

## تأثیر فرم بالکن بر ارتقای کیفیت هوای داخل ساختمان‌های میان مرتبه در مجاورت بزرگراه‌های شهری (مورد مطالعه: بزرگراه شهید چمران تهران)

الهام منصوریان\*، حمید اسکندری\*\*، علی اکبر حیدری\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۴/۳۱

### چکیده

با توجه به افزایش شهرنشینی در زندگی مدرن، آلودگی هوا یکی از معضلات مهم در دهه‌های اخیر بوده است که در رابطه با سلامت انسان به یک چالش مهم بدل گردیده است. این موضوع با پیشرفت شهرها و کاهش کیفیت هوا روز به روز به یک تهدید جدی برای زندگی انسان‌ها تبدیل شده است. به همین منظور کیفیت هوای شهری مساله مهم زیست محیطی در دنیا است که باعث جلوگیری از مرگ و میر انسان‌ها می‌شود. آلودگی هوا در شهرها بر اثر عواملی همچون صنایع و کارخانه‌ها، تردد خودروها، استفاده از سوخت‌های فسیلی برای سرمایش و گرمایش و مواردی از این قبیل ایجاد می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل تولید و انتشار آلودگی در هوا، آلاینده‌های ترافیکی ناشی از تردد خودروها می‌باشد که بر محیط داخل ساختمان تأثیر دارند. با این حال معماری ساختمان‌ها می‌تواند نقش موثری بر کمیت و کیفیت ورود این آلاینده‌ها به فضای درون ساختمان‌ها داشته باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به انواع بازشوها و اندازه و محل آن‌ها، چیدمان دکوراسیون داخلی، ارتفاع ساختمان، فرم بالکن و ... اشاره نمود. بر همین اساس از میان عناصر بیان شده، در مقاله حاضر به تأثیر فرم بالکن بر کاهش آلاینده‌های ترافیکی و افزایش کیفیت هوای داخلی پرداخته می‌شود. برای این منظور ۱۰ مدل بالکن از نظر ویژگی‌های هندسه، جان‌پناه و دیوار بال در ساختمان میان مرتبه در شهر تهران در مجاورت بزرگراه شهید چمران (به عنوان مرکز انتشار آلاینده ترافیکی) به عنوان نمونه‌های موردی انتخاب و میزان ورود آلاینده‌های ترافیکی به درون بنا با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مورد شبیه سازی قرار گرفت. اعتبارسنجی نرم افزار در مطالعه حاضر براساس پژوهش سین و همکاران (۲۰۲۳) انجام گرفته است. تمام تنظیمات استفاده شده در مقاله مطابق با اعتبارسنجی می‌باشد؛ با این تفاوت که در این پژوهش از پارامتر غلظت آلاینده نیتروژن دی اکسید ( $\text{NO}_2$ ) (منبع آلودگی) برای سنجش کیفیت هوا استفاده شده است. بر این اساس هدف اصلی در این پژوهش تعیین بهترین مدل هندسه و شکل ساختاری بالکن بر کاهش ورود آلاینده‌های ترافیکی به درون ساختمان و افزایش کیفیت هوای داخلی (IAQ) در ساختمان میان مرتبه است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که بالکن با فرم مثلث بیشترین میزان غلظت و بالکن با فرم منحنی کمترین میزان غلظت ورودی آلاینده را در بخش هندسه بالکن به خود اختصاص داده‌اند. همچنین میزان غلظت آلاینده در بالکن‌هایی که جان‌پناه نرده‌ایی دارند به مراتب بسیار کمتر از بالکن‌هایی است که دارای دیوار بال می‌باشند. از سویی در این پژوهش می‌توان چنین برداشت نمود که با افزایش محصوریت بالکن در ساختمان‌های میان مرتبه که در مجاورت بزرگراه‌های شهری قرار دارند، غلظت آلاینده‌های ورودی به بنا افزایش می‌یابد. در حالی که با کاهش محصوریت در بالکن، میزان انباشت آلودگی در داخل ساختمان کاهش می‌یابد.

### واژگان کلیدی

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، ساختمان میان مرتبه، بالکن، غلظت آلاینده  $\text{NO}_2$ ، کیفیت هوای داخلی (IAQ)، بزرگراه شهید چمران.

- \* دانش آموخته کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری و شهرسازی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران  
 Elham.mansourian1229@gmail.com  
 \*\* استادیار و عضو هیئت علمی معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران (نویسنده مسئول)  
 Eskandari@yu.ac.ir  
 \*\*\* دانشیار و عضو هیئت علمی معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران  
 AliAkbar\_Heidari@yu.ac.ir

## مقدمه

طی دهه‌های اخیر، موضوع آلودگی هوا و تاثیر آن بر افزایش بیماری‌های تنفسی به چالشی مهم تبدیل شده است (Rijnnders et al.: 2001: 411-417). افزایش آلودگی هوا می‌تواند طیف وسیعی از اتفاقات منفی و نامطلوب را بر سلامت و بهره‌وری انسان‌ها داشته باشد (Blocken et al.: 2008: 1817-1831). این موضوع با رشد سریع شهرها و کاهش کیفیت هوا به یک تهدید جدی برای زندگی بشر تبدیل شده است (Almeida-Silva et al.: 2023: 189-206; Sin et al.: 2020: 106862; He et al.: 2020: 1857-1869; Cui et al.: 89358-89386). مطابق تخمین‌ها حدود ۹۱٪ از جمعیت شهرنشین جهان در معرض انواع آلودگی‌ها قرار دارند که در این ارتباط سهم کشور های در حال توسعه و کم درآمد خیلی بیشتر است. به همین منظور کیفیت هوای شهری به یک مساله مهم زیست محیطی در دنیا تبدیل شده است (Cao et al.: 2011: 1594-1600; Shi et al.: 2018: e532-e539; Zheng et al.: 2022: 108746).

آلودگی هوا در سطح شهرها بر اثر عوامل مختلفی از جمله فعالیت‌های صنایع و کارخانه‌ها، تردد خودروها، استفاده از سوخت‌های فسیلی به منظور سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها و مواردی از این قبیل ایجاد می‌شود. در این ارتباط تردد خودروها در سطح شهرها، یکی از مهمترین عوامل تولید و انتشار آلودگی در فضاهای شهری است (Fischer et al.: 2000: 3713-3722; Janssen et al.: 2001: 3875-3884; Rijnnders et al.: 2005: 303-322; Zhu et al.: 2016: 138-146; Tong et al.: 2001: 411-417). استفاده از وسایل نقلیه علاوه بر تولید گازهای گلخانه‌ای، باعث انتشار گرد و غبار ناشی از جابجایی آنها در سطح شهر می‌شود. این موضوع علاوه بر اینکه باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی متعدد می‌شود، اثرات نامطلوبی در سلامتی افراد به ویژه در سیستم تنفسی آنها دارد (Brunekreef & Holgate): 2002: 1233-1242; Chen & Zhao: 2011: 275-288; Dockery et al.: 1993: 1753-1759; EPA: 2011: 275-288; Peters et al.: 2000: 1215-1222; Pope 3rd et al.: 2000: 11-17; Gold et al.: 2005: 470-470; Klemm et al.: 1999: 470-470; Yu et al.: 1995: 472-480; Schwartz et al.: 2000: 1209-1214; 1996: 927-939).

