Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 38-41

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

بیان تجربی و عددی تغییرات غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع در پارکینگ‌های بسته

جواد امنیان[1]، مهدی معرفت[2*]، قاسم حیدری نژاد[2]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 143-14115، maerefat@modares.ac.ir

چکیده

تولید کیفیت هوای مناسب در پارکینگ‌های بسته یک چالش با اهمیت در تهویه فضاهای زیرزمینی است. استفاده از افزایش دبی هوای تهویه راهکار لازم برای افزایش کیفیت هوا بوده ولی کافی نیست. برطبق نظرات محققین، شرط لازم و کافی برای ایجاد کیفیت هوای مناسب در پارکینگ‌های بسته استفاده از دبی هوای تهویه لازم به همراه قرارگیری دریچه‌های خروجی آلاینده در ارتفاع مناسب است. برای بررسی ادعای فوق، در این مقاله تغییرات غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع‌های مختلف در یک نمونه پارکینگ بسته به‌دست آمده است. همچنین غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ فوق در ارتفاع‌های مختلف بصورت عددی و با استفاده از نرم‌افزار اپن‌فوم هم به‌دست آمده است. در اندازه‌گیری تجربی، غلظت منوکسیدکربن در چندین نقطه از پارکینگ بسته نمونه اندازه‌گیری شده است و سپس نتایج حاصل از آن با حل عددی مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده بیانگر همخوانی خوب حل عددی و نتایج اندازه‌گیری تجربی است. نتایج بیانگر این است که حداکثر غلظت منوکسیدکربن در پارکینگ بسته در ارتفاع بی‌بعد 0.6 تا 0.7 موجود است. از طرفی با استفاده از حل عددی، تغییرات غلظت منوکسیدکربن در سه نمونه پارکینگ بسته دیگر با نتایج این مقاله مقایسه شده و نتایج حاصل از آن‌ها هم بیانگر این است که حداکثر غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع بی‌بعد 0.6 تا 0.7 وجود دارد.

کلید واژگان: پارکینگ بسته، منوکسیدکربن، ارتفاع بی‌بعد، حل عددی، اندازه‌گیری تجربی

Experimental and numerical expression of CO concentration change with height in enclosed parking lots

Javad Amnian, Mehdi Maerefat*, Ghassem Heidarinejad

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

ABSTRACT

Providing adequate air quality is an important challenge in enclosed parking lots. Hence, increase of ventilation flow is necessary to improve air quality in these places but not sufficient. According to recent researches, the necessary and sufficient conditions for development of good air quality in enclosed parking lots are both adequate ventilation flow and enhancing the heights of exhaust vents. For investigating this claim, in this paper, the change of CO concentration with height in an enclosed parking lot was investigated both numerically and experimentally. The CO concentration in various heights is obtained numerically, using OpenFoam software, and compared with that of measured experimental data Good agreement between numerical and experimental results was obtained. The maximum CO concentration in studied parking lot was obtained within the non-dimensional height range of 0.60.7. Furthermore, the CO variation with height in three different enclosed parking lots was also studied and numerical and experimental results were compared. Based on the results, the maximum CO concentration was also occurred within the non- dimensional height range of 0.60.7.

Keywords: Enclosed parking lot, carbon monoxide, non- dimensional height, numerical solution, experimental measurement

1- مقدمه

پارکینگ‌های بسته از جمله مکان‌هایی هستند که قابلیت زیادی در تجمع آلودگی داشته و باید شرایط ایجاد کیفیت هوای مناسب در آن‌ها بررسی شود. شرایط کیفیت هوای مناسب در پارکینگ‌های بسته تنها با استفاده از برقراری جریان هوای تهویه ایجاد نخواهد شد [1]. بدین منظور علاوه بر جریان هوای تهویه کافی باید دریچه‌های ورودی هوای تمیز و دریچه‌های خروجی هوای آلوده در ارتفاع مناسب خود قرار گیرند [3,2]. به عبارتی تنها در صورتی که میزان هوای لازم با توجه به استاندارد [4] در پارکینگ برقرار بوده و دریچه-های ورودی هوای تمیز و خروجی هوای آلوده در ارتفاع مناسب خود قرار داشته باشند، کیفیت هوای مناسب در پارکینگ برقرار شده و منوکسیدکربن در حد مجاز خود قرار خواهد گرفت. جهت توجیه قرارگیری دریچه‌ها در ارتفاع مناسب باید تغییرات غلظت منوکسیدکربن در نقاط آلوده پارکینگ در ارتفاع‌های مختلف بررسی شود. این پارامتر کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مقاله ابتدا اندازه‌گیری منوکسیدکربن در چندین نقطه از یک پارکینگ بسته انجام شده و با نتایج حل عددی مقایسه شده است. سپس غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع‌های مختلف به روش عددی و اندازه‌گیری تجربی به‌دست آمده است. در انتها تغییرات میزان غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع در چندین پارکینگ یک طبقه و طبقاتی دیگر به‌دست آمده و محدوده-ای که در آن حداکثر غلظت منوکسیدکربن وجود دارد، معرفی شده است.

