

## مقاله پژوهشی

# تحلیل عددی تأثیر الگوی چیدمان و کشیدگی ساختمان‌ها در بلوک‌های مسکونی مستقر در مجاورت شریان‌های ترافیکی بر کیفیت هوا در فضای باز بین ساختمان‌ها

رقیه شریفی

گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

علی‌اکبر حیدری\*

گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران

هادی کشمیری

گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران

علی شمس‌الدینی

گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳ تاریخ قرارگیری روی سایت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

**چکیده** عبور و مرور وسایل نقلیه موتوری یکی از وجوه زندگی شهری در شهرهای معاصر است. این در حالی است که ذرات حاصل از احتراق سوخت در موتور این خودروها از جمله مهمترین عوامل آلودگی هوا در کلانشهرها به شمار می‌رود. این ذرات با وزش باد به فضاهای اطراف منتقل می‌شوند و همین امر سبب کاهش کیفیت هوا در فضاهای ساخته شده در مجاورت شریان‌های ترافیکی شهری می‌شود. این در حالی است که به نظر می‌رسد با انتخاب فرم مناسب برای ساختمان‌های ساخته شده در این محدوده‌ها می‌توان ضمن بهبود تهویه مناسب، از ورود آلاینده‌ها به فضاهای باز این مجموعه‌ها تا حدی جلوگیری به عمل آورد. در این پژوهش به بررسی تأثیر فرم چیدمان و الگوی کشیدگی ساختمان‌های موجود در مجتمع‌های ساختمانی مستقر در مجاورت بزرگراه‌های ترافیکی شهری بر کیفیت هوا در فضاهای باز مابین آنها پرداخته می‌شود. به منظور سنجش کیفیت هوا از سه پارامتر سرعت هوا، سن هوا و غلظت آلاینده‌های انباشت شده در فضای باز مرکزی بین ساختمان‌ها استفاده شده است. به منظور استخراج نمونه‌های موردی تحقیق، در ابتدا سه الگوی کشیدگی ساختمان شامل الگوی مربع، الگوی مستطیل با کشیدگی در جهت عمود بر باد غالب و الگوی مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب در نظر گرفته شد. سپس هر کدام از فرم‌ها در شش الگوی چیدمانی جای داده شد. در نهایت ۸۱ نمونه موردی استخراج شد و در هر کدام یک فضای باز مرکزی ثابت به مساحت ۵۲۲ به‌عنوان محدوده مطالعه شد. کلیه نمونه‌های موردی با فاصله ۵۳ متری از یک بزرگراه شهری به‌عنوان منبع تولید آلاینده در نظر گرفته شدند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش محصوریت فضایی به‌واسطه چیدمان مرکز‌گرا در مجتمع‌های ساختمانی علی‌رغم اینکه باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضای باز میانی آنها می‌شود، کیفیت تهویه در این فضاها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین افزایش نفوذپذیری در جداره‌های منتهی به منابع تولید آلاینده می‌تواند عاملی جهت انتقال ذرات آلاینده به فضاهای باز بین مجتمع شود. بنابراین کشیدگی بلوک‌های ساختمانی در جهت عمود بر امتداد باد غالب یکی از عواملی است که می‌تواند مانع از ورود آلاینده‌ها به فضای پشت به باد در آنها شود.

**واژگان کلیدی** | الگوی چیدمان مجتمع‌های مسکونی، کشیدگی ساختمان‌ها، کیفیت هوا، فضای باز، شبیه‌سازی DFC.

مقدمه | امروزه زندگی آپارتمانی به یک شیوه رایج در شهرها تبدیل شده است. افراد به‌واسطه عدم برخورداری از فضای باز مناسب در این سکونتگاه‌ها الزاماً مجبور به استفاده از فضاهای

باز عمومی هستند. یکی از انواع این فضاها، فضاهای باز موجود در میان مجتمع‌های مسکونی است. ارتقا ابعاد کیفی این فضاها می‌تواند زمینه‌افزایش حضورپذیری افراد در چنین فضاهایی و

\*نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۱۴۵۵۴۹۴، Aliakbar\_heidari@yu.ac.ir