افراد بیش از ۸۰ درصد از زمان خود را در درون ساختمان‌ها می‌گذرانند (Colome et al.: 1992: 2173-2178; Jenkins et al.: 2005: 303-322, 2141-2148; Zhu et al.: 2011: 275-288; Jenkins et al.: 2011: 2141-2148). بنابراین افزایش کیفیت هوای داخل و کاهش نفوذ آلاینده‌های خارجی به درون ساختمان‌ها، یکی از مهمترین چالش‌ها در طراحی و ساخت ساختمان‌ها است (Chen & Zhao): 2011: 275-288; Zhang et al.: 2016: 138-146; Zhang et al.: 2014: 1645-1655). عوامل مختلفی بر ورود آلاینده‌ها به داخل ساختمان‌ها تاثیرگذار هستند که از جمله مهمترین آنها، ویژگی‌های شکلی آنها است (Chen & Zhao): 2011: 275-288. عناصر و اجزای مختلف ساختمان با تاثیر بر الگوی جریان هوا و تهویه، می‌توانند باعث کاهش و یا افزایش ورود انواع آلاینده‌ها به فضای داخلی شوند (Chen & Zhao): 2011: 275-288; Lee et al.: 2011: 1689-1693). از جمله این عناصر می‌توان به نوع بازشو، اندازه و محل آنها، چیدمان دکوراسیون، ارتفاع ساختمان، نمای آنها، فرم بالکن‌ها و... اشاره نمود (Aflaki et al.): 2015: 153-162; Cao et al.: 2017: 504-516; Omrani et al.: 2011: 1594-1600). از میان موارد گفته شده، در این مقاله به بررسی ویژگی‌های شکلی بالکن در ساختمان‌ها و تاثیر آن بر کاهش میزان آلودگی‌های ترافیکی به درون ساختمان پرداخته خواهد شد.

در اکثر پژوهش‌های انجام شده، تاثیر بالکن بر الگوی جریان هوا و کیفیت تهویه طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که کمتر پژوهشی به نقش ویژگی‌های شکلی بالکن بر میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از ترافیک در فضای داخل پرداخته است. لازم به ذکر است در مواردی که تاثیر بالکن بر انتشار آلودگی را مورد بررسی قرار داده‌اند، پژوهش در فضای باز انجام گرفته است و تاثیر آن بر الگوی انتشار آلودگی در فضای بسته پشت بالکن مورد بررسی قرار نگرفته است. بر همین اساس در پژوهش حاضر، ویژگی‌های شکلی بالکن بر میزان انتشار آلودگی در فضای داخلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ارتباط با ویژگی‌های شکلی بالکن، پارامترهای هندسه، جان‌پناه و دیوار بال مد نظر قرار خواهد گرفت که بر اساس آن ۱۰ نمونه موردی به شرح زیر استخراج گردید:

- متغیر هندسه: منظور از متغیر هندسه بالکن، فرم ظاهری آن می‌باشد که در این مقاله به شکل‌های منحنی، مثلث و نیم دایره در نظر گرفته شده‌اند. این موارد در Case\_02 تا Case\_04 معرفی شده‌اند.
- متغیر جان‌پناه: در این مقاله تاثیر متغیر جان‌پناه در قالب استفاده از جان‌پناه یکپارچه (صلب) و نرده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در Case\_05 تا Case\_08 جان‌پناه به صورت نرده‌ای و در بقیه موارد به صورت صلب نمایش داده شده است.

• متغیر دیوار بال: دیوار بال یا دیوار جانبی (wing wall) در دو طرف یا یک طرف بالکن قرار دارد و با جانپاه صلب یا نرده‌ای ترکیب شده است. این موارد در Case\_07 تا Case10 ارائه شده است.

• Case\_01 نیز به عنوان نمونه مرجع انتخاب شد که نمونه‌ها در مقایسه با آن مورد سنجش قرار خواهند گرفت. توضیحات بیشتر پیرامون نمونه‌ها در بخش نمونه‌های موردی در جدول ۱ ارائه شده است. میزان غلظت آلاینده‌ها در فضای پشت بالکن (فضای داخلی) به عنوان متغیر وابسته مد نظر قرار گرفته است. ساختمان مورد بررسی شامل یک ساختمان پنج طبقه است که از طبقه اول تا چهارم دارای بالکن است. این ساختمان در فاصله ۴۰ متری از یک بزرگراه شهری به عنوان مرکز انتشار آلاینده‌های ترافیکی قرار دارد. از میان آلاینده‌های متاثر از ترافیک شهری، آلاینده نیتروژن دی اکسید ( $\text{NO}_2$ ) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات مختلفی به نقش ویژگی‌های شکلی ساختمان‌ها بر الگوی جریان هوا و تهویه در فضاهای بیرونی و درونی بنا پرداخته‌اند؛ این در حالی است که پژوهش‌های اندکی به تأثیر این موضوع بر الگوی انتشار آلودگی در فضای داخلی ساختمان پرداخته است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه سین و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر بالکن‌هایی با پیوستگی و ناپیوستگی در دره‌های خیابانی نامتقارن جهت تهویه دره از آلاینده‌هایی که با آن در تماس می‌باشند اشاره نمود. آنها در مطالعه خود دریافتند که بالکن‌های ناپیوسته نسبت به بالکن‌های پیوسته میزان تهویه هوا و پراکندگی آلاینده را با ورود هوای تازه به داخل دره بهبود می‌بخشد و باعث کاهش میزان قرار گرفتن عابرین در برابر آلاینده‌ها می‌شود (Sin et al., 2023: 89358-89386). همچنین ژنگ و همکارانش (۲۰۲۲) تأثیر ویژگی نما را بر پراکندگی آلاینده‌ها در دره‌های خیابانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بالکن‌ها به شدت بر جریان باد و پراکندگی آلاینده‌ها در دره‌های خیابانی اثر می‌گذارند و مانع نفوذ جریان باد به عمق دره‌های خیابانی، افزایش میانگین وزنی غلظت آلاینده‌ها و کاهش میانگین سرعت تبادل آلاینده‌ها می‌شود (Zheng et al., 2022: 108746). تانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر عواملی چون فاصله ساختمان تا منبع آلودگی، جهت باد، اندازه ذرات، محل باز شو و اندازه آن بر کیفیت هوای داخل پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش فاصله ساختمان از منبع آلودگی، غلظت ذرات ورودی به بنا کاهش می‌یابد (Tong et al., 2016: 138-146). کریمی مشاور و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به بررسی تأثیر هندسه و موقعیت بالکن با استفاده از تهویه یک طرفه بر روی ساختمان‌های بلند مرتبه در اقلیم گرم و خشک همدان پرداخته است. آنها دریافتند که بالکن با عرض ۴/۵ متر و عمق ۱/۵ متر بهترین هندسه برای شهر همدان می‌باشد (Karimimoshaver et al., 2023: 2174-2193).

تعدادی از محققان در پژوهش‌های خود تأثیر برخی از پارامترهای طراحی از جمله موقعیت و جهت ساختمان، پارتیشن‌های داخلی، اندازه پنجره‌ها و تأثیرات شکلی سقف و بالکن را بر جریان هوای داخلی جهت بهبود سطح آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار داده‌اند (Chand et al., 1997: 1-11; Kindangen et al., 1998: 385-396; Chiang et al., 2000: 579-585; Edi Prianto et al., 1978; Olgay, 2000: 80-95; Kukreja, 2015; ۲۰۰۲). پریانتو و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی اثر ترکیبی بالکن، تقسیم بندی داخلی و طراحی باز بر الگوی جریان هوا داخل ساختمان واقع در طبقه دوم پرداخته‌اند. برای مشاهده الگوی جریان هوا در داخل ساختمان، از ضریب میانگین سرعت در ارتفاع ۱ و ۱/۵ متر برای فعالیت با وضعیت نشسته و ایستاده استفاده کرده‌اند. آنها دریافتند که وجود بالکن برای افزایش حرکت طبیعی هوای داخل خانه مفید می‌باشد (Eddy Prianto & Depecker, 2002: 401-409). مظفری و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی‌های خود دریافتند که بالکن می‌تواند به صورت قابل توجهی الگوی جریان هوا را در خارج و داخل ساختمان تغییر دهد. به همین منظور از بالکن می‌توان به عنوان یک ویژگی معماری که باعث بهبود عملکرد تهویه طبیعی در داخل ساختمان می‌شود استفاده نمود (Ghadikolaei et al., 2013: 639-645). پریانتو و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه خود به بررسی تأثیر طراحی معماری در ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی برای دستیابی به آسایش حرارتی در مناطق مرطوب و گرمسیری پرداخته‌اند. کاربرد برخی از عناصر طراحی معماری مانند نوع و مکان پنجره، تقسیم بندی داخلی و پیکربندی بالکن با استفاده از شبیه سازی عددی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که وجود بالکن بیش از تنظیمات پنجره و تقسیم بندی داخلی، در بهبود شرایط حرارتی داخل خانه تأثیرگذار است (Eddy Prianto &