2- اندازه‌گیری سرعت هوا و غلظت منوکسیدکربن

در این پژوهش اندازه‌گیری تجربی میزان آلاینده در یک پارکینگ بسته انجام گرفته است. پارکینگ موردنظر یک پارکینگ بسته یک طبقه است که در

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
J.Amnian, M.Maerefat, Gh.Heidarinejad, Experimental and numerical expression of CO concentration change with height in enclosed parking lots, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 38-41, 2016 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

"شکل 1" نمایش داده شده است. پارکینگ فوق در سه بخش شمالی، جنوبی و شرقی دارای درب و پنجره ورودی بوده و دیواره غربی آن فاقد پنجره یا درب است. در زمان اندازه‌گیری انجام شده، هوا از درب‌ها و پنجره‌های شمالی و جنوبی وارد پارکینگ شده و از درب و پنجره موجود بر روی دیواره شرقی خارج می‌شود. در حالت اندازه‌گیری، 6 ماشین به صورت موجود در شکل در پارکینگ قرار گرفته و همگی روشن هستند. ارتفاع پارکینگ فوق 2.6 متر است. میزان سرعت هوای ورودی به پارکینگ با استفاده از سرعت سنج هوا و میزان آلودگی در نقاط مختلف پارکینگ به‌وسیله سنسور اندازه‌گیری منوکسیدکربن به‌دست آمده است. دستگاه اندازه‌گیری منوکسیدکربن در این مقاله یک هشدار دهنده گاز منوکسیدکربن است که تمام الزامات دو استاندارد مرتبط داخلی [5] و خارجی [6] را تامین می‌کند. حسگر گاز منوکسیدکربن در این دستگاه از نوع الکتروشیمیایی با الکترودهایی از جنس پلاتین و الکترولیتی از جنس آب مقطر است که دارای بالاترین دقت در بین سنسورهای اندازه‌گیری گازها می‌باشد. واکنش‌های صورت گرفته در الکترود و الکترولیت موجب ایجاد یک جریان الکتریکی بسیار ضعیف در مدار بین دو الکترود می‌شود که مبنای اندازه‌گیری غلظت گاز منوکسیدکربن در این حسگرها است. دستگاه اندازه‌گیری تا غلظت منوکسیدکربن 200 ppm دارای دقت ±3% است. دستگاه اندازه‌گیری سرعت (و دما) در پژوهش حاضر یک بادسنج الکترونیکی است که کاربرد آن اندازه‌گیری سرعت هوا در تجهیزات تهویه صنعتی است. اندازه‌گیری غلظت آلاینده در دو نقطه A و B مطابق با "شکل 2" و در ارتفاع‌های مختلف انجام گرفته است. دلیل اندازه‌گیری در نقاط فوق این است که میزان منوکسیدکربن در دو ناحیه با هوای راکد (نقطه A) و نزدیک به منابع آلودگی (نقطه B) انجام گیرد. اندازه‌گیری در یک بازه زمانی 30 دقیقه‌ای و با گام‌های زمانی 2 دقیقه‌ای انجام گرفته است. دلیل انتخاب بازه 30 دقیقه‌ای این است که میزان منوکسیدکربن در نقاط اندازه-گیری بعد از گذشت حدود 20 دقیقه دچار تغییرات شدید نشده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری تجربی، جهت مقایسه با حل عددی در بخش بعدی بیان شده است. با توجه به اندازه‌گیری انجام شده، میزان سرعت هوای ورودی از پنجره‌ها و درب‌های مختلف در جدول 1 بیان شده است. میزان دمای هوای ورودی به پارکینگ از درب‌های شمالی و جنوبی پارکینگ در روز اندازه‌گیری برابر با 32 ^{o}C بوده است. اندازه‌گیری سرعت هوا در دریچه‌های ورودی و خروجی پارکینگ در چندین نوبت انجام گرفته و مقادیر بیان شده میانگین اندازه‌گیری‌ها است.

