

اهمیت بهینه‌سازی سیستم تهویه در پارکینگ‌های بسته

جواد امنیان^۱، مهدی معرفت^۲

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، javad.amnian@modares.ac.ir

۲ استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰

چکیده

استانداردهای موجود در طراحی سیستم تهویه، حد مجاز آلاینده‌ها و میزان هوای تهویه در پارکینگ‌های بسته را ارائه می‌کنند. علاوه بر دمش هوای تهویه باید بهبودهایی هم در هندسه و نوع چیدمان دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلاینده ایجاد کرد تا بهترین شرایط کیفیت هوای داخلی در پارکینگ‌های بسته ایجاد شود. بدین منظور، در این مقاله نخست انواع پارکینگ‌ها و الزامات مورد نیاز آن جهت تهویه معرفی و روش محاسبه میزان هوای لازم تهویه بیان شده است. در ادامه، انواع الگوهای جریان هوا در پارکینگ‌های بسته و بهترین الگوی جریان معرفی شده است. بهترین الگوی جریان در پارکینگ‌های بسته در صورتی اتفاق می‌افتد که دریچه‌های تأمین هوا و خروجی آلاینده در دورترین فاصله از هم قرار داشته باشند و جریان پیستونی در پارکینگ ایجاد شود. تولید این الگوی جریان به بهبودهای هندسی در پارکینگ نیاز دارد و با استفاده از تغییرات لازم در موقعیت دریچه‌های ورودی هوا و دریچه‌های خروجی آلودگی می‌توان این الگوی جریان را ایجاد نمود.

واژگان کلیدی: جریان تهویه، مونو اکسید کربن، دریچه‌های خروجی آلودگی، حد مجاز آلاینده، جریان پیستونی

۱. مقدمه

نتیجه آلاینده‌های خطرناکی چون مونو اکسید کربن در پارکینگ ایجاد و منتشر می‌شود. مونو اکسید کربن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه و بسیار سمی است و با احاطه هموگلوبین خون و تولید کربوکسی هموگلوبین ظرفیت حمل اکسیژن خون را در بدن کاهش می‌دهد [۱]. با توجه به استاندارد، کاهش تمرکز اکسیژن به کمتر از ۱۲ درصد و افزایش کربن و مشتقات آن به بیش از ۵ درصد در فشار محیط، حتی در مدت زمان‌های کم هم برای انسان خطرناک است [۱]. تمرکز مونو اکسید کربن در هوای داخلی پارکینگ تابعی از تمرکز آن در هوای خارج، وجود منابع

امروزه به دلیل گسترش شهرها، افزایش جمعیت و افزایش استفاده از خودروها، نیاز به استفاده بهینه از فضاهای زیرزمینی افزایش چشمگیری یافته است. ساختمان‌های تجاری و مسکونی و فروشگاه‌های بزرگ از جمله اماکنی هستند که مدیریت در آنها اهمیت ویژه‌ای دارد و چون رفت‌وآمد در آنها زیاد است، به پارکینگ‌های بسته و زیرزمینی نیاز مبرم دارند. عدم ارتباط پارکینگ‌های بسته با فضای آزاد سبب ایجاد مشکلاتی چون کاهش اکسیژن و افزایش آلاینده‌ها می‌شود. کاهش اکسیژن در پارکینگ‌های بسته سبب نقص در احتراق موتور می‌شود و در

داخلی تولید مونو اکسید کربن، نشت مونو اکسید به هوای داخل از منابع خارجی، تهویه و ترکیب هوا با دیگر آلاینده‌هاست. در غیاب منابع داخلی، معمولاً تمرکز مونو اکسید کربن در هوای داخل شبیه به تمرکز مونو اکسید در هوای خارج بوده و وقتی منبع داخلی موجود باشد، شرایط متفاوتی شود و غلظت مونو اکسید کربن در پارکینگ تحت تأثیر میزان تولید منبع انتشار آن قرار می‌گیرد. جهت کاهش این آلاینده باید از تهویه مکانیکی جهت پارکینگ‌های بزرگ (ساختمان‌های تجاری و فروشگاه‌های بزرگ) و تهویه طبیعی مناسب (پارکینگ‌های منازل مسکونی) استفاده کرد.

بر اساس استاندارد اشری^۱، میزان هوای لازم جهت تهویه مونو اکسید کربن برای کاهش دیگر آلاینده‌ها هم کافی است [۲]. لازمه ایجاد کیفیت هوای داخلی^۲ مناسب در پارکینگ، ممانعت از افزایش غلظت (انباشتگی) مونو اکسید کربن در قسمت‌های مختلف پارکینگ است [۳]. انباشتگی مونو اکسید کربن در قسمت‌های مختلف پارکینگ مخصوصاً در نواحی نزدیک به خروجی‌های آلودگی همانند مانعی در برابر جریان تهویه عمل می‌کند و سبب افت کیفیت هوای داخلی پارکینگ می‌شود.

