Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-058

شبیه‌سازی عددی اثر شکل نقاط ورودی هوای تازه بر تهویه در پارکینگ بسته

جواد امنیان، دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس؛ Javad.amnian@modares.ac.ir
مهدی معرفت، دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس؛ Maerefat@modares.ac.ir
قاسم حیدری نژاد، استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس؛ Gheidari@modares.ac.ir

چکیده

این مقاله به تهویه و پخش هوا در پارکینگ‌های بسته با توجه به رویکردهای بیان شده در استانداردها می‌پردازد. منوکسیدکربن اصلی‌ترین آلاینده موجود در پارکینگ‌ها بوده و رویکرد طراحی، تامین میزان هوای لازم جهت نگه‌داشتن این آلاینده در حد مجاز می‌باشد. برای تامین کیفیت مناسب هوا باید شکل نقاط ورودی هوای تمیز به گونه‌ای باشد که باعث پخش مناسب جریان هوا در پارکینگ شود. در این مقاله شبیه‌سازی عددی پخش هوا و آلودگی در یک پارکینگ بسته با استفاده از حل همزمان معادلات بقا انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از شکل دایروی برای نقاط ورودی هوای تمیز به پارکینگ، میزان تمرکز آلودگی در بعضی از نقاط پارکینگ بیش از حد مجاز می‌باشد. جهت کاهش تمرکز آلاینده در پارکینگ از ورودی‌های هوای تمیز مستطیل شکل استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی پخش آلودگی و جریان هوا در پارکینگ با استفاده از ورودی‌های مستطیل شکل بیانگر این است که استفاده از این شکل نقاط ورودی هوای تمیز،موجبکاهش غلظت آلاینده در قسمت‌های مختلف پارکینگ می‌شود.

کلمات کلیدی: پارکینگ بسته، آلاینده، مقررات و استانداردها، هوای تهویه، شکل نقاط ورودی هوای تمیز، حل عددی آلودگی

مقدمه

محیط‌های بسته همچون پارکینگ‌ها محل مناسبی جهت تمرکز و تجمع آلاینده‌ها می‌باشند. نداشتن راه خروجی کافی جهت هدایت گازهای سمی متصاعد شده از موتور ماشین‌ها عامل اصلی این پدیده می‌باشد. افرادی که در این فضاهای بسته حضور دارند و همچنین رانندگان ماشین‌ها در معرض این گازهای سمی می‌باشند. منوکسیدکربن بزرگترین و خطرناک‌ترین منبع آلودگی در محیط‌های بسته می‌باشد[۱]. در پارکینگ‌های بسته اکسیژن کافی در دسترس نیست و به همین دلیل احتراق به خوبی در ماشین اتفاق نمی‌افتد. نبود اکسیژن کافی باعث می‌شود در محصولات احتراق به جای دی‌اکسیدکربن، منوکسیدکربن موجود باشد. منوکسیدکربن تولید شده وارد هوای موجود در فضای پارکینگ شده و به همراه آن وارد سیستم تنفسی انسان می‌شود. ذرات منوکسید هموگلوبین موجود در خون انسان را احاطه کرده و مانع از اکسیژن رسانی به قسمت‌های مختلف بدن می‌شوند. کمبود اکسیژن بر روی سیستم‌های عصبی و فیزیولوژیکی انسان تاثیر منفی گذاشته و با گذر زمان باعث سردرد و از بین رفتن علائم حیاتی می‌شود. به همین دلیل در مکان‌هایی که انسان رفت و آمد دارد، باید میزان آلاینده‌ها از حد خاصی تجاوز نکند. با توجه به این موضوع، استانداردها و کدهای بین-المللی و محلی با توجه به موقعیت شهرها و نوع آب و هوای آن محدوده‌های خاص و بعضاً متفاوتی را برای میزان مجاز آلودگی و به خصوص پیشنهاد داده‌اند. برای تامین مقادیر حد مجاز آلودگی موجود در استانداردها باید از تهویه استفاده شود.

آلاینده‌های پارکینگ

آلاینده‌های موجود در هوا به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های طبیعی نتیجه فعالیت طبیعی محیط و آلاینده‌های مصنوعی نتیجه‌ی تاثیر انسان بر محیط می‌باشد. از جمله بزرگترین آلاینده‌های مصنوعی می‌توان آلاینده‌های صنعتی را نام برد. در موضوع پژوهش حاضر، دود حاصل از کارکرد ماشین یک نوع بسیار خطرناک از آلاینده‌های صنعتی می‌باشد. ماشین‌ها در پارکینگ معمولاً دو اثر می‌گذارند. یکی نشر منوکسیدکربن و خطرات ناشی از آن و دیگری روغن و بخارات بنزین که باعث سردرد و تهوع می‌شود و خطر آتش‌سوزی هم دارند. دیگر مشکلات هم پخش اکسیدهای نیتروژن و دود ناشی از موتورهای دیزلی می‌باشند. بنابراین برای جلوگیری از خطرات استنشاق گازهای سمی، باید تهویه در پارکینگ برقرار باشد تا مقدار آلاینده‌ها از حد مجاز فراتر نرود. وجود مقدار فراوانی از منوکسیدکربن در گازهای خروجی از اگزوز ماشین اهمیت موضوع تهویه را برای این آلاینده بیشتر می‌کند. بر طبق استاندارد اشری، کاهش تمرکز اکسیژن به کمتر از ۱۲٪ و افزایش کربن و مشتقات آن به بیش از ۵٪ در فشار محیط، حتی در مدت زمانهای کم خطرناک است [۲].تمرکز منوکسیدکربن در هوای پارکینگ تابعی از تمرکز در هوای خارج، منابع داخلی، نشت منوکسید به هوای داخل و تهویه و ترکیب شدن هوا با دیگر آلاینده‌ها می‌باشد. با استفاده از مدلسازی مناسب پخش منوکسیدکربن در یک هندسه مشخص می‌توان مطالعه خوبی از نحوه پخش آن در فضا و مکان‌های احتمالی تمرکز بدست آورد.