3- صحت‌سنجی

جهت صحت‌سنجی حل عددی از هندسه "شکل 1" استفاده شده است. معادلات حاکم بر مسئله شامل معادلات بقای جرم، مومنتوم، انرژی محسوس و گونه آلودگی است که به همراه مدل آشفتگی RANS حل شده‌اند. جهت حل معادلات حاکم بر مسئله در فضای پارکینگ نیاز به شرایط مرزی مناسب می‌باشد. شرایط مرزی در پارکینگ شامل، دیواره‌ها، ورودی‌ها، خروجی‌ها و اگزوز ماشین‌ها بوده و به‌صورت زیر است.

- بر روی دیواره‌ها شرط مرزی عدم لغزش برقرار بوده و دمای دیواره‌ها 30 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در زمان 0، آلودگی در پارکینگ وجود نداشته و فقط هوا با دمای محیط در آن موجود است.
- ورودی‌ها شرط مرزی سرعت ورودی داشته و مقدار سرعت گذرنده از آن‌ها با توجه به میزان دبی هوای ورودی به اتاق تعیین شده است.
- شرط مرزی مورد استفاده در خروجی‌ها، دبی جریان است.
- منابع آلودگی به‌صورت شرط مرزی ورودی جریان جرمی[1] با دبی مشخص منوکسیدکربن در نظر گرفته شده‌اند. میزان دبی منوکسیدکربن ورودی به پارکینگ با توجه به [4] و میزان دمای منوکسیدکربن با توجه به [7] انتخاب شده است.

بررسی استقلال حل از اندازه‌ی شبکه محاسباتی برای هندسه "شکل 1" انجام گرفته است. تعداد گره‌هایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند

جدول 1 ابعاد و سرعت پنجره‌ها و درب‌ها

Table 1 Dimension of windows and doors

درب یا دریچه	ابعاد (m^2)	سرعت (m/s)
W1	3.2×1.3	1.5
W2	4.2×1.3	1.5
W3	4.2×1.3	2
W4& W5	1.3×1.3	2
D1	1.3×2.6	0.9
D2	2.9×3	1.1
D3	6×2.6	0.4