در این مقاله انواع پارکینگ‌ها و استانداردهای موجود و راهکارهای لازم جهت افزایش بازده سیستم تهویه مکانیکی در آنها معرفی شده است. همچنین در این مقاله نتایج حاصل از اندازه‌گیری مونو اکسید کربن در یک پارکینگ منزل مسکونی برای نخستین بار بیان شده است. نتایج حاصل در این مقاله برای پیشنهاد به مقررات ملی ساختمان مناسب است و می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت بهبود کیفیت هوای داخلی ساختمان‌ها و کاهش آثار نامناسب مونو اکسید کربن تولیدی در پارکینگ‌ها استفاده شود.

۲. معرفی انواع پارکینگ‌ها و تجهیزات تهویه

پارکینگ‌ها دارای دسته‌بندی‌های متنوعی هستند که در این مقاله معرفی می‌شوند. پارکینگ‌ها بر اساس مقررات ملی ساختمان به سه دسته کوچک (با ظرفیت حداکثر ۳ خودرو)، متوسط (با ظرفیت ۴ تا ۲۵ خودرو) و بزرگ (با ظرفیت بیش از ۲۵ خودرو) تقسیم بندی شده‌اند [۴]. در مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان تصریح شده است که پارکینگ‌ها به دو دسته عمومی

و خصوصی تقسیم‌بندی شده‌اند و پارکینگ‌های عمومی به سیستم تهویه مکانیکی نیاز دارند [۵]. پارکینگ‌های خصوصی معمولاً در اندازه‌های کوچک و متوسط موجود بوده و پارکینگ‌های عمومی در گروه پارکینگ‌های بزرگ قرار می‌گیرند. از منظری دیگر، پارکینگ‌ها معمولاً به صورت‌های باز، نیمه‌باز و بسته تقسیم می‌شوند [۶]. پارکینگ‌های باز معمولاً بالای سطح زمین قرار دارند و شامل دیواره‌هایی باز هستند (۵ درصد سطح کل دیواره باز است) که این فضای باز جهت تأمین تهویه هوا و خروج دود کافی است. پارکینگ‌هایی با تهویه طبیعی دارای دیواره‌هایی باز در هر طبقه به اندازه ۲/۵ درصد از کل دیواره هستند [۷]. تهویه طبیعی به جریان طبیعی هوا در پارکینگ گفته می‌شود که در آن هوا از بازشوهای موجود در دیواره‌ها به درون و خارج پارکینگ جریان دارد. این دیواره‌های باز هوای لازم جهت تهویه دود را فراهم می‌کنند، اما علاوه بر این باید با استفاده از تهویه مکانیکی در هر ساعت ۳ مرتبه تهویه هوا هم جهت خروج گازهای سمی انجام شود. وقتی تهویه طبیعی ممکن نباشد، به تهویه مکانیکی نیاز است. تهویه مکانیکی شامل تجهیزاتی چون فن‌های ورودی و خروجی و جابه‌جایی، حسگرهای مونو اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن، دمپرها و دیگر وسائل مورد استفاده در سیستم‌های تهویه است. حسگرهای مونو اکسید کربن باید روی ستون‌های پارکینگ و حدوداً ۱/۵ متر بالاتر از کف (ارتفاع تنفس انسان) نصب شوند و هر حسگر باید در حدود ۴۵۰ تا ۹۵۰ مترمربع از فضای آزاد را پوشش دهد [۶]. در تهویه مکانیکی، فن‌های دمنده سبب ورود هوا از دریچه‌های ورودی هوا به فضای داخلی پارکینگ شده و فن‌های مکش هوای آلوده را به فضای خارجی هدایت می‌کنند. همچنین فن‌های جابه‌جایی هوا، فن‌هایی هستند که در قسمت‌های مختلف از فضای داخلی پارکینگ قرار می‌گیرند و با کارکرد خود سبب حرکت جریان آلودگی به سمت دریچه‌های خروجی آلودگی می‌شوند. فن‌های جابه‌جایی هوا معمولاً جت فن^۳ یا فن القایی^۴ نامیده می‌شوند. سیستم‌های تهویه در پارکینگ‌های زیرزمینی باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که شرایط زیر را ارضاء کنند:

۱. جلوگیری از اتصال کوتاه‌شدن هوای تهویه
۲. جلوگیری از ایجاد میدان جریان طولانی
۳. تأمین جریان هوای کافی و مؤثر در کل پارکینگ