رویکرد استانداردها به تهویه در پارکینگ های بسته

مقررات ملی ساختمان پارکینگ‌ها را به سه دسته کوچک (ظرفیت حداکثر ۳ ماشین)، متوسط (ظرفیت ۴ تا ۲۵ ماشین) و بزرگ (بیش از ۲۵ ماشین) تقسیم بندی می‌کند. همچنین در مبحث ۱۴ از مقررات ملی ساختمان تصریح شده است که پارکینگ‌ها به دو دسته عمومی و خصوصی تقسیم بندی شده و پارکینگ‌های عمومی نیاز به سیستم تهویه مکانیکی دارند. در پارکینگ‌های بسته و عمومی استفاده از تهویه مکانیکی برای نگه داشتن میزان منوکسیدکربن در حد ۲۵ppm[1] لازم می‌باشد [۳]. البته در صورتی که فضا یا مجموعه‌ای از فضاها دارای آلاینده خاصی باشد و در حالتی که بیش از ۵۰٪ اوقات میزان آلودگی هوا کمتر از ۵۰٪ آلودگی متعارف باشد،

[1] Particle Per Million

www.Hvacconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID

دبی تهویه باید قابلیت کم‌شدن تا ۵۰٪ دبی متعارف را داشته باشد [۴]. تهویه مکانیکی می‌تواند شامل تجهیزاتی همچون فن‌های دمش هوای تمیز و مکش هوای آلوده و فن‌های جابجایی هوا باشد. فن‌های جابجایی هوا، فن-هایی هستند که در قسمتهای مختلف از فضای داخلی پارکینگ قرار گرفته و در صورت نیاز با کارکرد خود باعث حرکت جریان آلودگی به سمت نقاط استخراج می‌شوند.

برای سالهای زیادی استاندارد اشری[1][۱] و روش موجود در آن نرخ هوای ورودی به پارکینگ بسته را ۷/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر متر مربع از مساحت کف پارکینگ یا ۶ تعویض هوا پیشنهاد می‌کردند. استانداردها و کشورهای مختلف میزان منوکسیدکربن مجاز را بر اساس محاسبات خود و متوسط زمانی اعلام می‌کنند. متوسط زمانی در استاندارد بدین صورت تعریف می‌شود [۱]: "میزان متوسط غلظت مجاز ماده شیمیایی که در مدت زمان معین (۱ یا ۸ساعت) عارضه نامطلوب بر فرد در تماس با آلودگی نگذارد". در استاندارد اوشا[2] میزان متوسط ۳۵ppm در هشت ساعت به عنوان حد مجاز منوکسیدکربن شناخته می‌شود[۱]. همچنین در استاندارد اشری میزان ۳۵ppm آلودگی به عنوان حد مجاز در یک ساعت معرفی شده است. در مقررات ملی ساختمان حداکثر مجاز آلودگی برای یک ساعت برابر با ۲۵ppm بیان شده است. مقدار هوای مورد نیاز تهویه‌ی بیان شده توسط اشری برای تامین حد مجاز آلاینده‌ها در پارکینگ، تقریباً می‌تواند همه‌ی استانداردهای موجود را ارضا نماید. بنابراین ۷/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر متر مربع از مساحت کف پارکینگ را می‌توان به عنوان میزان هوای تهویه لازم در پارکینگ‌های بسته به کار برد.

طراحی میزان هوای تهویه در پارکینگ‌های بسته

همانگونه که در بخش قبلی بیان شد، رویکرد استاندارد به میزان هوای تهویه در پارکینگ‌ها بدون توجه به کارکرد پارکینگ و دیگر عوامل موجود در آن می‌باشد. برای محاسبه میزان هوای تهویه در پارکینگ باید عواملی که اثر منفی بر جریان تهویه می‌گذارند شناسایی شوند. بعضی از پارامترها باعث انسداد جریان هوا در پارکینگ می‌شوند. دیواره‌های اطراف ساختمان، دیواره‌های داخلی، وسایل نقلیه پارک‌شده، مسیرهای دسترسی عابرین، پله-ها و آسانسورها از جمله این پارامترها هستند. با توجه به طراحی ساختمان پارکینگ، این پارامترها قادر به تاثیر بر الگوی حرکت جریان و در نتیجه توزیع منوکسیدکربن می‌باشند. به منظور تعیین میزان انتشار منوکسیدکربن باید تعداد ماشین‌هایی که در هر زمان در حال حرکت در پارکینگ هستند مشخص شود. بعد از تعیین اینکه چه تعداد ماشین در حال حرکت در پارکینگ هستند نوع و مدت حرکت اتومبیل بدست می‌آید. توزیع ماشین-های روشن در پارکینگ می‌تواند تعیین‌کننده‌ی محل آلودگی‌ها باشد. در صورتی که اطلاعات کافی در دسترس نباشد می‌توان از فرض کرد که آلودگی‌ها به طور یکنواخت در فضای پارکینگ پخش شده‌اند. نوع سوخت و سن وسیله نقلیه تعیین‌کننده‌ی ترکیب آلودگی‌ها می‌باشد. مقدار منوکسیدکربن هم بستگی به این دارد که موتور وسیله نقلیه گرم است یا سرد. به عنوان مثال میزان منوکسیدکربن تولیدی از یک موتور گرم بنزینی ۴۶/۲۲ میلی‌گرم بر ثانیه و برای همان موتور در حالت سرد ۱۳۶/۱۵ میلی-گرم بر ثانیه می‌باشد[۵].مدت زمانی که افراد در معرض پرتوگیری[3] قرار می‌گیرند هم پارامتری است که باید تعیین شود.

برای محاسبه میزان هوای تهویه می‌توان از چندین روش استفاده کرد. در روش اول که یک روش سردستی برای محاسبات میزان هوای تهویه است تنها با استفاده از حجم پارکینگ و تعداد تعویض هوای مجاز، مقدار هوای تهویه بدست می‌آید.

$$q = nV \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی فوق n تعداد تعویض هوا در ساعت، Vحجم پارکینگ و qمقدار هوای تهویه بر حسب متر مکعب بر ساعت می‌باشد. این روش در حقیقت استفاده از تعداد تعویض هوای مورد اشاره در استانداردها برای تامین هوای تازه می‌باشد و در آن اثرات بسیاری نادیده گرفته شده است.

