2 که برای دو پارکینگ 1 و 2 و برای دو حالت پارکینگ پایه و خروجی‌های بهبود یافته به‌دست آمده‌اند، رابطه (3) حاصل خواهد شد.

$$C^* = \frac{1}{9}\left(\frac{1}{5}\ln t^* - 1\right) \tag{3}$$

نمودار رابطه بی‌بعد (3) که با استفاده از نتایج حل عددی به‌دست‌آمده در شکل 3 نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود رابطه (3) دارای دقت مناسبی است (R^2=0.9654). با توجه به این موضوع می‌توان از رابطه بالا برای تخمین میزان آلاینده با زمان و میزان متوسط آلاینده در پارکینگ‌های بسته طبقاتی مشابه با پارکینگ‌های بیان شده در شکل 1 که نمونه‌ای بسیار متداول در پارکینگ‌های ساخته شده در ایران است استفاده کرد. در صورتی که در رابطه (3) به جای زمان و غلظت منوکسیدکربن بی‌بعد از مقادیر معادل آن‌ها مطابق با رابطه‌های (2,1) استفاده شود، رابطه بین غلظت منوکسیدکربن با زمان و دیگر پارامترهای عملکردی به صورت رابطه (4) به‌دست خواهد آمد.

$$C = \frac{1000n\dot{m}}{9\xi q}\left[\frac{1}{5}\left(\ln t + \ln 60\sqrt{\frac{g}{H}}\right) - 1\right] \tag{4}$$

رابطه بالا از نظر فیزیکی قابل توجیه است. در صورتی که تعداد ماشین‌های روشن و میزان آلاینده خروجی از اگزوز ماشین افزایش یابد، انتظار می‌رود که غلظت آلاینده در پارکینگ افزایش یابد. رابطه (3) بیانگر این رفتار فیزیکی است. از سویی در صورتی که میزان هوای تهویه و ارتفاع پارکینگ افزایش یابد میزان غلظت آلاینده در پارکینگ کاهش خواهد یافت که این رفتار هم در روابط بالا پیش‌بینی شده است. رابطه (4) رابطه‌ای کلی بوده و می‌توان از آن برای تخمین میزان آلاینده در هر پارکینگ طبقاتی بسته مشابه با پارکینگ‌های شکل 1 که در آن تعداد ماشین‌ها، میزان هوای تهویه، ارتفاع پارکینگ و کیفیت سیستم تهویه طراحی شده معلوم است استفاده کرد. با استفاده از تعریف حجم هوای تهویه و جایگزینی آن با استفاده از تعداد تعویض هوا و حجم پارکینگ رابطه (5) حاصل می‌شود که در خود دارای پارامترهای عملکردی بیشتری از پارکینگ است.

$$C = \frac{4n\dot{m}}{ACH\xi V}\left[\frac{1}{5}\left(\ln t + \ln 60\sqrt{\frac{g}{H}}\right) - 1\right] \times 10^5 \tag{5}$$

ACH و V در رابطه (5) به ترتیب بیانگر تعداد تعویض هوا در ساعت و حجم پارکینگ هستند. با توجه به رابطه (5) در صورتی که حجم پارکینگ یا تعداد تعویض هوا افزایش یابند، میزان غلظت آلاینده کاهش خواهد یافت.

هر کدام از پارامترهای یادشده قابلیت افزایش یا کاهش تا مقادیر متفاوت

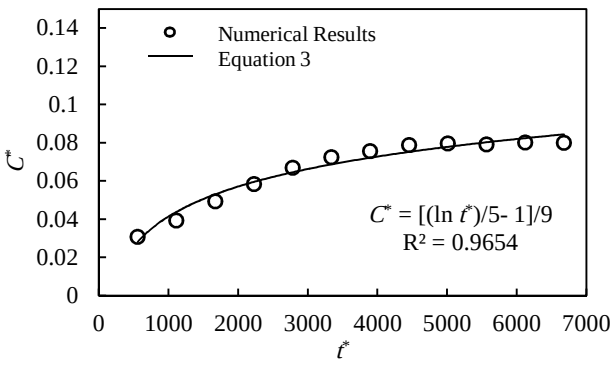

Fig. 3 Comparison of numerical results and proposed correlation

شکل 3 مقایسه نتایج بی‌بعد حاصل از حل عددی و رابطه پیشنهادی

را دارند. حد بالا و پایین این پارامترها در ادامه بیان شده است.

- حد بالا و پایین دبی جرمی خروجی منوکسیدکربن از اگزوز ($\dot{m}$) در حالت استارت سرد به ترتیب برابر با 3.66 و 18.96 گرم بر دقیقه و در حالت گرم موتور بین 1.9-3.4 گرم بر دقیقه است [3].
- کارآیی خروجی آلاینده در حالت جریان اختلاطی برابر با 1 بوده و در حالت جریان جابه‌جایی بیش از 1 است. در حالت کلی هر چه مقدار این پارامتر بیش از یک باشد هوای موجود در پارکینگ دارای کیفیت بیشتری خواهد بود.
- میزان هوای تهویه در پارکینگ‌های بسته با استفاده از استاندارد بریتانیا [7] میان 6-10 تعویض هواست.
- ارتفاع پارکینگ‌های بسته طبقاتی بین 2.4-3 متر است [8].
- حد مجاز منوکسیدکربن در پارکینگ‌های بسته در بازه زمانی 1 ساعته برابر با 35 ppm است [3].