۴. تخمین گازهای خروجی از آگزوز خودروها

تهویه مکانیکی، طبیعی یا ترکیبی از هر دو باید به گونه‌ای باشد که آلاینده‌ها در حد مجاز قرار گیرند. اگر استانداردهای محلی اجازه دهند، باید نرخ جریان هوای تهویه متغیر باشد تا مصرف انرژی هم کاهش یابد. سیستم‌های تهویه روشن خاموش و حجم متغیر نمونه‌های از سیستم‌های تهویه با مصرف بهینه انرژی هستند. در شکل ۱ نمایی شماتیک از یک پارکینگ بسته با الزامات و تجهیزات موجود در آن نمایش داده شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، فن تأمین، هوای تمیز را به درون پارکینگ دمیده و جت فن‌ها سبب هدایت آن به سمت دریچه‌های خروجی آلاینده می‌شوند. نمای این پارکینگ بیانگر تهویه طولی در پارکینگ بسته است. با توجه به استاندارد بریتانیا، بهترین حالت تهویه در پارکینگ زمانی اتفاق می‌افتد که دریچه‌های تأمین هوای تمیز و خروجی آلودگی در دورترین فاصله از هم قرار داشته باشند [۸].

۳. رویکرد استانداردها به تهویه پارکینگ بسته

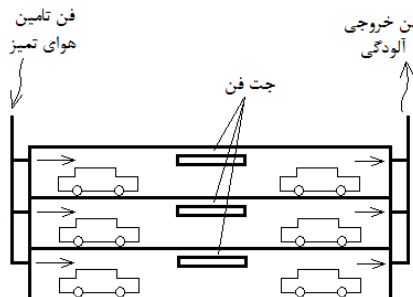
استانداردهای مختلف رویکردهای یکسانی به میزان آلاینده مجاز و میزان لازم تهویه در پارکینگ‌های بسته ندارند. در استانداردها معمولاً میزان حد مجاز آلاینده با استفاده از واحد پی. پی. ام. و میزان هوای لازم تهویه براساس لیتر بر ثانیه بر واحد سطح پارکینگ یا تعویض هوا بیان شده است. استانداردهای

مختلف میزان مونو اکسید کربن مجاز را براساس متوسط وزنی زمانی اعلام می‌کنند. متوسط زمانی در استاندارد به صورت میزان متوسط غلظت مجاز ماده شیمیایی که در مدت زمان معین (مثلاً ۱ یا ۸ ساعت) عارضه نامطلوب بر فرد در تماس با آلودگی نگذارد تعریف می‌شود. میزان آلودگی مجاز و میزان هوای لازم جهت تهویه در پارکینگ‌های بسته در جدول ۱ بیان شده است. علاوه بر حد مجاز آلودگی و نرخ تهویه، استانداردهای مختلف توصیه‌های متفاوتی برای ایجاد کیفیت هوای مناسب در پارکینگ بیان نموده‌اند که در ادامه ارائه شده است.

براساس استاندارد استرالیا [۹] چنانچه فاصله بین دریچه‌های ورودی هوای تمیز و خروجی هوای آلوده بیش از ۴۰ متر شود، باید شرایطی فراهم شود تا آثار نامناسب تمرکز مونو اکسید کربن در پارکینگ از بین برود. این شرایط می‌تواند شامل ایجاد بازشویی در دیوارهای پارکینگ باشد.

چنانچه فاصله بین ورودی‌ها و خروجی‌های هوا بیش از ۷۵ متر شود، باید از جت فن‌ها یا فن‌های القایی جهت جابه‌جایی هوا استفاده نمود [۹].

براساس استاندارد استرالیا، میزان هوای ورودی به پارکینگ باید بین ۷۵ تا ۹۰ درصد از هوای خروجی از پارکینگ باشد تا شرایط فشار منفی ایجاد شود. همچنین این استاندارد بیان می‌کند که هوای ورودی به پارکینگ از هر دریچه حداقل باید دارای سرعت ۰/۱۵ متر بر ثانیه و حداکثر ۱ متر بر ثانیه باشد.



شکل ۱. نمایی از یک پارکینگ بسته طبقاتی و الزامات آن

جدول ۱. حد مجاز آلاینده و نرخ تهویه در استانداردها [۱۰]

استاندارد	زمان (ساعت)	حد مجاز آلودگی (پی. پی. ام.)	نرخ تهویه
اشری	۱ تا ۸	۹ تا ۳۵	۷/۶ لیتر بر ثانیه بر واحد سطح پارکینگ
NFPA	-	-	ACH ۶
OSHA	۸	۳۵	-
بریتانیا	۸ تا ۱۵ دقیقه	۳۰ تا ۵۰	ACH ۶ تا ۱۰
ایران	۱	۲۵	۷/۵ لیتر بر ثانیه بر واحد سطح پارکینگ