Depecker (2003: 273-280). این موضوع در پژوهش‌های مختلفی نیز مورد بررسی قرار گرفته است که خلاصه ای از این تحقیقات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- بررسی تاثیر بالکن بر غلظت آلاینده، تهویه طبیعی (NV) و کیفیت هوای داخلی (IAQ)

| مرجع                            | هدف                                                                  | متغیر مستقل                    | متغیر وابسته                                   | نرم افزار    | روش تحقیق | نتیجه‌گیری                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|--------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Tao et al., 2023: 105420)      | بررسی جریان های همرفتی در نزدیکی نمای ساختمان دارای بالکن            | بالکن                          | تبادل حرارتی همرفتی اجباری در سطوح نما و بالکن | Ansys Fluent | Numerical | وجود بالکن باعث کاهش میانگین سطح ضریب انتقال حرارت همرفتی نماهای رو به باد و پشت به باد می‌شود.                                                                                                                     |
| (Izadyar et al., 2020: 106847)  | تاثیر عمق بالکن و اندازه بازشوها بر روی تهویه طبیعی و آسایش حرارتی   | بالکن و بازشو                  | آسایش حرارتی                                   | Ansys Fluent | Numerical | عمق بالکن و اندازه بازشوها بر توزیع هوای داخل، میانگین سرعت هوای داخل و دما تاثیرگذار است ولی اندازه بازشوها تاثیر بیشتری دارد.                                                                                     |
| Mohamed et al., 2011: 1954-1961 | بررسی بالکن در نمای ساختمان مسکونی بلند و تاثیر آن بر عملکرد تهویه   | بالکن و تهویه یک‌طرفه          | کیفیت هوای داخلی (IAQ) و آسایش حرارتی          | ---          | ---       | ترکیب درست بالکن با تهویه طبیعی یک‌طرفه باعث بهبود عملکرد تهویه ساختمان های مسکونی مرتفع می‌شود.                                                                                                                    |
| (Omran et al., 2017: 504-516)   | بررسی نقش بالکن بر روی تهویه طبیعی و آسایش حرارتی ساختمان های مسکونی | بالکن، حالات تهویه و زاویه باد | آسایش حرارتی                                   | Ansys Fluent | Numerical | بالکن در یک ساختمان با تهویه یک‌طرفه باعث بهبود تهویه طبیعی می‌شود ولی در ساختمانی با تهویه متقاطع باعث کاهش می‌شود. پارامتر زاویه باد بر تهویه طبیعی برای هر دو حالت نسبت به بقیه پارامترها بیشترین تاثیر را دارد. |

از تحلیل پیشینه تحقیق موارد زیر قابل برداشت است:

- در اکثر پژوهش‌ها، نقش بالکن بر تهویه درون بنا مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که آلودگی در پژوهش‌های انجام شده مشخصاً به نقش بالکن بر الگوی انتشار آلودگی در فضا پرداخته‌اند. در این موارد، پراکندگی آلاینده‌ها در فضاهای باز مد نظر قرار گرفته است.
- در پژوهش‌های انجام شده، انتشار آلاینده‌ها عموماً در فضای بیرون مورد بررسی قرار گرفته و کمتر تحقیقی بر تاثیر این متغیر در فضای داخلی ساختمان تمرکز نموده است؛
- منبع آلودگی مورد بررسی در پژوهش‌های انجام گرفته، آلودگی‌های ناشی از ترافیک وسایل نقلیه در شهرها بوده است.
- در ارتباط با نقش ویژگی‌های هندسی ساختمان بر الگوی انتشار آلودگی، تاثیر برخی پارامترها مانند فاصله ساختمان تا منبع آلودگی، جهت باد، اندازه ذرات، محل و اندازه بازشوها بر کاهش آلاینده‌ها در محیط داخل مورد بررسی قرار گرفته است.
- در تعدادی از این پژوهش‌ها تاثیر بالکن بر جریان‌های نزدیک نما و تهویه طبیعی داخل بالکن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.
- در تعداد بیشتری از تحقیقات، نقش پارامترهای مختلف بالکن بر تهویه طبیعی، کیفیت هوا و آسایش حرارتی فضای داخل یا خارج از بنا مورد بررسی قرار گرفته است. در این ارتباط ویژگی‌هایی از بالکن مانند عمق، طول، اندازه و محل بازشوها و دیوار بال بر تهویه طبیعی مورد بررسی واقع شده‌اند؛ این در حالی است که نقش هیچکدام از این پارامترها بر الگوی انتشار آلاینده‌های شهری مورد بررسی قرار نگرفته است.
- روش مورد استفاده در این مقالات، عموماً شبیه سازی عددی CFD بوده است؛ در موارد محدودی نیز از آزمایش تونل باد استفاده شده است.

• در مقالات مورد بررسی، آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخلی، جریان باد و غلظت آلاینده‌ها به عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

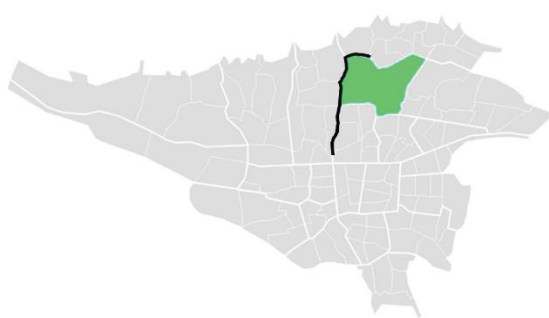
همانگونه که در فوق اشاره شد، در اکثر پژوهش‌های انجام شده، تأثیر بالکن بر الگوی جریان هوا و کیفیت تهویه طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که کمتر پژوهشی به نقش ویژگی‌های هندسی بالکن بر میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از ترافیک در فضای داخل پرداخته است. لازم به ذکر است در مواردی که تأثیر بالکن بر انتشار آلودگی را مورد بررسی قرار داده‌اند، پژوهش در فضای باز انجام گرفته است و تأثیر آن بر الگوی انتشار آلودگی در فضای بسته پشت بالکن مورد بررسی قرار نگرفته است. بر همین اساس در پژوهش حاضر، ویژگی‌های شکلی بالکن (هندسه، جان‌پناه نرده‌ای و دیوار بال) بر کیفیت هوای داخل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## محدوده مورد مطالعه

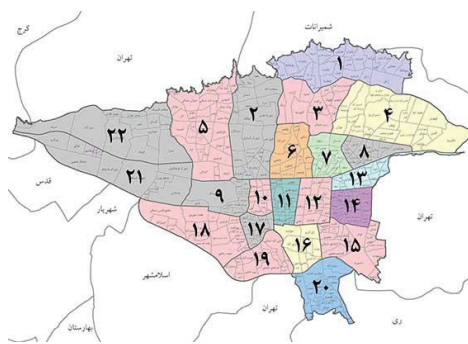
تهران پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران و مرکز استان تهران است. این شهر در سال ۱۴۰۱ جمعیتی بالغ بر ۹۰۳۹۰۰۰ نفر داشته است و براساس سنجش سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و غرب آسیا می‌باشد. براساس دسته بندی تهران جز اقلیم‌های نیمه خشک است که هوای آن در مناطق شمالی حدوداً ۲ تا ۳ درجه سانتیگراد خنک‌تر از مناطق جنوبی شهر است. مسیر اصلی و جهت باد غالب در این شهر، شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. تهران از آلودگی هوا رنج می‌برد که عواملی چون جغرافیا، وسایل نقلیه مانند خودروها و موتورسیکلت‌ها، سوخت خانه‌ها و آلودگی حاصل از کارخانه‌ها بر روی آن تأثیر دارد. آلاینده‌های اصلی در هوای تهران مانند اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، مونوکسیدکربن، ترکیبات آلی فرار و ذرات معلق هستند (وبسایت ویکی‌پدیا، ۲۵ خرداد ۱۴۰۳) که در این پژوهش به آلاینده  $NO_2$  در هوا پرداخته شده است.