روش دوم برای محاسبه میزان هوای تهویه، استفاده از میزان منوکسیدکربن تولید شده در فضای پارکینگ می‌باشد. در این روش با استفاده از پارامترهایی همچون میزان نشر منوکسیدکربن، ظرفیت پارکینگ، تعداد ماشین‌های در حال حرکت در پارکینگ، طول متوسط حرکت ماشین در پارکینگ و نوع کاربری پارکینگ، مقدار هوای لازم جهت تهویه محاسبه می‌شود. در این روش مقدار منوکسیدکربن تولیدی با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

$$q_{CO} = (20 + 0.1L_1)c_1 + 0.1c_2L_2 \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی فوق پارامترهای L_1، c_1، L_2، c_2و q_{CO}به ترتیب بیانگر متوسط طول مسیر حرکت ماشینها در پارکینگ (متر)، ظرفیت تعداد ماشین ها در پارکینگ، متوسط طول مسیر ماشینهای در حال حرکت در پارکینگ (متر)، تعداد ماشینهای در حال حرکت در پارکینگ و میزان انتشار منوکسیدکربن (مترمکعب بر ساعت) می‌باشند. پس از بدست آوردن میزان انتشار منوکسیدکربن در پارکینگ با استفاده از رابطه‌ی زیر مقدار هوای لازم جهت تهویه پارکینگ بدست می‌آید.

$$q = kq_{CO} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی ۳ پارامترهای kو qبه ترتیب بیانگر ضریب کاربری و مقدار هوای لازم جهت تهویه پارکینگ (مترمکعب بر ساعت) می‌باشند. مقدار ضریب کاربری برای زمانی که حضور افراد در پارکینگ به طور موقت است برابر با ۲ و برای زمانی که حضور افراد در پارکینگ به صورت دائم است (همانند پارکینگ‌های تعمیرگاهی) برابر با ۴ می‌باشد.

روش سوم استفاده از روش اشری برای تامین هوای تازهمی‌باشد. با توجه به گزارش تصحیحی استاندارد اشری، استفاده از یک مقدار ثابت برای دمش هوا به فضای داخلی پارکینگ، به لحاظ مصرف انرژی مناسب نمی‌باشد[۶]. روش مناسب‌تر این است که با توجه به تاثیر پارامترهایی همانند تعداد ماشین‌های روشن، نرخ آلودگی هر ماشین، دوره حرکت ماشین در پارکینگ، تعداد اتومبیل‌های در حال حرکت، سرعت اتومبیل‌های در حال حرکت و هندسه پارکینگ بتوان نرخ هوای مورد نیاز جهت تهویه پارکینگ را تعیین کرد. بدین منظور اشیروشی تحلیلی ارائه کرده است [۱]. روش اشری برای تعیین نرخ تهویه لازم برای پارکینگ‌های بسته بدین صورت می‌باشد که با استفاده از رابطه‌ی بین تعداد ماشین‌ها، نرخ انتشار آلاینده از ماشین‌ها و سطح پارکینگ، بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد در پارکینگ را با توجه به رابطه‌ی زیر بدست می‌آورد:

$$f = \frac{N \cdot E/A}{E_0} \times 100 \qquad (۴)$$

در رابطه‌ی فوق پارامترهای N، E، A، E_0و fبه ترتیب بیانگر تعداد ماشین‌ها، نرخ انتشار آلاینده از ماشین، مساحت کف پارکینگ، بیشترین میزان انتشار آلاینده از ماشین (که معمولاً در استارت سرد ماشین در زمستان اتفاق افتاده و برابر با ۲۶/۸ گرم بر ساعت به ازای هر متر مربع از مساحت

[1] ASHRAE
[2] NIOSH/OSHA
[3] Exposure

www.SID.ir

Archive of SID

پارکینگ) و بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد می‌باشند. پس از بدست آوردن بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد، میزان هوای تهویه لازم برای تامین حد مجاز آلاینده‌ها با استفاده از رابطه‌ی ۵ بدست می‌آید.

$$q = Cft \qquad (۵)$$

در رابطه‌ی ۵ پارامتر T بیانگر مقدار زمان متوسط حرکت ماشین در پارکینگ بر حسب ثانیه بوده و پارامتر Cهم مقدار ثابتی است که وابسته به حد مجاز آلاینده در پارکینگ می‌باشد. در صورتی که حد مجاز آلاینده در پارکینگ ۲۵ و ۳۵ppm باشد، مقدار پارامتر Cبه ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۶۹۲ و ۰/۰۰۰۴۸۲ L/m^2s^2 خواهد بود. با استفاده از رابطه‌ی ۵ می‌توان به مقادیر هوای تهویه کمتر از ۷/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر متر مربع از مساحت کف پارکینگ دست یافت. روش فوق در حقیقت اصلاحیه‌ای بر قوانین قبلی می‌باشد. استفاده از این روش باعث می‌شود میزان هوای تهویه کاهش یابد که در مصرف انرژی تاثیرگذار است.

لوپز و همکاران میزان هوای لازم برای رقیق کردن منوکسیدکربن موجود در پارکینگ را با استفاده از بالانس منوکسیدکربن ورودی و خروجی به پارکینگ بدست آورده‌اند. پژوهش لوپز و همکاران[۷] در حقیقت کامل‌کننده پژوهش انجام شده توسط اشری[۱] می‌باشد. لوپز و همکاران علاوه بر پارامترهای در نظر گرفته شده توسط اشری، پارامترهایی همچون نوع مصرف پارکینگ، میزان متوسط نرخ انتشار منوکسیدکربن در زمان گرم‌شدن ماشین، گرادیان مسیر حرکت ماشین، سرعت ماشین، ارتفاع از سطح دریا، تعداد ماشین‌های در حال کارکرد و مدت کارکرد ماشین را هم در نظر گرفتند. نتایج پژوهش فوق کاملاً بر اساس داده‌های آماری بدست آمده است. روش طراحی لوپز و همکاران بدین صورت است که در ابتدا میزان هوای تهویه را بر پایه رقیق کردن منوکسیدکربن بدست آورده‌اند. مقدار منوکسیدکربن خارج شده از پارکینگ باید برابر با جمع مقدار منوکسید منتشر شده توسط موتور ماشین به اضافه مقدار منوکسیدکربن موجود در هوای ورودی می‌باشد. مقدار به دست آمده با این روش نیاز به تصحیح دارد. لوپز و همکاران اثر سرعت، ارتفاع و شیب محل را هم به عنوان ضرایب تصحیح وارد معادلات خود کرده‌اند. با این فرض، رابطه دبی هوای ورودی به پارکینگ به صورت زیر بدست آمده است:

$$q = \frac{10^6}{3600} \times \frac{Q_{bCO} \times f_p \times f_h \times f_v}{C_{adm} - C_{ae}} \times n \times t \times \frac{1}{A} \qquad (۶)$$

در رابطه ۶، ضرایب گرادیان مسیر (f_p)، گرادیان ارتفاع (f_h) و گرادیان سرعت (f_v) با استفاده از روابط تجربی بدست آمده است. با استفاده از رابطه ۱۰ میزان هوای تهویه در یک پارکینگ نمونه در مقایسه با استاندارد واحد اروپا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد[۷].