براساس استاندارد انگلستان [۸] میزان هوای ورودی از دریچه‌های ورودی هوا باید به‌گونه‌ای باشد که سرعت هوای ورودی بیشتر از ۲ متر بر ثانیه نشود. همچنین استاندارد انگلستان پیشنهاد می‌کند که هوای جابه‌جاشده توسط جت‌فن‌ها یا فن‌های القایی نباید بیش از مقدار هوای خروجی از پارکینگ باشد. در صورتی که میزان بازشدگی دیواره‌ها ۲/۵ درصد از کل بازشدگی دیواره‌های پارکینگ باشد، تهویه طبیعی قابلیت هدایت آلودگی به سمت بیرون پارکینگ را دارد.

با توجه به جدول ۱، استانداردهای اشری و بریتانیا میزان مجاز آلاینده‌ها را برای دو بازه زمانی با توجه به اندازه‌گیری‌های خود بیان نموده‌اند. استفاده از دو بازه زمانی جهت اندازه‌گیری بسیار بااهمیت و منطقی است؛ زیرا افراد موجود در پارکینگ‌ها معمولاً دو گروه کاربران و کارمندان (یا کارگران) پارکینگ هستند. کارمندان (یا کارگران) پارکینگ معمولاً در بازه‌های زمانی تا ۱۲ ساعت هم در پارکینگ حضور دارند و برای آنها قرارگیری در معرض مونو اکسید کربن در بازه‌های زمانی بلندمدت بااهمیت است [۱۱-۱۴]. از طرفی کاربران معمولاً در بازه‌های زمانی کوتاه در پارکینگ حضور داشته و برای آنها قرارگیری در معرض مونو اکسید کربن در بازه‌های زمانی کوتاه مدت دارای اهمیت است [۱۱-۱۲]. به همین دلیل می‌توان گفت که استانداردهای اشری و بریتانیا دیدگاه دقیق‌تری به مقوله تهویه در پارکینگ‌ها داشته‌اند. از طرفی استاندارد مقررات ملی ساختمان، دیدگاه ناقصی به حد مجاز آلاینده دارد و نیاز است مقدار مجاز آلاینده‌ها را برای دو یا چند بازه زمانی کوتاه مدت و بلند ارائه کند. انتخاب این بازه‌های زمانی به مطالعات میدانی و اندازه‌گیری‌های تجربی سطح آلاینده در پارکینگ‌های بسته موجود در ایران نیاز دارد.

۴. محاسبه هوای تهویه

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، استانداردهای مختلف مقدار هوای تهویه را بدون توجه به شرایط پارکینگ بیان نموده‌اند. در زمان حاضر کاهش مصرف انرژی به‌عنوان اصلی مهم در طراحی سیستم‌های تهویه تلقی می‌شود. بنابراین استفاده از مقادیر ثابت بیان‌شده در استانداردهای جدول ۱ نیاز به تصحیح دارد. برای محاسبه میزان هوای تهویه می‌توان از چند روش استفاده نمود که در همه آنها کاهش میزان مصرف انرژی

لحاظ نشده است. 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 به‌دست می‌آید.

$$q = nV \quad (۱)$$

به طوری که در رابطه ۱، n تعداد تعویض هوا در ساعت، V حجم پارکینگ و q مقدار هوای تهویه برحسب متر مکعب بر ساعت است. در این روش آثار محیطی و هندسی پارکینگ نادیده گرفته شده است. در روش دوم میزان هوای تهویه با استفاده از رابطه ۲ به‌دست می‌آید.

$$q = k((20 + 0.1L_1)c_1 + 0.1c_2L_2) \quad (۲)$$

در رابطه اخیر، پارامترهای L_1 ، c_1 ، L_2 ، c_2 و k و q به ترتیب بیانگر متوسط طول مسیر حرکت خودروها در پارکینگ (متر)، ظرفیت تعداد خودروها در پارکینگ، متوسط طول مسیر خودروهای در حال حرکت در پارکینگ (متر)، تعداد خودروهای در حال حرکت در پارکینگ، ضریب کاربری و مقدار هوای لازم جهت تهویه پارکینگ (متر مکعب بر ساعت) است. مقدار ضریب کاربری برای زمان موقت و دائم حضور افراد در پارکینگ به ترتیب برابر با ۲ و ۴ است.