کلان شهر تهران شامل ۲۲ منطقه و ۱۱۲ ناحیه شهری می‌باشد (وبسایت ویکی‌پدیا، ۲۵ خرداد ۱۴۰۳) (تصویر ۱. الف). منطقه مدنظر در این پژوهش منطقه ۳ شهرداری تهران می‌باشد. این منطقه با مساحتی بالغ بر ۳ هزار هکتار یکی از بزرگترین مناطق تهران است که از شمال به بزرگراه‌های شهید چمران، شهید مدرس و شهید صدر، از شرق به خیابان پاسداران و بخشی از خیابان شریعتی، از جنوب به بزرگراه‌های شهید قاسم سلیمانی و شهید همت و از غرب به بزرگراه شهید چمران محدود شده است. منطقه ۳ دارای ۶ ناحیه و ۱۲ محله می‌باشد (وبسایت ویکی‌پدیا، ۱۷ خرداد ۱۴۰۳). بزرگراه مدنظر برای منبع آلودگی بزرگراه شهید چمران می‌باشد (وبسایت ویکی‌پدیا، ۲۵ خرداد ۱۴۰۳) (تصویر ۱. ب). دلیل انتخاب این بزرگراه، فاصله آن تا ساختمان‌های هدف و سنجش ترافیک عبوری خودرو در آن است. نحوه اثرگذاری شرایط محیطی در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- فاصله بزرگراه تا ساختمان‌های هدف: براساس مشاهدات میدانی این فاصله در حدود متوسط ۴۰ متر در نظر گرفته شده است.
- سنجش ترافیک عبوری خودرو در بزرگراه شهید چمران تهران: براساس مطالعات انجام شده از سوی معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، روزانه میزان رفت و برگشت خودرو در بزرگراه چمران از شرق به غرب و از غرب به شرق ۱۱۰ هزار خودرو محاسبه شده است (معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، ۱۳۹۶)

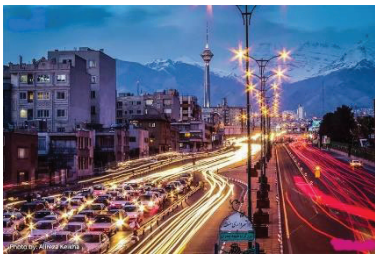


ب. منطقه ۳ و بزرگراه شهید چمران



الف. مناطق شهر تهران

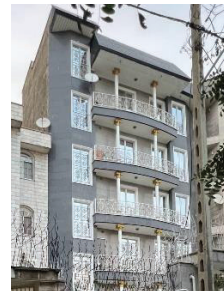
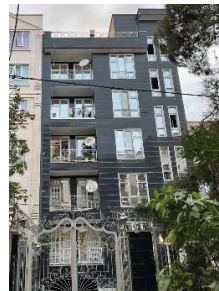
تصویر ۱. نقشه شهر تهران (منبع: (وبسایت ویکی‌پدیا، ۲۵ خرداد ۱۴۰۳))



تصویر ۲. همجواری ساختمان‌های مسکونی با بزرگراه‌ها در تهران به عنوان منبع تولید آلاینده‌های ناشی از ترافیک خودرو در کلانشهرها (منبع: (وبسایت همشهری، ۱۶ دی ۱۳۹۲)، (وبسایت افکارنیوز، ۱۲ آذر ۱۴۰۲) و (وبسایت کجارو، ۱۸ مرداد ۱۳۹۵))

همانگونه که پیش‌تر عنوان شد متغیر مستقل در این پژوهش، ویژگی‌های هندسی بالکن در ساختمان‌های پیرامون بزرگراه است. به منظور استخراج الگوهای بالکن در ساختمان‌های موجود در محدوده مورد مطالعه، یک برداشت میدانی از ۱۵۰ ساختمان بالکن دار در این محدوده انجام گرفت که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

- مطابق برداشت‌های میدانی، ۷۷ درصد از ساختمان‌های بالکن‌دار در محدوده مورد مطالعه دارای بالکن با الگوی هندسی منظم (مستطیل شکل) هستند. از این تعداد ۵۸ درصد دارای جان‌پناه نرده‌ای و ۴۲ درصد دارای جان‌پناه صلب می‌باشند. همچنین از این تعداد ۷۸ درصد دارای دیوار بال در دو طرف بالکن و ۲۲ درصد دارای دیوار بال تنها در یک طرف بالکن هستند.
  - ۲۳ درصد از ساختمان‌های بالکن دار در محدوده مورد مطالعه دارای بالکن با الگوی هندسی غیرمنظم (نیم دایره و منحنی شکل) هستند که از این تعداد ۵۶ درصد دارای جان‌پناه نرده‌ای و ۴۴ درصد دارای جان‌پناه صلب می‌باشند.
- چند نمونه از بالکن‌های مورد بررسی در تصویر ۳ نشان داده شده است.

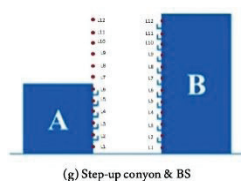


تصویر ۳. نمونه‌هایی از بالکن‌های بررسی شده در آپارتمان‌های مسکونی پیرامون بزرگراه شهید چمران

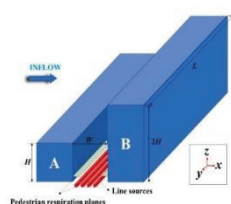
## روش تحقیق

در این مقاله به یکی از ویژگی‌های نما یعنی بالکن در مقابل آلاینده‌های ترافیکی پرداخته شده است. در این تحقیق ابتدا ۱۰ مدل سه بعدی از ساختمان ۵ طبقه دارای بالکن در تمام طبقات بجز طبقه همکف شبیه سازی شده است که تفاوت آن‌ها در بالکن می‌باشد. این تفاوت‌ها در هندسه بالکن، جان‌پناه و دیوار بال در بالکن‌ها مقایسه شده است. سپس، براساس نتایج بدست آمده از آزمایش تونل باد، مطالعات اعتبار سنجی برای مدل‌های CFD انجام می‌گیرد.

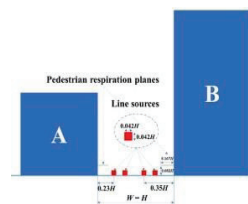
اعتبارسنجی نرم افزار در پژوهش حاضر بر اساس پژوهش سین و همکاران (۲۰۲۳) انجام گرفته است. در مقاله آنها بالکن‌ها به صورت پیوسته و ناپیوسته طراحی شده‌اند که برای هر کدام از این ۲ مدل بالکن، یک ساختمان مرجع بدون بالکن و ۶ نمونه موردی با بالکن با در نظر گرفتن مکان قرار گیری بالکن (پشت به باد (LS)<sup>۱</sup>، رو به باد (WS)<sup>۲</sup> و هر دو طرف (BS)<sup>۳</sup>) در نظر گرفته شده است. بنابراین در مجموع ۱۴ نمونه موردی دره نامتقارن در پژوهش سین و همکاران (۲۰۲۳) مورد بررسی قرار گرفته است. مدل g در بالکن‌های ناپیوسته به منظور مدل اعتبارسنجی در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است (تصویر ۴). این مدل با مقیاس ۱/۱۵۰ طراحی شده و شامل دو ساختمان نامتقارن ۶ و ۱۲ طبقه که به ترتیب با ارتفاع (H) ۰/۱۲ متر و (2H) ۰/۲۴ متر، طول و عرض مشابه 10H و H دارای بالکن‌هایی به ابعاد ۶×۱/۵ متر مربع می‌باشد. در خیابان میانی، ۴ ردیف مکعب مستطیل به ابعاد 0.042H × 0.042H × 10H متر مکعب به عنوان منبع آلودگی در نظر گرفته شده است (تصویر ۵). اندازه گیری‌ها در امتداد یک خط عمودی در مجاورت دیوار رو به خیابان و با فواصل ۳ متری از یکدیگر انجام گرفته است (تصویر ۶).