با توجه به موارد بیان شده جهت ایجاد شرایط کیفیت هوای مناسب در پارکینگ با مشخص بودن هندسه (حجم و ارتفاع پارکینگ) و تعداد ماشین‌های روشن، حجم هوای تهویه و کارآیی خروجی آلاینده باید به گونه‌ای تغییر کند تا میزان منوکسیدکربن در پارکینگ از حد مجاز خود فراتر نشود. کارآیی خروجی آلاینده با تغییر در موقعیت دریچه‌های خروجی آلاینده و دریچه‌های ورودی هوای تمیز و تغییر در چیدمان فن‌های القایی قابل افزایش است تا رژیم جریان به جریان جابه‌جایی (و حد ایده‌آل آن که جریان پیستونی است) نزدیک شود.

3-1- تخمین میزان غلظت آلاینده در پارکینگ‌های یک طبقه

رابطه بیان‌شده در این مقاله با استفاده از نتایج توزیع منوکسیدکربن در پارکینگ‌های طبقاتی به‌دست آمده است. پارکینگ‌های طبقاتی کاربرد بسیاری داشته و استفاده از آن در ایران و دیگر کشورها متداول است. پارکینگ‌های یک طبقه علاوه‌بر پارکینگ‌های طبقاتی کارکرد زیادی در ساختمان‌های اداری و تجاری دارند. چالش افزایش غلظت آلاینده‌ها در پارکینگ‌های یک طبقه با اهمیت بوده و در صورتی که بتوان با استفاده از رابطه ارائه شده در این مقاله میزان آلاینده موجود را تخمین زد دامنه کاربرد رابطه ارائه شده افزایش خواهد یافت. در حالت کلی نمونه استانداردی از پارکینگ‌های زیرزمینی یک طبقه که بتوان مورد مقایسه قرار داد موجود نیست. هندسه پارکینگ در حالت کلی کاملاً وابسته به هندسه ساختمان بوده و پارامتر با اهمیت در آن حد آلاینده‌ها و میزان هوای تهویه است. نویسندگان مقاله حاضر در پژوهش‌های پیشین خود تغییرات غلظت آلاینده در یک نمونه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.38.1]

از پارکینگ‌های بسته یک طبقه را با استفاده از حل عددی به‌دست آورده‌اند [6,4]. نتایج عددی به‌دست‌آمده از حل جریان با زمان در مراجع بالا با نتایج حاصل از رابطه ارائه شده در این مقاله جهت بررسی کارکرد رابطه ارائه شده در پارکینگ‌های یک طبقه مقایسه شده است. هندسه پارکینگ مورد بررسی، شرایط عملکردی و میزان تعویض هوای پارکینگ یک طبقه مورد بررسی در مراجع [10,9] بیان شده و نتایج حاصل از حل عددی جریان هوا و آلودگی در این پارکینگ در مقاله‌های پیشین نویسندگان مقاله حاضر [6,4] بیان شده است. نتایج حاصل از مقایسه در شکل‌های 4 و 5 به ترتیب برای حالت تهویه عادی (ξ=1) و تهویه با خروجی‌های بهبود یافته (ξ=1.5) بیان شده است.

نتایج بیان شده در شکل 4 مربوط به حالت تهویه عادی پارکینگ بوده و نتایج بیان شده در شکل 5 مربوط به تهویه بهبود یافته است. غلظت میانگین آلاینده‌ها در دو حالت پایه و بهبود یافته به ترتیب برابر با 37 و 26.5 ppm است. همان‌گونه که در شکل‌های 4 و 5 مشاهده می‌شود رابطه ارائه شده در تخمین میزان غلظت آلاینده‌ها در پارکینگ‌های یک طبقه دارای دقت مناسبی است. با توجه به این‌که رابطه بیان شده در این مقاله تابع شکل پارکینگ نیست؛ بنابراین قابلیت استفاده برای پارکینگ‌های یک طبقه را دارد.

4- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله رابطه‌ای جهت محاسبه غلظت آلاینده در پارکینگ‌های بسته با استفاده از پارامترهای عملکردی بیان شده است. رابطه بالا توانایی تخمین میزان متوسط منوکسیدکربن در پارکینگ‌های بسته در بازه‌های زمانی مختلف را دارد. نتایج کاربردی حاصل از این مقاله به صورت زیر است.