روش سوم استفاده از روش اشری برای تأمین هوای تازه است. با توجه به گزارش تصحیحی استاندارد اشری، استفاده از یک مقدار ثابت برای دمش هوا به فضای داخلی پارکینگ، به لحاظ مصرف انرژی مناسب نیست [۱۰]. لذا کرارتی و همکاران با توجه به تأثیر پارامترهایی همانند تعداد خودروهای روشن، نرخ آلودگی هر خودرو، دوره حرکت خودرو در پارکینگ، تعداد خودروهای در حال حرکت، سرعت خودروهای در حال حرکت و هندسه پارکینگ، نرخ هوای مورد نیاز تهویه پارکینگ را به‌دست آورده‌اند. در روش فوق، در ابتدا با استفاده از رابطه بین تعداد خودروها، نرخ انتشار آلاینده از خودروها و سطح پارکینگ، بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد در پارکینگ به‌دست می‌آید:

$$f = 100 \frac{NE}{AE_0} \quad (۳)$$

در رابطه اخیر، پارامترهای N ، E ، A ، E_0 و f به ترتیب بیانگر تعداد خودروها، نرخ انتشار آلاینده از خودرو (جدول ۲)، مساحت کف پارکینگ، بیشترین میزان انتشار آلاینده از خودرو (که معمولاً در استارت سرد در زمستان اتفاق افتاده و برابر با ۲۶/۸

گرم بر ساعت به ازای هر متر مربع از مساحت پارکینگ) و بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد هستند. گفتنی است به‌جای اعداد بیان‌شده در جدول ۲ می‌توان از مقادیر میانگین‌گیری کرده و در محاسبات مورد استفاده قرار داد [۲]. پس از به‌دست آوردن بیشترین نرخ تولید آلاینده بی‌بعد، میزان هوای تهویه لازم برای تأمین حد مجاز آلاینده‌ها با استفاده از رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

$$q = C f T \quad (4)$$

جدول ۲. مونو اکسید کربن خروجی از آگزوز [۱۵]

فصل	انتشار ناشی از موتور سر (گرم بر دقیقه)	انتشار ناشی از موتور گرم (گرم بر دقیقه)
تابستان	۳/۶۶	۱/۸۹
زمستان	۱۸/۹۶	۳/۳۸

در رابطه ۴، پارامتر T بیانگر مقدار زمان متوسط حرکت خودرو در پارکینگ برحسب ثانیه و C مقداری ثابت وابسته به حد مجاز آلاینده در پارکینگ است. چنانچه حد مجاز آلاینده در پارکینگ ۲۵ و ۳۵ پی. پی. ام. باشد، مقدار C به‌ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۶۹۲ و ۰/۰۰۰۴۸۲ لیتر بر متر مربع مجذور ثانیه خواهد بود. با استفاده از رابطه ۴ 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 و مقادیر ثابت بیان‌شده قبلی است. تا قبل از استفاده از روش فوق در همه پارکینگ‌ها و در شرایط مختلف میزان هوای تهویه ۷/۶ لیتر بر ثانیه بر واحد سطح پارکینگ در نظر گرفته می‌شد. استفاده از روش جدید باعث می‌شود میزان هوای تهویه کاهش یابد که در مصرف انرژی تأثیرگذار است.

در روش فوق کمترین نرخ هوای لازم برای تهویه به‌دست می‌آید. با افزودن پارامترهایی چون سرعت وسائل نقلیه (براساس استاندارد حداکثر سرعت متوسط ۸ کیلومتر بر ساعت می‌باشد [۹]) و اثر حرکت خودرو به روش فوق، نتایج دقیق‌تری برای محاسبه تحلیلی میزان هوای تهویه به‌دست خواهد آمد. لویز و همکاران (۲۰۱۴) میزان هوای لازم برای رقیق کردن مونو اکسید کربن موجود در پارکینگ را با استفاده از بالانس مونو اکسید کربن ورودی و خروجی به پارکینگ به‌دست آورده‌اند [۱۶]. آنها پارامترهایی چون نوع کاربرد پارکینگ، میزان متوسط نرخ انتشار مونو اکسید کربن در زمان گرم‌شدن خودرو، گرادیان مسیر

حرکت خودرو، سرعت خودرو، ارتفاع از سطح دریا، تعداد خودروهای در حال کارکرد و مدت کارکرد خودرو را هم در نظر گرفتند. نتایج این پژوهش کاملاً براساس داده‌های آماری به‌دست آمده است. براساس روند لویز و همکاران، مقدار مونو اکسید کربن خارج‌شده از پارکینگ باید برابر با جمع مقدار مونو اکسید منتشرشده توسط موتور خودرو بانضمام مقدار مونو اکسید کربن موجود در هوای ورودی باشد. لویز و همکاران اثر سرعت، ارتفاع و شیب محل را هم به‌عنوان ضرایب تصحیح وارد معادلات نموده‌اند. با این فرض، رابطه دبی هوای ورودی به پارکینگ به‌صورت رابطه ۵ به‌دست آمده است:

$$q = \frac{10^6}{3600} \times \frac{nT}{A} \times \frac{Q_{co} \times f_p \times f_h \times f_v}{C_{ave}} \quad (5)$$

به‌طوری‌که در این رابطه، ضرایب گرادیان مسیر (f_p)، گرادیان ارتفاع (f_h) و گرادیان سرعت (f_v) با استفاده از روابط تجربی به‌دست آمده‌اند. همچنین پارامترهای Q_{CO} و C_{ave} هم به ترتیب بیانگر دبی خروجی مونو اکسید کربن از خودروها و غلظت متوسط مونو اکسید کربن در فضای پارکینگ است.