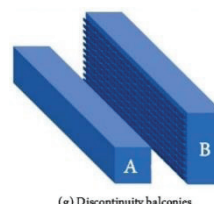
تصویر ۶. سه بعدی مدل اعتبارسنجی



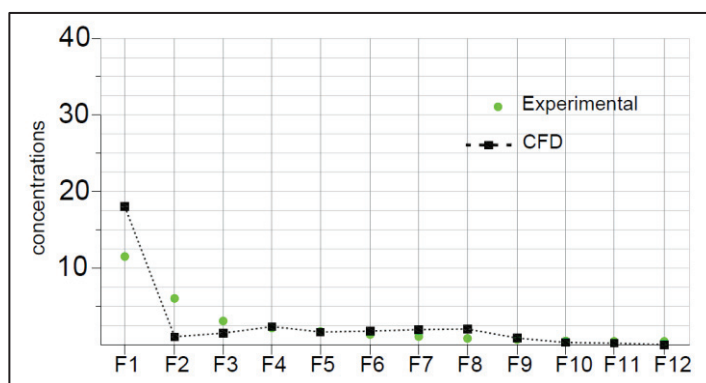
تصویر ۵. اندازه‌گیری مدل اعتبارسنجی



تصویر ۴. مدل گ (بالکن ناپیوسته)

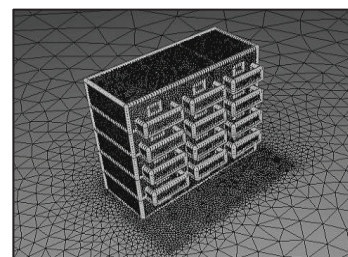
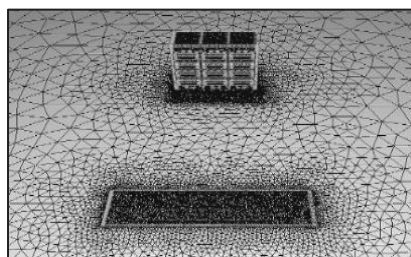
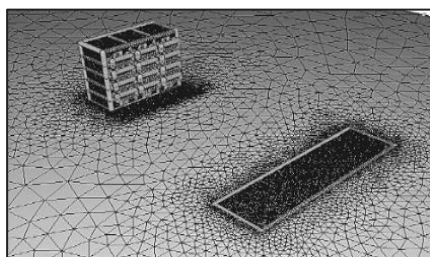


در پژوهش اعتبارسنجی از گاز سولفور هگزا فلوراید ( $\text{SF}_6$ ) غلظت  $1.506\text{e-}05$  متر مربع بر ثانیه به عنوان منبع آلودگی استفاده شده است. تصویر ۷ نتایج اعتبارسنجی CFD و مدل تجربی در ارتباط با غلظت آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. همانگونه که در تصویر مشاهده می‌شود، انطباق تقریباً زیادی بین نتایج CFD و Exp وجود دارد. با توجه به اینکه میانگین خطا برای غلظت آلاینده‌ها، ۶ درصد می‌باشد می‌توان اعتبار نرم افزار مورد استفاده را جهت شبیه سازی نمونه موردی‌های پژوهش حاضر تایید کرد.



تصویر ۷. مقایسه نتایج تونل باد و CFD برای اعتبارسنجی CFD

بر اساس دامنه محاسباتی که در اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفته است، ابعاد این دامنه در تحلیل نمونه‌ها مطابق دستورالعمل (Tominaga et al., 2008: 1749-1761) استفاده شده است. با توجه به این که ارتفاع (H) در نمونه‌های موردی ۱۶ متر می‌باشد، ابعاد دامنه محاسباتی  $(W \times L \times H)$  معادل  $۱۹۷/۶ \times ۳۷۷/۴ \times ۹۶$  متر مکعب در نظر گرفته شده است. محاسبات شبیه سازی CFD در فضای داخلی انجام می‌شود که میزان غلظت آلاینده در محیط داخل ساختمان مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در شبکه مش، از مش شش وجهی استفاده شده که تعداد سلول‌ها در نمونه‌های موردی پژوهش بین  $۴/۵$  تا  $۸/۵$  میلیون در نوسان است. در تصویر ۸ الگوی مش Case\_01 نمایش داده شده است.



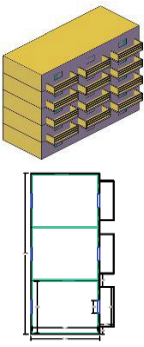
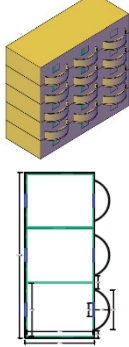
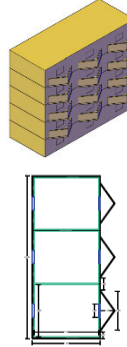
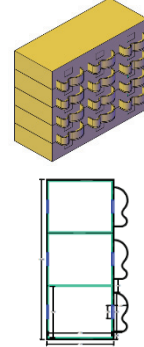
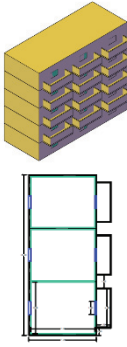
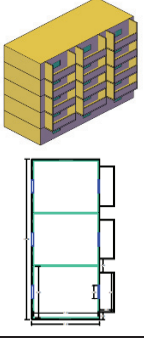
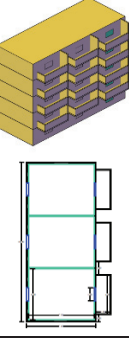
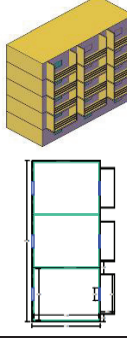
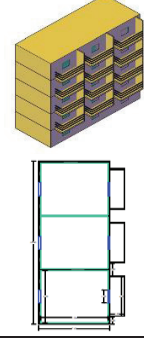
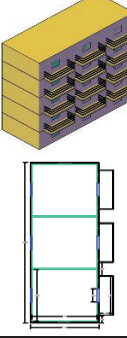
تصویر ۸. شبکه محاسباتی برای Case\_01

در ورودی دامنه سرعت ۳ متر بر ثانیه و در خروجی دامنه فشار استاتیکی صفر در نظر گرفته شده است. همچنین نرخ جریان جرمی ۵ کیلوگرم بر ثانیه و اسکالار  $۰/۰۱$  برای منبع آلاینده در نظر گرفته شده است. سایر تنظیمات برای شبیه سازی CFD نمونه‌ها، با تنظیمات استفاده شده در نمونه اعتبارسنجی یکسان است. با این تفاوت که آلاینده مورد بررسی در نمونه‌های موردی  $\text{NO}_2$  می‌باشد، که ضریب انتشار آن  $1.54\text{e-}05$  متر مربع بر ثانیه در بخش جنرال اسکالار وارد شده است.