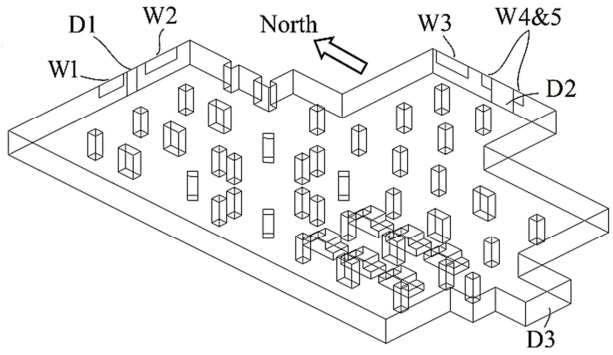

Fig. 1 Geometry of parking lot

شکل 1 هندسه پارکینگ مورد بررسی

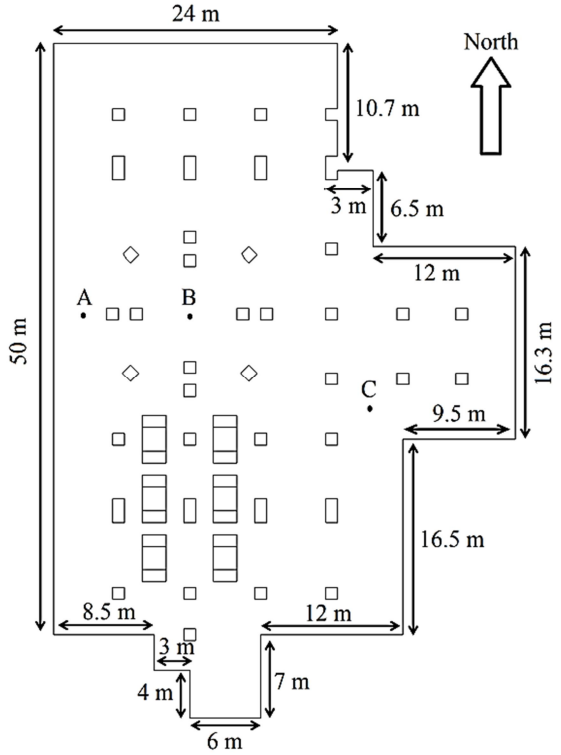

Fig. 2 Parking lot dimensions and CO measurement positions

شکل 2 ابعاد پارکینگ و موقعیت نقاط اندازه‌گیری منوکسیدکربن

[1] Mass flow inlet

www.SID.ir

Archive of SID

600,000، 830,000، 1,011,000، 1,130,000 و 1,422,000 گره بوده است. تغییرات سرعت در نقطه C در این حالت در "شکل 3" بیان شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نمودار تغییرات سرعت در دو حالت با 1,130,000 و 1,422,000 گره تقریبا یکسان بوده و تعداد گره کمتر انتخاب شده است.

3-1- مقایسه حل عددی و نتایج تجربی

حل عددی جریان هوا و آلودگی در پارکینگ "شکل 1" با استفاده از معادلات حاکم و شرایط مرزی گفته شده انجام گرفته و نتایج آن با نتایج حاصل از اندازه‌گیری تجربی در نقاط A و B مقایسه شده است (شکل‌های 4 و 5). در حالت اندازه‌گیری تجربی، میزان منوکسیدکربن خروجی از اگزوز ماشین‌ها به دلیل استارت سرد در 4 دقیقه ابتدایی متفاوت از بقیه زمان‌ها بوده [8] و این تفاوت در شبیه‌سازی عددی در نظر گرفته شده است. بدین منظور، در شبیه‌سازی عددی مقدار منوکسیدکربن خروجی از اگزوز ماشین‌ها به‌صورت متغیر با زمان و مطابق با دو حالت استارت سرد و استارت گرم بیان شده در اشری [4] در نظر گرفته شده است. دستگاه اندازه‌گیری منوکسیدکربن استفاده شده در این اندازه‌گیری سنسور منوکسیدکربن مدل GS808 با باتری و صفحه دیجیتال و ساخت شرکت SafeHome است. محدوده کارکرد سنسور منوکسیدکربن بین 20 تا 999 ppm بوده و تا غلظت منوکسیدکربن 200 ppm دارای دقت ±3% است. همچنین دستگاه در محدوده دمایی 4 تا 38 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 25 تا 85% قابلیت قابلیت کارکرد دارد. مقایسه نتایج حاصل از حل عددی جریان هوا و آلودگی در "شکل‌های 4 و 5" بیانگر دقت خوب حل عددی است. نتایج حاصل از حل عددی از نظر رفتار و مقدار با نتایج حاصل از اندازه‌گیری تجربی همخوانی دارند. دلایل تفاوت بین نتایج حاصل از حل عددی و اندازه‌گیری تجربی را می‌توان به عدم تخمین دقیق میزان آلاینده خروجی از اگزوز ماشین توسط استاندارد در حالت استارت سرد ماشین و دقت مدل آشفتگی RANS نسبت داد. البته دقت مدل فوق برای شبیه‌سازی جریان در پارکینگ‌های بسته کافی است [10,9].

4- تغییرات غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع

جهت بررسی تغییرات غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع، از ارتفاع بی‌بعد اندازه‌گیری استفاده شده است. بدین منظور مقدار ارتفاع اندازه‌گیری منوکسیدکربن بر ارتفاع سقف تقسیم شده و ارتفاع بی‌بعد به‌دست آمده است ($H_{ND} = h/H$). نتایج حاصل از این اندازه‌گیری و مقایسه با نتایج حل عددی در "شکل 6" نمایش داده شده است. جهت به‌دست آوردن این شکل، اندازه‌گیری و محاسبه عددی غلظت منوکسیدکربن در بازه ارتفاع تنفسی انسان (بین 1 تا 2 متر) انجام گرفته است. لازم به‌ذکر است که اندازه‌گیری و محاسبه عددی غلظت منوکسیدکربن در سه نقطه A، B و C مطابق با "شکل 2" انجام گرفته و غلظت منوکسیدکربن بیان شده در "شکل 6" در حقیقت میانگین غلظت منوکسیدکربن در سه نقطه فوق می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حداکثر غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع بی‌بعد 0.6 تا 0.8 بدست آمده است. دلیل این امر را می‌توان به تجمع منوکسیدکربن موجود در پارکینگ در زیر سقف مرتبط دانست. به عبارتی، منوکسیدکربن پس از خروج از اگزوز ماشین به‌دلیل کاهش چگالی به‌سمت ارتفاع‌های بالاتر حرکت می‌کند. بنابراین محل تجمع منوکسیدکربن در بالاترین ارتفاع سقف پارکینگ بوده و با توجه به این‌که تجمع آن در ارتفاع تنفسی انسان با اهمیت است، باید مورد توجه قرار گیرد.