۵. کیفیت هوای داخلی پارکینگ

پس از طراحی سیستم تهویه باید کیفیت هوای مناسب در پارکینگ برقرار شود. نتایج پژوهش‌های پیشین [۱۱-۱۳] و [۱۷-۲۰] در موارد مختلف بیانگر این است که تنها با استفاده از تأمین هوای تهویه مطابق استانداردها، کیفیت هوای داخلی مناسب در پارکینگ ایجاد نخواهد شد. از طرفی مقادیر بیان‌شده در استانداردها و مقادیر به‌دست آمده از روش‌های تحلیلی بیانگر حد بالایی هوای تهویه در پارکینگ‌های بسته است و باید با استفاده از اعمال آن در پارکینگ به کیفیت هوای مناسب رسید.

۵-۱. انواع رژیم‌های جریان

چان و چو (۲۰۰۴) پارامترهایی برای بیان کیفیت هوای داخلی پارکینگ‌های بسته بیان و جریان هوای ایجادشده در پارکینگ‌ها را براساس آن طبقه‌بندی نموده‌اند [۳]. آنها ضریب کارایی خروجی مونو اکسید کربن^۷ را به‌صورت نسب غلظت متوسط مونو اکسید کربن در خروجی‌ها (C_{exit}) به غلظت متوسط مونو اکسید کربن در کل فضای پارکینگ ($C_{average}$) تعریف کرده‌اند.

$$\xi = \frac{C_{exit}}{C_{average}} \quad (6)$$

براساس این ضریب، جریان هوا در پارکینگ به چهار دسته اتصال کوتاه، جریان اختلاطی، جریان جابه‌جایی و جریان پیستونی به صورت زیر قابل تقسیم است:

۱. در جریان اتصال کوتاه جریان هوای وارد شده بدون رقیق کردن آلودگی‌ها از پارکینگ خارج می‌شود. به عبارتی در این حالت می‌توان تصور کرد که دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلودگی در نزدیکی هم قرار دارند و جریان هوا بعد از ورود به پارکینگ به سرعت از آن خارج می‌شود. براساس محاسبات چنان‌که چو، مقدار کارایی خروجی مونو اکسید کربن در این حالت بر اساس رابطه ۶ بین صفر و یک خواهد بود.

۲. در جریان اختلاطی هوای ورودی به خوبی با آلودگی‌ها ترکیب شده و غلظت آلاینده در همه فضای پارکینگ یکسان است. مقدار کارایی در این حالت برابر با یک است.

۳. در جریان جابه‌جایی جریان هوای ورودی با آلودگی‌ها ترکیب شده و غلظت آلاینده‌ها در محل دریچه‌های خروجی آلودگی بیش از بقیه فضای پارکینگ است. در این حالت ممکن است به دلیل مناسب نبودن موقعیت دریچه‌های خروجی آلاینده آلودگی به خوبی از آنها خارج نشود. در این حالت کارایی بین ۱ و ۲ خواهد بود.

۴. در جریان پیستونی جریان هوای ورودی کاملاً آلودگی‌ها را به سمت دریچه‌های خروجی آلاینده هدایت کرده و میزان غلظت آلاینده در نزدیکی دریچه‌های خروجی بسیار بیشتر از بقیه فضای پارکینگ است. در این حالت دریچه‌ها در بهترین موقعیت خود قرار داشته و در نتیجه آلودگی با بهترین کارایی از پارکینگ خارج خواهد شد. مقدار کارایی در این حالت برابر با ۲ است.

بین چهار حالت بیان شده، جریان پیستونی سبب ایجاد بهترین شرایط کیفیت هوای داخلی در پارکینگ می‌شود [۳]، بنابراین بعد از برقرار مقدار هوای لازم تهویه براساس استاندارد باید شرایط ایجاد جریان پیستونی در پارکینگ را برقرار نمود.

۲-۵. راهکار ایجاد جریان پیستونی در پارکینگ

جهت برقراری جریان پیستونی در پارکینگ باید تغییراتی در محل دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلودگی ایجاد کرد.