## معرفی نمونه موردی

در این پژوهش ۱۰ نمونه، مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲). نمونه‌های موردی بر روی یک ساختمان ۵ طبقه کاملاً مشابه اعمال شده‌اند. تفاوت نمونه‌ها در نوع بالکن از لحاظ هندسه، جان‌پناه و دیوار بال می‌باشد. جدول ۲ ویژگی‌های بیشتری از این نمونه‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۲-لیست نمونه موردی‌ها

|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |   |   |
| Case 05                                                                            | Case 04                                                                            | Case 03                                                                            | Case 02                                                                             | Case 01                                                                              |
| بالکن از یک طرف نرده<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                             | بالکن نیم دایره<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                                  | بالکن مثلث<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                                       | بالکن منحنی<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                                       | نمونه پایه بالکن<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                                   |
|  |  |  |  |  |
| Case 10                                                                            | Case 09                                                                            | Case 08                                                                            | Case 07                                                                             | Case 06                                                                              |
| بالکن دو طرف دیوار بال<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                           | بالکن یک طرف دیوار بال<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                           | بالکن یک طرف دیوار بال<br>و یک طرف نرده<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                          | بالکن دو طرف دیوار بال و<br>دو طرف نرده<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                           | بالکن از سه طرف نرده<br>۱/۵ در ۴/۵ متر                                               |

## یافته‌های تحقیق

در این بخش به تحلیل و بررسی نمونه‌های موردی بر اساس شاخص غلظت آلاینده  $\text{NO}_2$  درون نمونه‌ها پرداخته شده است. در جدول ۳ تصاویر کانتورها ارائه شده است. در این تصاویر رنگ آبی تیره نشانگر غلظت کم آلاینده و رنگ قرمز نشانگر غلظت زیاد آلاینده می‌باشد. تمام بررسی‌ها در مورد اتاق‌های ردیف وسط می‌باشد. نتایج به دست آمده در خصوص میزان غلظت آلاینده‌ها در هر ساختمان در مقایسه با نمونه مرجع (Case-01) به شرح زیر است:

- در تمامی نمونه‌های موردی، غلظت آلاینده‌ها در طبقه همکف و طبقه سوم بیشتر از طبقه دوم و طبقه چهارم می‌باشد که بر اساس نوع بالکن غلظت آلاینده در هر نمونه موردی طبقات متفاوتی را نشان می‌دهد.

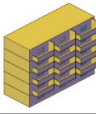
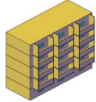
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_01 در طبقه دوم با مقدار ۱/۵۴ درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه چهارم با مقدار ۴۳/۳ درصد مشاهده شده است.

- کمترین غلظت آلاینده در Case\_02 در طبقه دوم با مقدار ۰/۰۳ درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه همکف با مقدار ۵۹/۲۲ درصد مشاهده شده است.

- کمترین غلظت آلاینده در Case\_03 در طبقه چهارم با مقدار  $0/3$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه سوم با مقدار  $59/15$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_04 در طبقه دوم با مقدار  $0/02$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه همکف با مقدار  $63/52$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_05 در طبقه چهارم با مقدار  $0/04$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه همکف با مقدار  $49/45$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_06 در طبقه چهارم با مقدار  $0/06$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه همکف با مقدار  $29/63$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_07 در طبقه چهارم با مقدار  $0/01$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه همکف با مقدار  $43/86$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_08 در طبقه چهارم با مقدار  $0/04$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه سوم با مقدار  $71/32$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_09 در طبقه دوم با مقدار  $0/22$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقه سوم با مقدار  $91/16$  درصد مشاهده شده است.
- کمترین غلظت آلاینده در Case\_10 در طبقه چهارم با مقدار  $0/06$  درصد و بیشترین مقدار آن در طبقات دوم و سوم با مقدار  $123/04$  و  $83/52$  درصد مشاهده شده است.

جدول ۳- موارد غلظت حداقل و حداکثر برای هر نمونه موردی

| Case No. | Form pattern | TOT PCT (%) | Concentration amount (%) |        | Floor | Concentration Contour |
|----------|--------------|-------------|--------------------------|--------|-------|-----------------------|
| Case_01  |              | 100%        | Min                      | 1/54%  | F2    |                       |
|          |              |             | Max                      | 43/30% | F4    |                       |
| Case_02  |              | 85/07%      | Min                      | 0/03%  | F2    |                       |
|          |              |             | Max                      | 59/22% | F0    |                       |
| Case_03  |              | 129/86%     | Min                      | 0/3%   | F4    |                       |
|          |              |             | Max                      | 59/15% | F3    |                       |
| Case_04  |              | 95/15%      | Min                      | 0/02%  | F2    |                       |
|          |              |             | Max                      | 63/52% | F0    |                       |
| Case_05  |              | 67/09%      | Min                      | 0/04%  | F4    |                       |
|          |              |             | Max                      | 49/45% | F0    |                       |
| Case_06  |              | 34/486%     | Min                      | 0/06%  | F4    |                       |
|          |              |             | Max                      | 29/63% | F0    |                       |
| Case_07  |              | 73/73%      | Min                      | 0/01%  | F4    |                       |
|          |              |             | Max                      | 43/86% | F0    |                       |
| Case_08  |              | 135/16%     | Min                      | 0/04%  | F4    |                       |
|          |              |             | Max                      | 71/32% | F3    |                       |

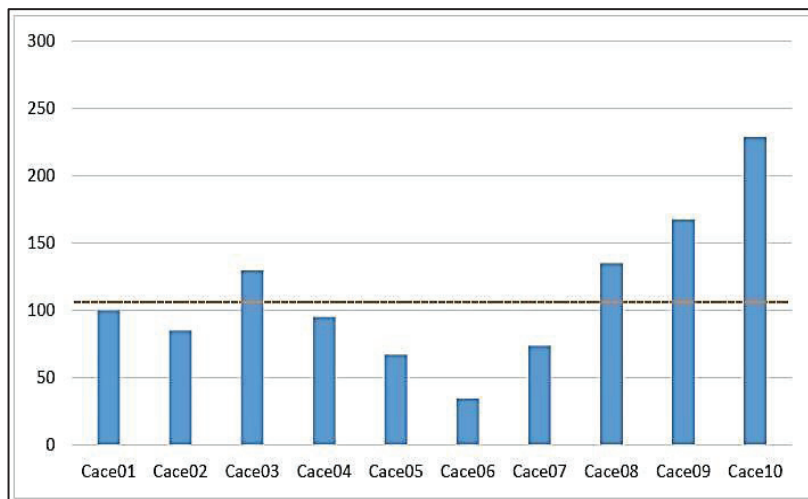
| Case_ No. | Form pattern                                                                      | TOT PCT (%) | Concentration amount (%) | Floor   | Concentration Contour |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|---------|-----------------------|
| Case_ 09  |  | ۱۶۷/۵۷%     | Min                      | ۰/۲۲%   | F2                    |
|           |                                                                                   |             | Max                      | ۹۱/۱۶%  | F3                    |
| Case_ 10  |  | ۲۲۸/۷%      | Min                      | ۰/۰۶%   | F4                    |
|           |                                                                                   |             | Max                      | ۱۲۳/۰۴% | F2                    |
|           |                                                                                   |             | Max                      | ۸۳/۵۲%  | F3                    |

✱ در جدول فوق منظور از TOT PCT (Total percentage).

F0 طبقه همکف، F1 طبقه اول، F2 طبقه دوم، F3 طبقه سوم و F4 طبقه چهارم می باشد.

بر اساس جدول فوق می توان این گونه نتیجه گرفت که کمترین غلظت آلاینده در Case\_06 با مقدار ۳۴/۴۸۶ درصد و بیشترین غلظت آلاینده در Case\_10 با مقدار ۲۲۸/۷ درصد می باشد.

در تصویر ۹ نمودار میانگین غلظت  $\text{NO}_2$  در نمونه های موردی در مقایسه با استاندارد اشری نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار مشاهده می شود کمترین میزان غلظت در Case\_06 و بیشترین میزان در Case\_10 مشاهده شده است. همچنین در میان نمونه ها به ترتیب نمونه های Case\_05، Case\_07، Case\_02، Case\_04 و Case\_03 غلظتی کمتر از میزان استاندارد و Case\_09، Case\_10، Case\_08 و Case\_03 به ترتیب غلظت بالاتر از میزان استاندارد اشری را نشان می دهند.