- **پیشنهاد مدل افزایش غلظت آلاینده با زمان:** با استفاده از مدل بیان شده می‌توان با دقت مناسبی میزان آلاینده‌ها و غلظت متوسط آلاینده‌ها در پارکینگ‌های بسته طبقاتی را به‌دست آورد. مدل تحلیلی بیان شده دارای هم‌خوانی با فیزیک جریان آلودگی در پارکینگ‌های بسته است.
- **بهبود طراحی سیستم تهویه با استفاده از مدل ارائه شده:** میزان کاهش در غلظت آلاینده‌ها با استفاده از نزدیک کردن رژیم جریان به جریان جابه‌جایی با استفاده از مدل تحلیلی بیان شده قابل مشاهده است.
- **استفاده از مدل ارائه شده جهت بررسی کارآیی سیستم تهویه:** مدل ارائه شده دارای قابلیت بررسی میزان غلظت آلاینده با استفاده از کارآیی خروجی آلاینده است؛ بنابراین می‌تواند در کنار طراحی و شبیه‌سازی سیستم تهویه به‌عنوان راه‌کاری سریع جهت اعمال رژیم جریان مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

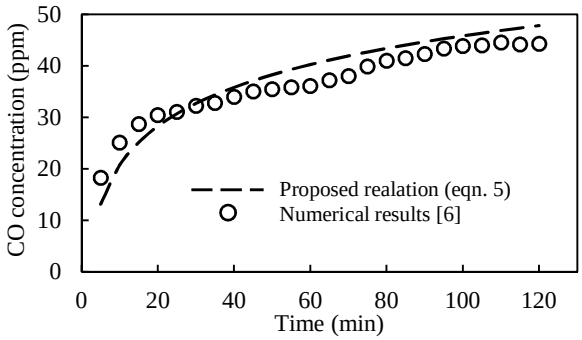

Fig. 4 Comparison of CO concentration results, normal ventilation

شکل 4 مقایسه غلظت آلاینده در پارکینگ یک طبقه، حالت تهویه عادی

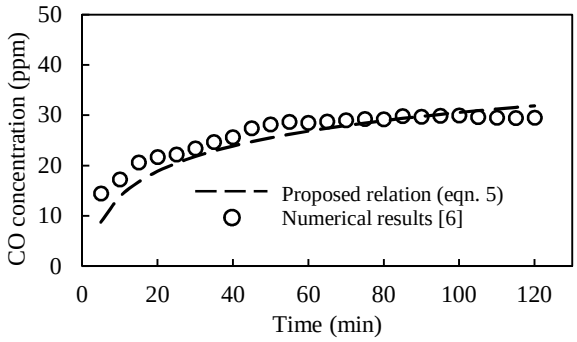

Fig. 5 Comparison of CO concentration results, enhanced ventilation

شکل 5 مقایسه غلظت آلاینده در پارکینگ یک طبقه، حالت تهویه بهبود یافته

5- فهرست علایم

ACH	تعداد تعویض هوا (hr^{-1})
C	غلظت منوکسیدکربن ($mg\ m^{-3}$)
C^*	غلظت منوکسیدکربن بی‌بعد
H	ارتفاع پارکینگ (m)
$\dot{m}$	دبی جرمی منوکسیدکربن (kgs^{-1})
n	تعداد ماشین‌های روشن
q	دبی حجمی (m^3s^{-1})
t	زمان (s)
t^*	زمان بی‌بعد
V	حجم پارکینگ (m^3)

علایم یونانی

ξ	کارآیی خروجی منوکسیدکربن

بالانویس‌ها

*	بی‌بعد

6- مراجع

[1] W. Chow, W. Fung, Survey on the indoor environment of enclosed car parks in Hong Kong, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 247-255, 1995.

[2] W. Chow, L. Wong, W. Fung, Field study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park, *Tunnelling and underground space technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 333-343, 1996.

[3] ASHRAE Handbook, HVAC Applications (SI), chapter 15: enclosed vehicular facilities, 2011.

[4] J, Amnian, M. Maerefat, Gh. Heidarinejad, Investigation on effect of exhaust vents location on reduction of pollution in enclosed car parks, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 70-80, 2016, (in Persian فارسی).

[5] M. Y. Chan, W. K. Chow, Car park ventilation system: Performance evaluation, *Building and Environment*, Vol. 39, No. 6, pp. 635-643, 2004.

[6] J, Amnian, M. Maerefat, Gh. Heidarinejad, Offering a method for reducing pollution and criterion for evaluation of ventilation flow in multilevel enclosed parking lots, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 285-296, 2016, (in Persian فارسی).

[7] British Standard, Components for smoke and heat control systems, Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks, BSI, 2006.

[8] L. R. J. Wissink, T. v. d. Wielen, M. Jansen, R. v. Beek, *Car Park Ventilation Manual*: NOVENCO, 2003.

[9] E. Asimakopoulou, D. I. Kolaitis, M. A. Founti, CO Dispersion in a Car-Repair Shop: An Experimental and CFD Modelling Study, *Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*, Melbourne, Australia, 2009.

[10] E. Asimakopoulou, D. I. Kolaitis, M. A. Founti, Experimental and Computational Investigation of CO Production and Dispersion in an Automotive Repair Shop, *Indoor and Built Environment*, Vol. 22, No. 5, pp. 750-765, 2013.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.11.38.1]