برقراری جریان پیستونی در پارکینگ در پژوهش‌های [۲۱-۲۲] مورد بررسی قرار گرفته است. در این دو مقاله ارتفاع اندازه‌گیری بر ارتفاع سقف تقسیم شده و ارتفاع بی‌بعد اندازه‌گیری به دست آمده است. همچنین ارتفاع نصب دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلاینده هم بر ارتفاع سقف تقسیم شده و ارتفاع بی‌بعد ورودی‌ها و خروجی‌ها به دست آمده است. پارکینگ مرجع [۲۱] یک طبقه است و پارکینگ‌های بررسی شده در مرجع [۲۲] چندطبقه هستند. در همه پارکینگ‌های بررسی شده در دو مرجع فوق، مقدار هوای تهویه با توجه به رابطه ۳ به دست آمده است. نتایج بررسی بیانگر این است که در پارکینگ‌های یک طبقه حداکثر غلظت آلاینده در ارتفاع بی‌بعد ۰/۶۵ اندازه‌گیری شده و چنانچه دریچه‌های خروجی آلاینده در ارتفاع بی‌بعد ۰/۵۵ تا ۰/۶۵ نصب شوند، پارکینگ دارای کمترین میزان غلظت آلاینده بوده و جریان در آن نزدیک‌ترین حالت خود را به جریان پیستونی دارد. در این حالت کارایی خروج آلاینده (رابطه ۶) برابر با ۱/۷۵ است که بسیار به حالت جریان پیستونی نزدیک است. همچنین حداکثر غلظت آلاینده در این حالت ۲۵ پی. پی. ام. به دست آمده است. نتایج بررسی جریان هوا و آلودگی در پارکینگ‌های چندطبقه بیانگر این است که چنانچه دریچه‌های ورودی هوا در ارتفاع بی‌بعد ۰/۵ تا ۰/۵۵ و دریچه‌های خروجی آلاینده در ارتفاع ۰/۵۵ تا ۰/۷ نصب شوند، کارایی خروجی مونو اکسید کربن برابر با ۱/۷ و میزان حداکثر غلظت آلاینده‌ها برابر با ۳۰ پی. پی. ام. در مدت زمان یک ساعت به دست خواهد آمد. علاوه بر کاهش غلظت آلاینده و افزایش کارایی خروجی مونو اکسید کربن، میزان مصرف انرژی هم با استفاده از تغییر موقعیت دریچه‌های خروجی آلاینده کاهش یافته است. به عبارت دیگر، در صورتی که دریچه‌های خروجی در بازه ارتفاعی بهینه قرار گیرند، میزان مصرف انرژی جهت تامین هوا به پارکینگ بسته هم کاهش خواهد یافت.

۶. نتیجه‌گیری

برقراری جریان هوا در بیشتر پارکینگ‌های بسته امری ضروری جهت تولید کیفیت هوای مناسب است. پس از محاسبات دبی هوای تهویه باید موقعیت دریچه‌های ورودی هوا و خروجی آلاینده تغییر کند تا بهترین الگوی جریان در پارکینگ ایجاد شود. بهترین الگوی جریان در پارکینگ جریانی است که

بیشترین قرابت را به جریان پیستونی داشته باشد و در آن کارایی خروج آلاینده نزدیک‌ترین عدد به ۲ باشد. نکات لازم جهت ایجاد شرایط کیفیت هوای مناسب در پارکینگ‌های بسته بدین قرار است. حداکثر سرعت هوای ورودی از دریچه‌های هوا و فن‌های جریان‌دهنده هوا در پارکینگ‌های بسته به ترتیب ۱ و ۲

متر بر ثانیه است. پارکینگ‌هایی که در آنها میزان بازشدگی دیواره‌ها بیش از ۲/۵ درصد از سطح کل دیواره‌هاست، به تهویه مکانیکی نیاز ندارند. همچنین ارتفاع بهینه دریچه‌های ورودی آلاینده بین ۰/۵ تا ۰/۵۵ است و نهایتاً اینکه ارتفاع بهینه دریچه‌های خروجی آلاینده بین ۰/۵۵ تا ۰/۷ است.