تصویر ۹. میانگین غلظت  $\text{NO}_2$  مطالعات موردی در مقایسه با استاندارد اشری

## بحث و نتیجه گیری

این مقاله با هدف تعیین بهترین مدل هندسه و شکل ساختاری بالکن بر کاهش ورود آلاینده های ترافیکی به داخل ساختمان و متقابلاً افزایش کیفیت هوای داخلی (AIQ) در یک ساختمان میان مرتبه مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر بررسی شده در این پژوهش معیار کاهش غلظت آلاینده های ورودی به درون ساختمان می باشد. ۱۰ نمونه بالکن متفاوت از نظر هندسه، جان پناه و دیوار بال در نظر گرفته و در CFD شبیه سازی شده است. بر اساس استاندارد اشری کمترین غلظت مربوط به Case\_06 با کمترین محصوریت و بیشترین غلظت مربوط به Case\_10 با بیشترین محصوریت می باشد. علاوه بر این، مهمترین نتایج این تحقیق شامل موارد زیر است:

- فرم هندسی بالکن بر کیفیت هوای داخل تاثیر دارد به نحوی که از میان فرم های مختلف، بالکن های منحنی شکل، کمترین مقدار آلاینده ها را به فضای داخلی ساختمان انتقال می دهد. بالکن های منحنی (Case\_02) و دایره ای شکل (Case\_04) به ترتیب ۱۴/۹۳ و ۴/۸۵ درصد باعث کاهش ورود آلاینده در داخل ساختمان شده اند. این در حالی است که Case\_03 با بالکن مثلث شکل باعث افزایش ۲۹/۸۶ درصدی غلظت آلاینده در فضای داخلی ساختمان شده است (جدول ۳)

- از نظر جان پناه و دیوار بال نتایج نشان داد که بهترین حالت Case\_06 می‌باشد. در این نمونه بالکن از هر سه طرف دارای جان پناه نرده‌ای است. Case\_05، Case\_06 و Case\_07 به ترتیب باعث کاهش ۳۲/۹۱، ۶۵/۵۱۴ و ۲۶/۲۷ درصد غلظت آلاینده شده‌اند و Case\_08، Case\_09، Case\_10 نیز به ترتیب غلظت آلاینده را به میزان ۳۵/۱۶، ۶۷/۵۷ و ۱۲۸/۷ درصد افزایش داده‌اند (جدول ۳).

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین برداشت نمود که با افزایش محصوریت بالکن در ساختمان‌های میان مرتبه که در مجاورت بزرگراه‌های شهری قرار دارند، غلظت آلاینده‌های ورودی به بنا افزایش می‌یابد به نحوی که در Case\_10 با بیشترین میزان محصوریت (بالکن با دو طرف دیوار بال)، بیشترین میزان انباشت آلاینده‌ها در فضای داخلی مشاهده شده است. در حالی که با کاهش محصوریت در بالکن، میزان انباشت آلودگی در داخل ساختمان کاهش می‌یابد. این موضوع در Case\_06 با کمترین میزان محصوریت (بالکن از سه طرف نرده‌ای) قابل مشاهده است. در مطالعات آینده می‌توان الگوی فرمی متنوع‌تری از بالکن به همراه جهت باد و تغییرات ارتفاعی ساختمان را بر کیفیت هوای داخل مورد بررسی قرار داد.

### پی‌نوشت‌ها

1. Leeward side (LS)
2. Windward side (WS)
3. Both side (BS)

### منابع

- معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران. (۱۳۹۶). اطلاعات ترافیکی بزرگراه های تهران.
- وبسایت افکارنیوز. (۱۳۹۲ آذر ۱۲).  
<https://www.afkarnews.com/%D8%A8%D8%AE%D8%B4%D8%A7%D8%AC%D8%AA%D9%85%D8%A7%D8%B9%DB%8C5/1207731%D8%B7%D8%B1%D8%AD%D8%A2%D9%84%D9%88%D8%AF%DA%AF%DB%8C%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%A7%D8%B2%D8%AF%D8%B1%D8%A8%D9%85%D9%86%D8%B2%D9%84%D8%AF%D8%B1%D8%AA%D9%87%D8%B1%D8%A7%D9%86%D8%A7%D8%B2%D8%A7%D9%85%D8%B1%D9%88%D8%B2>
- وبسایت کجارو. (۱۸ مرداد ۱۳۹۵).  
<https://www.kojaro.com/research-exclusive-articles/121075-where-is-chamran-highway>
- وبسایت همشهری. (۱۶ دی ۱۳۹۲).  
<https://www.hamshahrionline.ir/news/244831/%D8%A2%D8%B4%D9%86%D8%A7%DB%8C%DB%8C%D8%A8%D8%A7%D8%A8%D8%B2%D8%B1%DA%AF%D8%B1%D8%A7%D9%87%DA%86%D9%85%D8%B1%D8%A7%D9%86%D8%AA%D9%87%D8%B1%D8%A7%D9%86>
- وبسایت ویکی‌پدیا. (۲۵ خرداد ۱۴۰۳).  
<https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%87%D8%B1%D8%A7%D9%86>
- وبسایت ویکی‌پدیا. (۱۷ خرداد ۱۴۰۳).  
[https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%82\\_%D8%B4%D9%87%D8%B1%D8%AF%D8%A7%D8%B1%DB%8C\\_%D8%AA%D9%87%D8%B1%D8%A7%D9%86](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%82_%D8%B4%D9%87%D8%B1%D8%AF%D8%A7%D8%B1%DB%8C_%D8%AA%D9%87%D8%B1%D8%A7%D9%86)
- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Mahmoud, Z. A.-C., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and buildings*, 101, 153-162.
- Almeida-Silva, M., Canha, N., Vogado, F., Baptista, P., Faria, A., Faria, T., . . . Almeida, S. (2020). Assessment of particulate matter levels and sources in a street canyon at Loures, Portugal—a case study of the REMEDIO project. *Atmospheric Pollution Research*, 11(10), 1857-1869.

- Blocken, B., Stathopoulos, T., Saathoff, P., & Wang, X. (2008). Numerical evaluation of pollutant dispersion in the built environment: comparisons between models and experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10-11), 1817-1831.
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The lancet*, 360(9341), 1233-1242.
- Cao, J., Yang, C., Li, J., Chen, R., Chen, B., Gu, D., & Kan, H. (2011). Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: a cohort study. *Journal of hazardous materials*, 186(2-3), 1594-1600.
- Chand, I., Bhargava, P., & Krishak, N. (1998). Effect of balconies on ventilation inducing aeromotive force on low-rise buildings. *Building and Environment*, 33(6), 385-396.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric environment*, 45(2), 275-288.
- Chiang, C.-M., Lai, C.-M., Chou, P.-C., & Li, Y.-Y. (2000). The influence of an architectural design alternative (transoms) on indoor air environment in conventional kitchens in Taiwan. *Building and Environment*, 35(7), 579-585.
- Colome, S. D., Kado, N. Y., Jaques, P., & Kleinman, M. (1992). Indoor-outdoor air pollution relations: particulate matter less than 10  $\mu\text{m}$  in aerodynamic diameter (PM10) in homes of asthmatics. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(12), 2173-2178. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(92\)90405-A](https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90405-A).
- Cui, D., Li, X., Du, Y., Mak, C. M., & Kwok, K. (2020). Effects of envelope features on wind flow and pollutant exposure in street canyons. *Building and Environment*, 176, 106862.
- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., . . . Speizer, F. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England journal of medicine*, 329(24), 1753-1759.
- EPA. (2005). Review of the national ambient air quality standards for particulate matter: policy assessment of scientific and technical information. *OAQPS Staff Paper*.
- Fischer, P., Hoek, G., Van Reeuwijk, H., Briggs, D., Lebre, E., Van Wijnen, J., . . . Elliott, P. (2000). Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam. *Atmospheric environment*, 34(22), 3713-3722.
- Ghadikolaei, F. M., Ossen, D. R., & Mohamed, M. (2013). A review of the effects of balcony on indoor ventilation performance. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 15(4), 639-645.
- Gold, D., Damokosh, A., Pope, C., Dockery, D., McDonnell, W., Serrano, P., . . . Castillejos, M. (1999). Particulate and ozone pollutant effects on the respiratory function of children in Southwest Mexico City (vol 10, pg 8, 1999). *Epidemiology*, 10, 470-470.
- He, L., Hang, J., Wang, X., Lin, B., Li, X., & Lan, G. (2017). Numerical investigations of flow and passive pollutant exposure in high-rise deep street canyons with various street aspect ratios and viaduct settings. *Science of the Total Environment*, 584, 189-206.
- Izadyar, N., Miller, W., Rismanchi, B., & Garcia-Hansen, V. (2020). A numerical investigation of balcony geometry impact on single-sided natural ventilation and thermal comfort. *Building and Environment*, 177, 106847.
- Janssen, N. A., van Vliet, P. H., Aarts, F., Harssema, H., & Brunekreef, B. (2001). Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. *Atmospheric environment*, 35(22), 3875-3884.
- Jenkins, P. L., Phillips, T. J., Mulberg, E. J., & Hui, S. P. (1992). Activity patterns of Californians: use of and proximity to indoor pollutant sources. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(12), 2141-2148.
- Karimimoshaver, M., Sadathosseini, M., Aram, F., Ahmadi, J., & Mosavi, A. (2023). The effect of geometry and location of balconies on single-sided natural ventilation in high-rise buildings. *Energy Reports*, 10, 2174-2193.