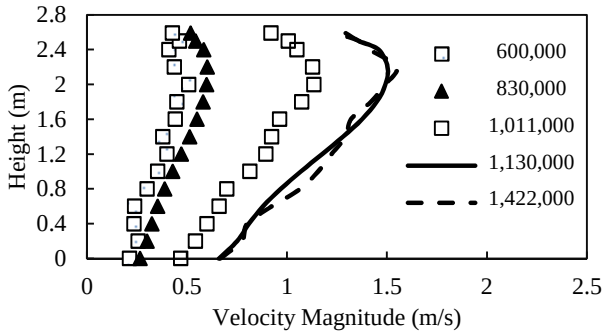

Fig. 3 The grid independency diagram in point C

شکل 3 بررسی استقلال حل از اندازه شبکه در نقطه C

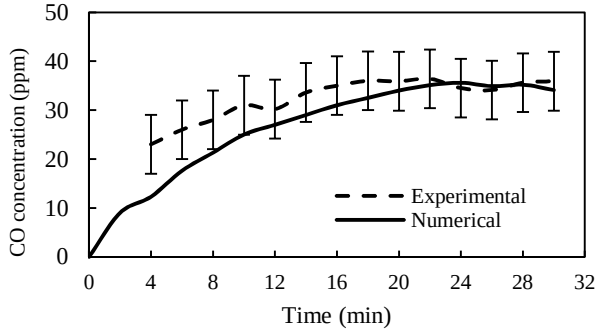

Fig. 4 Variation of CO concentration with time in point A

شکل 4 تغییرات غلظت منوکسیدکربن با زمان در نقطه A

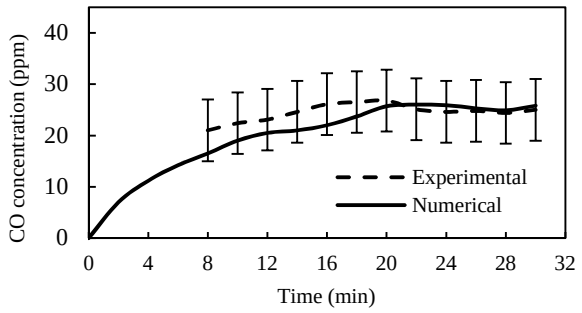

Fig. 5 Variation of CO concentration with time in point B

شکل 5 تغییرات غلظت منوکسیدکربن با زمان در نقطه B

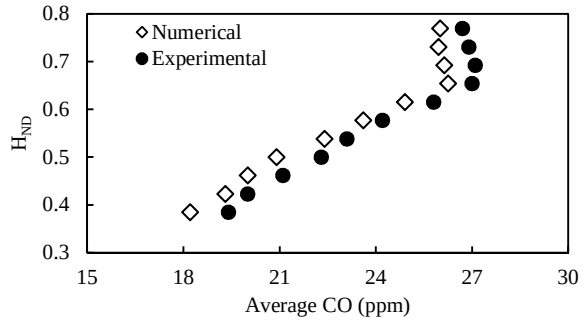

Fig. 6 Variation of CO concentration in different heights

شکل 6 تغییرات غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع‌های مختلف

4-1- تغییرات غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع در پارکینگ‌های بسته یک طبقه و طبقاتی

نویسندگان مقاله حاضر میزان غلظت منوکسیدکربن را در چند نمونه پارکینگ یک طبقه [3] و طبقاتی [2] با استفاده از حل عددی بدست آورده‌اند. با توجه به این‌که در مقاله حاضر، میزان غلظت منوکسیدکربن در

www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاع‌های مختلف از پارکینگ و در نقاط دارای بیشترین آلودگی به‌دست آمده است، نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین انجام شده هم مرور شده است تا اثباتی بر روند موجود در مقاله حاضر باشد.

پارکینگ موجود در مرجع [3] یک پارکینگ یک طبقه با دو حالت تهویه عادی و تهویه با خروجی‌های بهبود یافته است. تغییرات غلظت منوکسیدکربن با ارتفاع در این پارکینگ در "شکل 7" نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع بی‌بعد 0.65 دارای بیشترین مقدار خود بوده و در نتیجه رفتار منوکسیدکربن در این پارکینگ همانند رفتار منوکسیدکربن در مقاله حاضر می‌باشد.