۷. مآخذ

- [1] S. EPA. 2010 Final Assessment: Integrated Science Assessment for Carbon Monoxide, S. Environmental Protection Agency (EPA), 2010.
- [2] ASHRAE Handbook, HVAC Applications (SI), chapter 15, 2011.
- [3] Chan, M. Y., and W. K. Chow. "Car park ventilation system: performance evaluation." *Building and environment* 39, no. 6 (2004): 635-643.
- [۴] مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نوزدهم، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بخش ساختمان‌های فولادی، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸.
- [۵] مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث چهاردهم، تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸.
- [6] Wissink, L. R. J., T. v. d. Wielen, M. Jansen, R. v. Beek, *Car Park Ventilation Manual*: NOVENCO, 2003.
- [7] International Mechanical Code (IMC 2012), International code council, INC, 2012.
- [8] Standard, B. R. I. T. I. S. H. "Components for smoke and heat control systems." (2006): 7346-7.
- [9] Australian Standard, The use of ventilation and airconditioning in buildings, Part 2: Mechanical ventilation in buildings, 2012.
- [10] Krarti, Moncef, and Arselene Ayari. "Ventilation for enclosed parking garages." *ASHRAE journal* 43, no. 2 (2001): 52.
- [11] Chow, W. K., and W. Y. Fung. "Survey on the indoor environment of enclosed car parks in Hong Kong." *Tunnelling and Underground Space Technology* 10, no. 2 (1995): 247-255.
- [12] Chow, W. K., L. T. Wong, and W. Y. Fung. "Field study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park." *Tunnelling and underground space technology* 11, no. 3 (1996): 333-343.
- [13] Schwar, M. J. R., J. Booker, and L. Tait. "Underground car park management and air pollution control: design or accident?." In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal engineer*, vol. 121, no. 3, pp. 142-150. Institution of Civil Engineers, 1997.
- [14] Lam, W. C. H., R. Y. C. Fung, S. C. Wong, and C. O. Tong. "The Hong Kong parking demand study." In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*. Thomas Telford (ICE Publishing), 1998.
- [15] A. Handbook, HVAC applications, *ASHRAE Handbook, Fundamentals*, No. 2003, 2007.
- [16] Gil-Lopez, Tomas, Agustin Sanchez-Sanchez, and Carmen Gimenez-Molina. "Energy, environmental and economic analysis of the ventilation system of enclosed parking garages: Discrepancies with the current regulations." *Applied Energy* 113 (2014): 622-630.
- [17] Obaidullah, M., I. Dyakov, L. Peeters, S. Bram, and J. De Ruyck. "Investigation of particulate matter pollutants in parking garages." In *Int. Conf. on Sustainable Development, Sustainable Chemical Industry, Pollution, Hazards and Environment*. 2012.
- [18] Matsushita, K., S. Miura, and T. Ojima. "An environmental study of underground parking lot developments in Japan." *Tunnelling and Underground Space Technology* 8, no. 1 (1993): 65-73.

[19] Likar, Jakob, and Jurij Čadež. "Ventilation design of enclosed underground structures." *Tunnelling and Underground Space Technology* 15, no. 4 (2000): 477-480.

[20] Chaloulakou, A., A. Duci, and N. Spyrellis. "Exposure to carbon monoxide in enclosed multi-level parking garages in the central Athens urban area." *Indoor and Built Environment* 11, no. 4 (2002): 191-201.

[۲۱] امنیان، ج.، م. معرفت، ق. حیدری نژاد، "بررسی اثر موقعیت دریچه‌های خروجی آلودگی بر کاهش آلاینده در پارکینگ‌های بسته"، مهندسی مکانیک مدرس، س. ۱۶، ش. ۵، ۱۳۹۵، ص. ۷۰-۸۰.

[۲۲] امنیان، ج.، م. معرفت، ق. حیدری نژاد، "ارائه راهکار کاهش آلودگی و معیار سنجش جریان تهویه در پارکینگ‌های بسته چندطبقه"، مهندسی مکانیک مدرس، در حال انتشار، ۱۳۹۵.

پی‌نوشت

1. ASHRAE
2. indoor air quality
3. jet fan
4. induced fan
5. particle per million (PPM)
6. time weighting average
7. CO removal effectiveness

مرکز آموزش جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

ویژگی‌های دوره‌ها:

- دوره‌های آموزشی نرم افزارهای طراحی: مهندسی، ساخت و تولید به کمک کامپیوتر
- دوره‌های تخصصی مهندسی مکانیک: Catia 5, Ansys 9, Carrier, CNC, CadWorx, Auto Plant
- دوره‌های تخصصی مهندسی برق: Protel, Matlab, LabView, Orcad
- دوره‌های تخصصی مهندسی صنایع: MSP, SPSS, Primavera, مدیریت و کنترل پروژه
- دوره‌های تخصصی مهندسی عمومی و مهندسی: Matlab, Simulink, matlab, piping, Fluent

نرم‌افزارهای آموزشی: Pro/ENGINEER, Mechanical Desktop, Solid Works, Matlab, ANSYS, Surf CAM, Power MILL, Edge CAM, Auto cad, Fluent - Gambit, CATIA

آماده برگزاری دوره‌های آموزشی جهت مراکز، مهیسات و کارخانجات

آدرس: خیابان حافظ، روبروی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، کوچه آرژانتین، پلاک ۲
نکس: ۸۸۸۰۷۰۰۸، تلفن: ۸۸۸۹۲۱۴۴، ۸۸۸۹۵۹۶۹