پخش آلاینده‌ها و مقابله با آن در پارکینگ

افزایش تمرکز آلاینده در قسمت‌های مختلف پارکینگ، انباشتگی نامیده می‌شود. یکی از مشکلات اساسی که ناشی از انباشتگی بوده و بر پخش جریان آلودگی در پارکینگ اثرگذار است، انباشتگی در مسیر جریان به سمت نقاط استخراج می‌باشد. چان و چو [۸] میزان تمرکز منوکسیدکربن (به عنوان یکی از آلاینده‌ها) را در محل نقاط استخراج هوای آلوده اندازه‌گیری کرده‌اند. نتایج اندازه‌گیری و آزمایش‌های آنها بیانگر این نکته است که اگر چه جریان هوای آلوده با استفاده از کارکرد سیستم تهویه در نهایت به سمت نقاط استخراج می‌رود، ولی حرکت ترکیب هوا و منوکسید به این سمت باعث ایجاد حجم بزرگی از هوای آلوده (که بیشتر از ظرفیت خروجی‌ها می‌باشد) شده و این حجم هوای آلوده همچون مقاومتی در برابر نقاط استخراج عمل می‌کند. این حجم بزرگ از هوای آلوده، عاملی بازدارنده و منحرف کننده برای جریان هوا است. چان و چو برای بررسی انباشتگی منوکسیدکربن و کیفیت هوای پارکینگ پارامتر کارآیی خروج منوکسیدکربن را تعریف کرده‌اند. کارآیی خروج آلاینده به صورت نسبت متوسط تمرکز منوکسیدکربن در نقاط استخراج پارکینگ به متوسط تمرکز منوکسیدکربن در فضای داخلی پارکینگ تعریف می‌شود. مقدار متوسط تمرکز منوکسیدکربن در قسمتهای مختلف پارکینگ با استفاده از داده‌برداری در بازه‌های زمانی مختلف در چندین موقعیت بدست آمده و سپس از این مقادیر متوسط گیری می‌شود.

$$\xi = \frac{C_{exit}}{C_{average}} \qquad (۷)$$

کارآیی خروج منوکسید وابسته به هر دو مشخصه‌ی جریان و پخش منوکسید می‌باشد[۹]. جریان تهویه در پارکینگ می‌تواند باعث بوجود آمدن میزان تمرکز مختلفی از منوکسید شود که در سه دسته قرار می‌گیرند:

۱- در صورتی که جریان هوای ورودی و منوکسیدکربن موجود در پارکینگ به طور مناسبی با هم ترکیب شوند، در همه‌ی فضاهای پارکینگ ترکیب یکسانی از منوکسیدکربن و هوا ایجاد می‌شود. در این حالت ضریب کارآیی خروج منوکسید برابر با واحد خواهد بود.

۲- در صورتی که هوای ورودی به پارکینگ به خوبی با منوکسیدکربن ترکیب نشده و بدون رقیق‌سازی منوکسید از خروجی‌ها بیرون برود، در این حالت اتصال کوتاه اتفاق افتاده و بدلیل عدم ترکیب مناسب هوا و منوکسید کربن، غلظت آن در نقاط استخراج پارکینگ کمتر از ورود به پارکینگ خواهد بود و بنابر تعریف، میزان کارآیی خروج منوکسید کمتر از واحد خواهد شد.

۳- حالت سوم هم حالتی است که اثر پیستونی در پارکینگ رخ دهد. در این حالت جریان هوا به خوبی آلودگی را به سمت نقاط استخراج هدایت کرده و بنابراین میزان غلظت منوکسید کربن در نقاط استخراج از متوسط غلظت منوکسید در بقیه‌ی فضای پارکینگ بیشتر خواهد بود و بنابر تعریف میزان کارآیی خروج منوکسید بیش از واحد خواهد شد. سه حالت فوق در رابطه‌ی ۸ نمایش داده شده است.

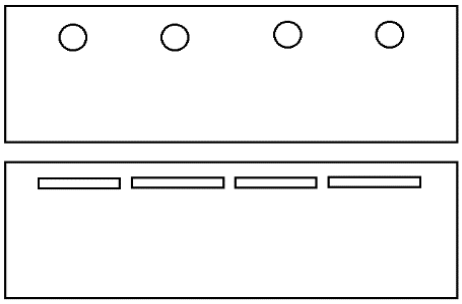
$$\xi = \frac{C_{exit}}{C_{average}} \begin{cases} 1 & \rightarrow \quad fully\ mixed\ flow \\ <1 & \rightarrow \quad short\ circuit \\ >1 & \rightarrow \quad piston\ flow \end{cases} \qquad (۸)$$

چان و چو بیان کرده‌اند که بهترین حالت برای طراحی تهویه در پارکینگ، حالتی است که جریان پیستونی در پارکینگ برقرار شود. از طرفی با اینکه ضریب کارآیی بزرگتر از یک، تضمین کننده خروج آلاینده از فضای پارکینگ است، ولی در صورت بهینه نبودن شکل و موقعیت نقاط استخراج آلودگی، شرایط مناسب در پارکینگ برقرار نشده و انباشتگی منوکسیدکربن در محلنقاط استخراج باعث انحراف جریان هوا می‌شود [۸]. انباشتگی منوکسیدکربن در نقاط استخراج، عاملی منحرف کننده برای جریان هوا بوده و با ایجاد مقاومت در برابر مسیر جریان باعث پخش آلودگی در فضای داخلی پارکینگ می‌شود. انباشتگی وابسته به پارامترهایی همچون شکل و ارتفاع نقاط استخراج می‌باشد. در صورتی که محل نقاط استخراج در ارتفاعی باشد که محل تمرکز آلودگی است، بهترین حالت برای خروج آلودگی اتفاق خواهد افتاد. با توجه به اینکه آلودگی تولیدی توسط اگزوز

www.SID.ir

Archive of SID

ماشین‌ها گرم‌تر از هوای داخلی پارکینگ است، نیروی بویانسی باعث تجمع منوکسیدکربن در نزدیکی سقف شده و بنابراین محل نقاط استخراج هم باید در ارتفاعی نزدیک به سقف باشد [۸].پارامتر دیگری که در پخش جریان هوای تهویه در پارکینگ موثر است، شکل نقاط ورودی هوای تمیز می‌باشد. هر چه شکل نقاط ورودی از حالت دایروی به خطی (مستطیلی با نسبت ارتفاع به قاعده‌ی کوچک) نزدیک شود، نیروی مومنتوم بیشتری به آلودگی-های موجود در پارکینگ وارد شده و جریان هوای ورودی و آلودگی به خوبی با یکدیگر ترکیب خواهند شد [۹]. در این حالت میزان کارایی خروج آلاینده هم بیشتر شده و کیفیت هوای داخلی پارکینگ هم افزایش می‌یابد. در شکل زیر نمونه‌ای از شکل‌های متفاوت نقاط ورودی هوای تمیز به پارکینگ نمایش داده شده است.