دو نمونه از پارکینگ‌های طبقاتی متداول در مرجع [2] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تغییرات غلظت میانگین منوکسیدکربن با ارتفاع در این پارکینگ‌ها بدست آمده و در "شکل 8" نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، حداکثر غلظت منوکسیدکربن برای دو پارکینگ فوق در بازه ارتفاع بی‌بعد 0.55 تا 0.8 به‌دست آمده است. بنابراین میزان غلظت متوسط منوکسیدکربن در این نوع از پارکینگ‌ها هم در بازه‌ی ارتفاعی 0.6 تا 0.8 دارای بیشترین مقدار خود بوده و در نتیجه می‌توان این بازه را به‌عنوان یک نتیجه کلی مد نظر قرار داد.

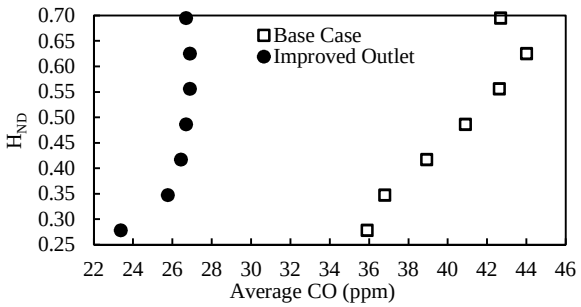

Fig. 7 CO concentration versus non-dimensional height in one level parking lot [3]

شکل 7 غلظت منوکسیدکربن برحسب ارتفاع بی‌بعد در پارکینگ یک طبقه [3]

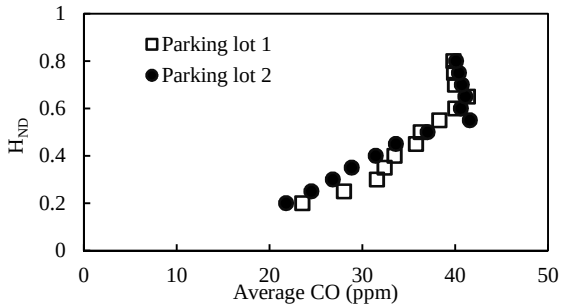

Fig. 8 CO concentration versus non-dimensional height in multilevel parking lots] 2[

شکل 8 غلظت منوکسیدکربن برحسب ارتفاع بی‌بعد در پارکینگ‌های طبقاتی [2]

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله اندازه‌گیری تجربی غلظت منوکسیدکربن در یک نمونه پارکینگ بسته انجام شده و با حل عددی مقایسه شده است. نتایج حاصل از حل عددی و اندازه‌گیری تجربی دارای همخوانی خوبی هستند. در ادامه میزان غلظت منوکسیدکربن در ارتفاع‌های مختلف پارکینگ به روش عددی و تجربی به‌دست آمده و مقایسه شده است. نتایج بیانگر این است که حداکثر غلظت منوکسیدکربن در بازه ارتفاع بی‌بعد 0.6 تا 0.8 موجود است. نتایج حاصل از دیگر پارکینگ‌های یک طبقه و طبقاتی هم بیانگر وجود حداکثر غلظت منوکسیدکربن در بازه فوق است.

6- فهرست علایم

h	ارتفاع اندازه‌گیری (m)
H	ارتفاع سقف (m)
H_{ND}	ارتفاع بی‌بعد اندازه‌گیری

7- مراجع

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

[2] 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).

[3] 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).

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

[5] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises, Part 1: Test methods and performance requirements, ICS:29.020, ISIRI 13172-1, 1st.edition, (in Persian فارسی).

[6] BRITISH STANDARD, Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises-Test methods and performance requirements, BS EN 50291, 2001.

[7] M. Ehsan, M. Shah, M. Hasan, S. Hasan, Study of Temperature Profile in automotive exhaust systems for retrofitting catalytic converters, *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ICME2005)*, Dhaka, Bangeladesh, December 28-30, 2005.

[8] Australian Standard, The use of ventilation and airconditioning in buildings, Part 2: Mechanical ventilation in buildings, 2012.

[9] 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.

[10] B. Blocken, Y. Tominaga, T. Stathopoulos, CFD simulation of micro-scale pollutant dispersion in the built environment, *Building and Environment*, Vol. 64, No. 0, pp. 225-230, 2013.

www.SID.ir