- Kindangen, J., Krauss, G., & Depecker, P. (1997). Effects of roof shapes on wind-induced air motion inside buildings. *Building and Environment*, 32(1), 1-11.
- Klemm, R. J., Mason Jr, R. M., Heilig, C. M., Neas, L. M., & Dockery, D. W. (2000). Is daily mortality associated specifically with fine particles? Data reconstruction and replication of analyses. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(7), 1215-1222.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., . . . Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
- Kukreja, C. (1978). Tropical architecture. (No Title).
- Lee, H. S., Kang, B.-W., Cheong, J.-P., & Lee, S.-K. (1997). Relationships between indoor and outdoor air quality during the summer season in Korea. *Atmospheric environment*, 31(11), 1689-1693.
- Mohamed, M., King, S., Behnia, M., & Prasad, D. (2011). A study of single-sided ventilation and provision of balconies in the context of high-rise residential buildings. *Australia, Universidad de New South Wales, Facultad de Ambiente Construido*, 1954-1961.
- Olgyay, V. (2015). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*: Princeton university press.
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., & Drogemuller, R. (2017). On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. *Building and Environment*, 123, 504-516.
- Peters, A., Liu, E., Verrier, R. L., Schwartz, J., Gold, D. R., Mittleman, M., . . . Monahan, K. (2000). Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia. *Epidemiology*, 11(1), 11-17.
- Pope 3rd, C., Bates, D. V., & Raizenne, M. E. (1995). Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? *Environmental health perspectives*, 103(5), 472-480.
- Prianto, E., Bonneaud, F., Depecker, P., & Peneau, J. (2000). Tropical-humid architecture in natural ventilation efficient point of view. *International Journal on Architectural Science*, 1(2), 80-95. Retrieved from.
- Prianto, E., & Depecker, P. (2002). Characteristic of airflow as the effect of balcony, opening design and internal division on indoor velocity: A case study of traditional dwelling in urban living quarter in tropical humid region. *Energy and buildings*, 34(4), 401-409.
- Prianto, E., & Depecker, P. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and buildings*, 35(3), 273-280. Retrieved from.
- Rijnders, E., Janssen, N., Van Vliet, P., & Brunekreef, B. (2001). Personal and outdoor nitrogen dioxide concentrations in relation to degree of urbanization and traffic density. *Environmental health perspectives*, 109(suppl 3), 411-417.
- Schwartz, J., Dockery, D. W., & Neas, L. M. (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(10), 927-939.
- Shi, S., Zhao, B., & Zhang, J. J. (2018). Effect of residential air cleaning interventions on risk of cancer associated with indoor semi-volatile organic compounds: a comprehensive simulation study. *The Lancet Planetary Health*, 2(12), e532-e539.
- Tao, S., Yu, N., Ai, Z., Zhao, K., & Jiang, F. (2023). Investigation of convective heat transfer at the façade with balconies for a multi-story building. *Journal of Building Engineering*, 63, 105420. doi:
- Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10-11), 1749-1761.
- Tong, Z., Chen, Y., Malkawi, A., Adamkiewicz, G., & Spengler, J. D. (2016). Quantifying the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building. *Environment international*, 89, 138-146.

- Yu, O., Sheppard, L., Lumley, T., Koenig, J. Q., & Shapiro, G. G. (2000). Effects of ambient air pollution on symptoms of asthma in Seattle-area children enrolled in the CAMP study. *Environmental health perspectives*, 108(12), 1209-1214.
- Zhang, S., Wu, Y., Liu, H., Huang, R., Yang, L., Li, Z., . . . Hao, J. (2014). Real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, 113, 1645-1655.
- Zheng, X., Montazeri, H., & Blocken, B. (2022). Impact of building façade geometrical details on pollutant dispersion in street canyons. *Building and Environment*, 212, 108746.
- Zhu, Y., Hinds, W. C., Krudysz, M., Kuhn, T., Froines, J., & Sioutas, C. (2005). Penetration of freeway ultrafine particles into indoor environments. *Journal of Aerosol Science*, 36(3), 303-322.

## The effect of the balcony form on the improvement of air quality inside mid-rise buildings in the vicinity of urban highways (Case study: Shahid Chamran highway in Tehran)

**Elham mansourian**, Master of Architecture graduate, Department of Architecture and Urban Planning, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

**Hamid Eskandari\***, Assistant Professor and Faculty Member of Architecture, Department of technical and engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran (Corresponding Author)

**Ali Akbar Heidari**, Associate Professor and Faculty Member of Architecture, Department of technical and engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

Received: 2024/3/15

Accepted: 2024/7/21

### Extended abstract

Due to the increase of urbanization in modern life, air pollution has been one of the most important problems in recent decades, which has become an important challenge in relation to human health. This issue has become a serious threat to human life with the development of cities and decreasing air quality day by day. For this reason, urban air quality is an important environmental issue in the world that prevents human deaths. Air pollution in cities is caused by factors such as industries and factories, car traffic, the use of fossil fuels for cooling and heating, and similar things. One of the most important factors in the production and release of pollution in the air is the traffic pollutants caused by the traffic of cars that affect the indoor environment. However, the architecture of the buildings can have an effective role on the quantity and quality of the entry of these pollutants into the space inside the buildings. And ... pointed out. Accordingly, among the mentioned elements, in this article, the effect of balcony form on reducing traffic pollutants and increasing indoor air quality is discussed. For this purpose, 10 balcony models in terms of geometry, parapet and wing wall characteristics in a mid-rise building in the city of Tehran in the vicinity of Shahid Chamran highway (as the center of traffic pollutant emission) were selected as case examples and the amount of traffic pollutant entering inside The building was simulated using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The validation of the software in the present study is based on the research of Sin et al. (2023). All settings used in the article are in accordance with validation; With the difference that in this research, the concentration parameter of the pollutant nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) (source of pollution) was used to measure air quality. Based on this, the main goal in this research is to determine the best model of the geometry and structural shape of the balcony to reduce the entry of traffic pollutants into the building and increase the indoor air quality (IAQ) in the mid-rise building. The results of the research indicate that the triangle-shaped balcony has the highest concentration and the curve-shaped balcony has the lowest pollutant concentration in the geometry section of the balcony. Also, the amount of pollutant concentration in the balconies with fences is much lower than the balconies with wing walls. On the other hand, in this research, it can be concluded that the concentration of pollutants entering the building increases with the increase of balcony enclosure in mid-rise buildings that are located in the vicinity of urban highways. Meanwhile, by reducing the enclosure in the balcony, the accumulation of pollution inside the building decreases.

**Keywords:** Computational fluid dynamics (CFD), mid-rise building, balcony, NO<sup>2</sup> pollutant concentration, indoor air quality (IAQ), Shahid Chamran highway.

\* Corresponding Author's E-mail: Eskandari@yu.ac.ir