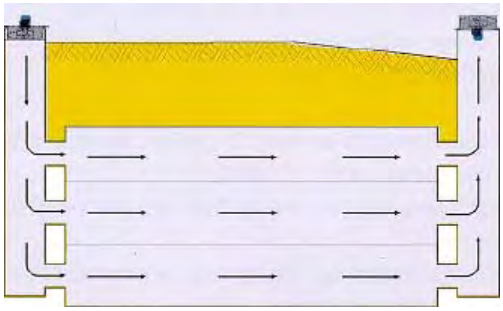


شکل ۱: نمونه‌ای از شکل‌های متفاوت نقاط ورودی هوای تمیز

تجهیزات مورد استفاده جهت تهویه پارکینگ

برای ایجاد و طراحی سیستم تهویه مناسب باید از تجهیزاتی استفاده شود که عملکرد آنها منجر به کاهش آلودگی در پارکینگ شود.تجهیزات سخت-افزاری سیستم تهویه شامل کنترلرها و سیستم نظارت بر سنسورهای آلودگی، سنسورهای آلودگی و فن‌های ورودی، خروجی و جریان دهنده می‌باشد. کارکرد مناسب سنسورهای آلوگی در پارکینگ باعث می‌شود که جریان مناسبی از هوای تهویه در پارکینگ برقرار شده و میزان آلودگی موجود در پارکینگ با استفاده از جریان مناسب هوای تهویه به کمتر از مقدار بیان شده توسط استانداردها و کدهای بین‌المللی برسد.

سنسورها باید بر روی ستونهای پارکینگ و حدوداً ۱/۵ متر بالاتر از کف (ارتفاع تنفس انسان) نصب شوند. هر سنسور منوکسیدکربن باید در حدود ۴۵۰ تا ۹۵۰ مترمربع از فضای آزاد را پوشش دهد. منوکسیدکربن با استفاده از جریان طبیعی هوا و حرکت اتومبیل‌ها پخش شده و جریان می-یابد. با استفاده از هر سنسور در یک فضای میانگین حدوداً ۷۰۰ مترمربعی و با شعاع حدوداً ۱۵ متری می‌توان انتظار داشت که همه‌ی فضای پارکینگ پوشش داده شده است[۱۰]. علاوه بر سنسورها باید موقعیت نقاط ورودی هوای تمیز و نقاط استخراج هوای آلوده هم مشخص شود. معمولاً طراحی سیستم تهویه و انتخاب محل نقاط ورودی هوای تمیز و استخراج به گونه‌ای انجام می‌شود که نقاط فوق در دورترین فاصله از هم باشند. دلیل این امر این است که باید هوای ورودی به همه‌ی نقاط پارکینگ رسیده و در همه‌ی قسمتهای پارکینگ باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها شود. بنابراین ترکیبی همانند شکل ۲ برای نقاط ورودی هوای تمیز و نقاط استخراج آلودگی پیشنهاد می‌شود. در پارکینگ‌های بزرگ [۳] و در صورتی که طول یا عرض پارکینگ بیش از ۵۰ متر بوده و هیچ‌گونه فضایی جهت تهویه طبیعی وجود نداشته باشد، نیاز به تهویه مکانیکی پیش می‌آید [۱۰] (با توجه به کارکرد پارکینگ، مثلاً در صورتی که پارکینگ همانند پارکینگ مجتمع‌های تجاری پر رفت و آمد باشد نیاز به تهویه مکانیکی وجود دارد). تهویه مکانیکی در پارکینگ با استفاده از جت‌فن‌ها یا فن‌های القایی انجام می‌گیرد. در حالت کلی محاسبه تعداد جت‌فن‌ها یا فن‌هایی القایی بستگی به قدرت پرتاب جریان هوا در آنها دارد ولی در حالت کلی استاندارد می‌گوید که سرعت جریان هوا در محیط‌های بسته در همه‌ی حالت‌ها نباید از ۱۱ متر بر ثانیه در همه‌ی دسترسی‌ها بیشتر شود [۱۱].



شکل ۲: موقعیت نقاط ورود و استخراج در پارکینگ زیرزمینی طبقاتی[۱۰]

شبیه سازی عددی جریان در یک پارکینگ نمونه

میدان جریان هوا و آلاینده در پارکینگ با استفاده از حل معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژیو گونه‌ی آلایندهبدست می‌آید. جریان هوا در پارکینگ جریانی آشفته می‌باشد. به همین دلیل باید هر کدام از جمله‌های معادلات حاکم را به صورت ترکیبی از مقدار متوسط (میانگین‌گیری زمانی) و مقدار نوسانی نوشت. معادلات بقای جرم و مومنتوم با توجه به میانگین-گیری به صورت رابطه‌های۹ و ۱۰بازنویسی می‌شوند:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial \rho U_i}{\partial x_i}=0 \qquad (۹)$$

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho U_i U_j)}{\partial x_j}=-\frac{\partial P}{\partial x_i}+\ldots$$
$$\ldots\rho\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\nu\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\right]+\frac{\partial\left(-\rho\overline{u_i'u_j'}\right)}{\partial x_j} \qquad (۱۰)$$

معادله‌ی پخش گونه به صورت رابطه‌ی ۱۱ نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial(\rho C_i)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho U_j C_i)}{\partial x_j}=\ldots$$
$$\ldots\rho\frac{\partial}{\partial x_j}\left[D\frac{\partial C_i}{\partial x_j}\right]+\frac{\partial\left(-\rho\overline{u_i'c_j'}\right)}{\partial x_j}+S_c \qquad (۱۱)$$

در معادلات ۱۰ و ۱۱ جمله تنش‌های رینولدز نیاز به مدلسازی دارند. با استفاده از مدلسازی جملات فوق به صورت زیر تبدیل می‌شوند:

$$\rho\overline{u_i'u_j'}=-\rho\nu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)$$
$$\rho\overline{u_i'c_j'}=-\rho\Gamma_t\frac{\partial C_i}{\partial x_j} \qquad (۱۲)$$

در رابطه‌ی۱۲ جمله‌ی ν_t بیانگر لزجت آشفتگی و Γ_t بیانگر ضریب پخش جرمی آشفتگی می‌باشند. برای شبیه‌سازی جمله‌ی لزجت آشفتگی می‌توان از مدلهای مختلفی استفاده کرد. در این پژوهش از مدل دو معادله‌ای K-ε استفاده شده است.

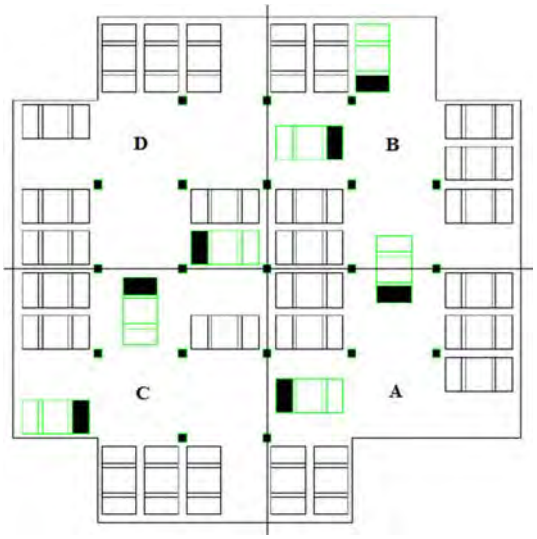
در این مدل بخش آشفته‌ی لزجت موثر به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

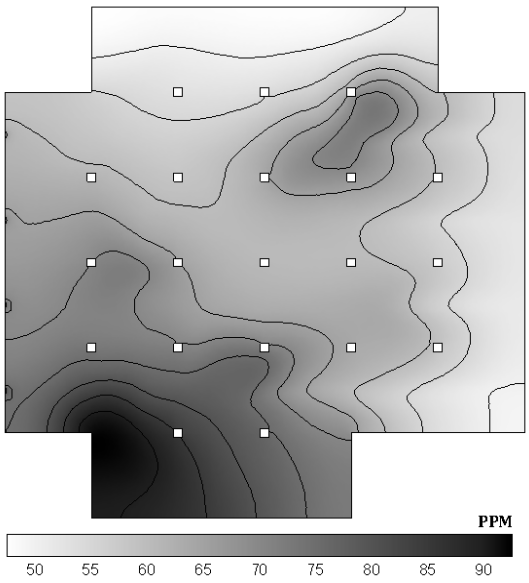
$$\nu_t = C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \qquad (۱۳)$$

در معادله‌ی ۱۳ دو جمله‌ی K و εبه ترتیب بیانگر انرژی جنبشی و نرخ اضمحلال آن می‌باشند. برای بدست آوردن دو عبارت فوق باید معادله‌ی انتقال برای هر کدام حل شود. پس از حل معادلات بقای مومنتوم، بقای جرم، بقای گونه و معادلات انتقال برای انرژی جنبشی و نرخ اضمحلال آن، توزیع سرعت و آلاینده در پارکینگ بدست می‌آید. نمونه‌ای از پارکینگ مدل در شکل ۳ نمایش داده شده است. این پارکینگ دارای ۳۰ متر طول و ۳۰ متر عرض و ۳ متر ارتفاع می‌باشد. در این پارکینگ ماشین‌هایی که یک قسمت از آنها با رنگ مشکی مشخص شده ماشین‌هایی هستند که روشن بوده و آلاینده از آنها به فضای داخلی پارکینگ وارد می‌شود.

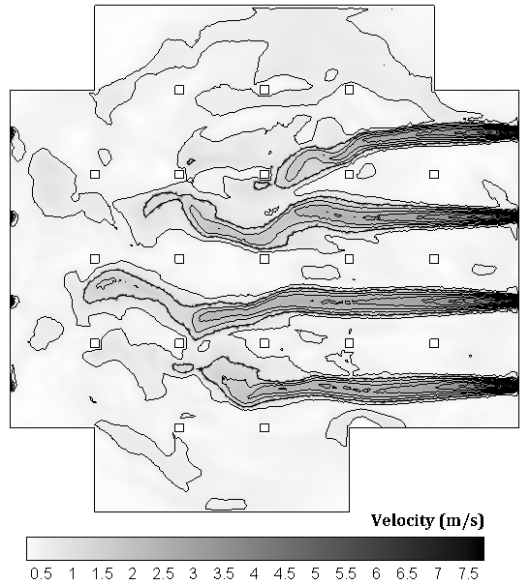


شکل ۳: نمونه‌ای از پارکینگ شبیه‌سازی شده

میزان آلاینده وارد شده به پارکینگ با استفاده از میزان پیشنهاد شده توسط استاندارد اشری در بدترین حالت بدست می‌آید. استاندارد اشری بیان می‌کند که میزان منوکسیدکربن ورودی به پارکینگ در زمستان و در حالتی که ماشین تازه روشن شده است برابر با ۱۸/۹۶ گرم بر دقیقه می‌باشد. بنابراین هر کدام از ماشین‌های روشن موجود در پارکینگ، آلودگی را با نرخ فوق وارد فضای داخلی پارکینگ می‌کنند. در سمت راست و چپ پارکینگ فوق به ترتیب چهار نقطه‌ی ورودی و چهار نقطه‌ی استخراج وجود دارد که در ارتفاع ۲/۶ متری از پارکینگ قرار دارند. با فرض ۶ تعویض هوا در هر ساعت، میزان دبی هوا از نقاط ورودی برابر با ۰/۹۷ مترمکعب بر ثانیه برای هر نقطه‌ی ورودی بدست می‌آید. در صورتی که سرعت هوای ورودی از هر نقطه به داخل فضای پارکینگ را برابر با ۷/۵ متر بر ثانیه در نظر بگیریم، نقاط ورودی دارای مساحت ۰/۱۲۹ مترمربع خواهند بود. در صورتی که شکل نقاط ورودی به صورت دایره باشد، شعاع آن برابر با ۲۰ سانتی‌متر خواهد بود. شرایط مرزی برای حل عددی پارکینگ فوق در نقاط ورودی هوای تازه و نقاط ورودی آلودگی از نوع ورودی سرعت[1] می‌باشند. همچنین شرط مرزی نقاط استخراج هم از نوع جریان خروجی[2] می‌باشد.برای بدست آوردن توزیع آلودگی و جریان هوا در پارکینگ نمونه‌ی فوق، معادلات ۹ تا ۱۳ در کل فضای محاسباتی حل شده و نتایج مربوط به توزیع آلاینده و جریان هوا در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل ۴ مشخص است، تمرکز آلودگی نقاط موجود در نواحی Bو C(شکل ۳) بالا رفته است که دلیل آن عدم ترکیب شدن مناسب آلاینده‌ها با هوای ورودی می‌باشد. شکل ۵ مکمل شکل ۴ بوده و توزیع سرعت در فضای داخلی پارکینگ را نمایش می‌دهد. همانگونه که در این شکل هم مشخص است، هوا در بعضی از نواحی پارکینگ به اندازه کافی جریان نداشته و در نتیجه افزایش تمرکز آلاینده در این نقاط از پارکینگ وجود دارد.



شکل ۴: توزیع منوکسیدکربن در پارکینگ نمونه



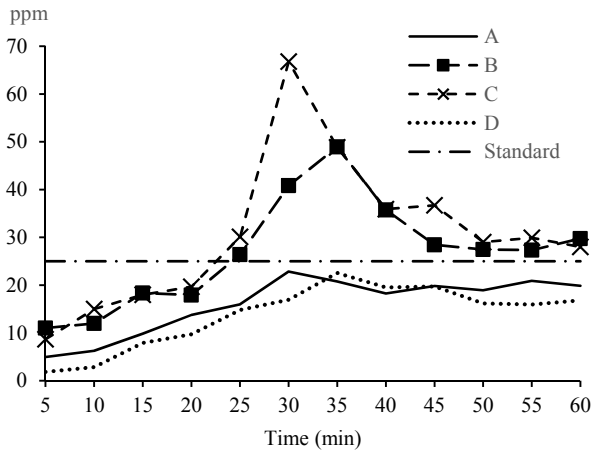
شکل ۵: توزیع هوا در پارکینگ نمونه

در شکل ۶ تمرکز منوکسیدکربن در طول زمان در چهار نقطه‌ی Aتا Dنمایش داده شده و با حد مجاز آلاینده در مقررات ملی ساختمان مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در بعضی از زمان‌ها مقدار تمرکز آلاینده در نقاط Bو Cبیش از حد مجاز شده است. البته همانگونه که قبلاً هم بیان شد، میزان تمرکز آلاینده در یک بازه‌ی زمانی باید کمتر از ۲۵ppm باشد، بنابراین افزایش موضعی غلظت منوکسیدکربن باعث ایجاد مشکل نخواهد شد.

[1] Velocity Inlet
[2] Outflow

www.SID.ir

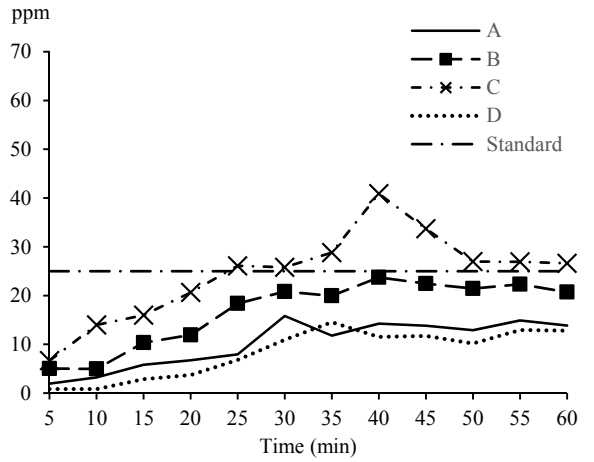
Archive of SID



شکل ۶: غلظت منوکسیدکربن در نقاط مختلف پارکینگ، نقاط ورودی دایروی

بررسی اثر شکل نقاط ورودی هوای تازه

جهت پخش بهتر جریان آلاینده در پارکینگ نیاز است که شکل نقاط ورودی هوای تمیز به پارکینگ به گونه‌ای باشد که بیشترین نیروی مومنتوم به هوای موجود در پارکینگ وارد شود. بدین منظور شکل نقاط ورودی را همانند شکل ۱ به صورت مستطیل در نظر می‌گیریم. مستطیل‌های فوق دارای ۱۵ سانتیمتر ارتفاع و ۸۵ سانتیمتر طول می‌باشند و جریان هوای تمیز با دبی ۰/۹۷ مترمکعب بر ثانیه توسط آن به هوای داخلی پارکینگ دمیده می‌شود. سرعت جریان هوای ورودی از این نقطه به فضای داخلی پارکینگ هم برابر با ۷/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. همانگونه که قبلاً بیان شد، شکل مستطیلی نقاط ورودی باعث افزایش میزان نیروی مومنتوم به هوای موجود در پارکینگ شده و در نتیجه هوای ورودی به پارکینگ به خوبی با آلودگی موجود در آن ترکیب می‌شود.همچنین علاوه بر این، چون آلودگی موجود در پارکینگ در نزدیکی سقف تجمع می‌کند، هر چه جریان جت ورودی به پارکینگ دارای عرض بیشتر و ارتفاع کمتری باشد نیروی تراست آن هم افزایش می‌یابد. بنابراین همانگونه که گفته شد، انتظار می‌رود که هوای ورودی از نقاط ورودی مستطیلی، بیشتر در پارکینگ پخش شود. میزان تمرکز منوکسیدکربن در این حالت در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷: غلظت منوکسیدکربن در نقاط مختلف پارکینگ، نقاط ورودی مستطیلی

همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، میانگین تمرکز منوکسیدکربن در هر چهار نقطه کاهش یافته است. این کاهش در نقاطی که نزدیک به نقاط ورودی هوای تازه می‌باشند (Aو B) بیشتر می‌باشد. این کاهش به دلیل اثرات بیشتر نیروی مومنتوم در نزدیکی نقاط ورودی هوای تمیز می‌باشد. علاوه بر این میزان تمرکز منوکسیدکربن در نقاط دورتر از نقاط ورودی هوای تمیز هم کاهش یافته است. دلیل وقوع این پدیده این است که با تغییر شکل نقاط هوای ورودی از دایره به مستطیل، پروفیل سرعت جریان هوای تازه جمع‌تر بوده و در نتیجه نیروی مقاوم کمتری در برابر حرکت آن ایجاد می‌شود. در حالتی که شکل نقاط ورودی هوای تمیز به صورت دایره می‌باشد، پروفیل جریان پخش‌تر بوده و بنابراین نیروی مقاوم بیشتری را احساس خواهد کرد، بنابراین پخش آن در فضای داخلی پارکینگ کمتر خواهد بود.

نتیجه گیری و جمع بندی

نتایج کاربردی این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- بر طبق استاندارد اشری، منوکسیدکربن مهم‌ترین آلاینده موجود در پارکینگ بوده و میزان هوای تهویه لازم جهت کاهش غلظت این آلاینده برای کاهش غلظت دیگر آلاینده‌ها هم کافی می‌باشد. همچنین حد مجاز آلاینده‌های که همه‌ی استانداردها را پوشش می‌دهد ۲۵ppm در یک ساعت پرتوگیری می‌باشد.
- طبق استاندارد اشری میزان هوای لازم جهت تهویه پارکینگ برابر با ۷/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر مترمربع از سطح پارکینگ یا ۶ تعویض هوا در یک ساعت می‌باشد. با استفاده از این روش پارامترهای زیادی در طراحی میزان هوای تهویه در نظر گرفته نمی‌شوند.
- جهت شناسایی میزان آلاینده در پارکینگ از سنسورهای منوکسیدکربن در ارتفاع ۱/۵ متری استفاده می‌شود. هر سنسور باید قادر باشد به طور میانگین در حدود ۷۰۰ مترمربع از فضای پارکینگ را پوشش دهد.
- نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی بیانگر این است که تمرکز آلودگی در نقاط نزدیک به نقاط هوای ورودی کمتر از بقیه‌ی نقاط موجود در پارکینگ می‌باشد.
- همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از نقاط ورودی هوا، غلظت آلاینده هم افزایش می‌یابد و در نزدیکی نقاط استخراج به بیشترین حد خود می‌رسد.
- نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیانگر این است که در نقاطی که هوا به خوبی جریان ندارد، تمرکز آلاینده‌ها هم افزایش یافته است.
- شکل نقاط هوای ورودی به پارکینگ پارامتری تعیین کننده در میزان پخش منوکسیدکربن در پارکینگ می‌باشد. هر چه شکل نقاط هوای ورودی به پارکینگ از حالت دایروی دور شده و به حالت مستطیلی نزدیک شود، نیروی تراست بیشتری تولید خواهد کرد و در نتیجه برای جابجایی جریان هوا و آلودگی بهتر خواهد بود.
- نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از نقاط ورودی مستطیل شکل و داشتن دبی و سرعت هوای ورودی ثابت به فضای پارکینگ، میزان آلاینده متوسط در چهار نقطه‌ی مشخص پارکینگ کاهش یافته است.

فهرست علائم

سطح پارکینگ (m^2)	A
ثابت وابسته به حد مجاز آلاینده ($Lm^{-2}s^{-2}$)	C
ظرفیت تعداد ماشین‌ها در پارکینگ	c_1
تعداد ماشین‌های در حال حرکت در پارکینگ	c_2

www.SID.ir

Archive of SID

C_{ae}	تمرکزمنوکسیددرمحلنقاط استخراج (ppm)
C_{adm}	تمرکزمنوکسیددرنقاط ورودی هوای تمیز (ppm)
$C_{average}$	غلظت منوکسیدکربن متوسط (ppm)
C_{exit}	غلظت منوکسیدکربن در نقاط استخراج(ppm)
C_i	مقدار غلظت منوکسیدکربن (gr)
C_μ	ضریب ثابت لزجت سینماتیک توربولانسی
c'_i	مقدار نوسانی غلظت منوکسیدکربن (gr)
D	ضریب پخش جرمی (m^2s^{-1})
E	نرخ انتشار آلاینده از ماشین ($grhr^{-1}m^{-2}$)
E_0	بیشترین نرخ انتشار آلاینده از ماشین ($grhr^{-1}m^{-2}$)
f	بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد
f_p	ضریب گرادیان مسیر
f_h	ضریب گرادیان ارتفاع
f_v	ضریب گرادیان سرعت
K	ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-1}K^{-1}$)
k	ضریب کاربری پارکینگ
L_1	طول مسیر حرکت ماشین در پارکینگ (m)
L_2	طول مسیر ماشین‌های در حال حرکت در پارکینگ (m)
N	تعداد ماشین‌ها
n	تعداد تعویض هوا
P	فشار (Nm^{-2})
q	دبی هوای تهویه (m^3hr^{-1})
q_{CO}	میزان انتشار منوکسیدکربن (m^3hr^{-1})
Q_{bCO}	غلظت منوکسیدکربن خروجی از ماشین (m^3hr^{-1})
S_c	جمله منبع معادله انتقال آلاینده
t	زمان متوسط حرکت ماشین در پارکینگ (s)
U_i, U_j	مقدار متوسط سرعت در جهت خاص i و j(ms^{-1})
u'_i, u'_j	مقدار سرعت نوسانی در جهت خاص i و j(ms^{-1})
V	حجم پارکینگ (m^3)
x_i, x_j	جهت i و j

علائم یونانی

β	راندمان تهویه
ε	نرخ اضمحلال انرژی جنبشی
Γ	ضریب پخش جرمی (m^2s^{-1})
ξ	ضریب کارایی خروج منوکسیدکربن
μ	لزجت دینامیک $(kgm^{-1}s^{-1})$
ν	لزجت سینماتیک (m^2s^{-1})
ρ	چگالی (kg/m^3)

زیرنویس‌ها

CO	منوکسیدکربن
t	آشفتگی

مراجع

[1] ASHRAE handbook., 2013. *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications*, SI edition., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,http://www.ashrae.org.

[2]EPA standard., 2000. *Air Quality Criteria for Carbon Monoxide*,http://www.epa.gov/iaq/co.html.

[۳] دفتر امور مقررات ملی ساختمان،*مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث چهاردهم، تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع*، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸، ۲۰۴.

[۴] دفتر امور مقررات ملی ساختمان،*مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نوزدهم، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بخش ساختمان‌های فولادی*، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸، ۸۵.

[5] Bates R., Simpson C., "Value Engineering of Car Park Ventilation Systems",*BuildingSimulation Ltd*, http://wenku.baidu.com/view/6616246a1eb91a37f1115c5f.

[6] Krarti M., &Ayari A.,"Ventilation for enclosed parking garages". *ASHRAE journal*, VOL. 43, NO. 2, 2001, pp. 52-57.

[7] Gil-Lopez T., Sanchez A., Gimenez C.,"Energy, environmental and economic analysis of the ventilation system of enclosed parking garages: Discrepancies with the current regulations". *Applied Energy*, VOL. 113, 2014, pp. 622-630.

[8] Chan M., Chow W., "Car park ventilation system: performance evaluation",*Building and Environment*, VOL. 39, NO. 6, 2004, pp. 635-643.

[9] Domingo J., Barbero R., Iranzo A., Cuadra D., Servert J., Marcos M., "Analysis and optimization of ventilation systems for an underground transport interchange building under regular and emergency scenarios",*Tunnelling and Underground Space Technology*, VOL. 26, NO. 1, 2011, pp. 179-188.

[10] Van Beek R., 2003. *Car park ventilation manual*, 1stedition.,NOVENCO,http://www.novenco-building.com.

[11] NFPAhandbook., 2003, *NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*, National Fire Protection Association ,http://www.nfpa.org.

www.SID.ir