مجاورت این بزرگراه‌ها ساخته می‌شوند، علاوه بر آلودگی‌های صوتی حاصل از تردد خودروها، بیش از سایر بافت‌ها در معرض آلاینده‌های حاصل از گاز آگزوز خودروهای عبوری قرار گیرند. این موضوع در شرایطی که جهت باد غالب شهری عمود بر حرکت خودروها و به سمت بافت‌های مذکور باشد، بسیار حادتر خواهد بود. بنابراین به نظر می‌رسد راهکارهایی که بتواند ضمن مسدود نکردن جریان تهویه طبیعی، از ورود ذرات آلاینده به فضاهای باز مابین این ساختمان‌ها ممانعت به عمل آورد، بسیار حائز اهمیت باشد. همانگونه که پیش‌تر نیز عنوان شد، الگوهای چیدمانی و فرم ساختمان‌ها یکی از عواملی است که می‌تواند بر جریان باد شهری تأثیرگذار باشند. بر همین اساس پژوهش حاضر سعی بر آن دارد با تحلیل الگوهای چیدمانی و کشیدگی ساختمان‌ها در تعدادی بافت فرضی مستقر در مجاورت یک بزرگراه شهری، به تحلیل میزان تهویه و غلظت آلاینده‌های ورودی به فضای باز مابین ساختمان‌ها بپردازد. با این توضیح در این پژوهش سه الگوی فرمی ساختمان شامل فرم مربع (الگوی S)، فرم مستطیل با کشیدگی در جهت عمود بر باد غالب (الگوی H) و فرم مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب (الگوی V) در شش گونه چیدمانی به‌عنوان نمونه‌های موردی تحقیق در نظر گرفته شد و با شبیه‌سازی آنها در محیط نرم افزار تحلیل دینامیک سیالاتی، سعی در تحلیل میزان تهویه و نیز غلظت آلاینده‌های ورودی به فضای باز مرکزی آنها (که در تمام نمونه‌های موردی، این فضا ثابت در نظر گرفته شده است)، کرده است. با این توضیحات پرسش تحقیق حاضر به شرح ریز قابل ذکر است.

- کشیدگی بناها و الگوی چیدمان آنها در یک مجتمع ساختمانی مستقر در مجاورت یک بزرگراه شهری، چه تأثیری بر سرعت هوا و غلظت آلاینده‌های انباشته شده در فضای باز میانی آن دارد؟

### پیشینه پژوهش

پیشینه تحقیق در پژوهش حاضر از دو منظر قابل بررسی است. تحقیقات پیرامون جریان هوا در فضاهای باز بین ساختمان‌ها و تحقیقات پیرامون آلاینده‌های هوا بر دامن منشأ خارجی در فضای مابین ساختمان‌ها. در ادامه به تعدادی از پژوهش‌های مرتبط با نقش الگوی فرمی و چیدمانی ساختمان‌ها بر جریان تهویه در فضاهای باز بین آنها پرداخته می‌شود: در پژوهشی که توسط جیانگ و همکارانش (Jiang et al., 2020) در شهر ووهان انجام گرفت، نقش الگوی چیدمان بلوک‌های مسکونی بر جریان باد پیرامونی در تراز عابر پیاده و آسایش حرارتی آنها سنجش شد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که الگوی چیدمان خطی با ایجاد کریدرهای عبوری جریان هوا منجر به افزایش سرعت باد به میزان ۰/۳ متر بر ثانیه می‌شود. با این حال الگوی چیدمان

در نتیجه افزایش سرزندگی در این مراکز سکونتی را به همراه داشته باشد (Saadatjoo & Saligheh, 2021).

حضور پذیری افراد در فضاهای باز شهری و تمایل آنها نسبت به ادامه حضور در آن، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که یکی از مهمترین آنها، تأمین شرایط آسایش افراد در آن محیط‌ها است. آسایش حرارتی تحت تأثیر عوامل مختلفی است که از جمله مهمترین آنها دما، رطوبت و وزش باد است (Yin et al., 2012; Hadianpour et al., 2019). در این بین جریان باد شهری بیشترین تأثیر را از فرم ساختمان‌ها و الگوی چیدمان آنها می‌گیرد (Fatahi et al., 2021, Yousefian et al., 2017). سرعت باد تحت تأثیر ویژگی‌های مرتب با توده‌های ساختمانی و شبکه دسترسی قرار دارد. از این رو تغییر در تراکم، فاصله، ارتفاع و فرم ساختمان‌ها و همین‌طور جهت‌گیری و عرض معابر می‌تواند الگوی جریان باد شهری را تحت تأثیر قرار دهد (Pilechiha et al., 2020). الگوی چیدمان بلوک‌ها در یک مجموعه ساختمانی نیز می‌تواند بر جریان باد و به تبع آن الگوی تهویه درون فضاهای باز مجموعه تأثیرگذار باشد (Jiang et al., 2020; Eskandari et al., 2017).

حضورپذیری افراد در یک فضای باز شهری علاوه بر تأمین شرایط آسایش، مستلزم عوامل دیگری نیز است که از جمله آنها می‌توان به کیفیت هوا اشاره کرد (Yang et al., 2020). شاخص‌های مختلفی در تعیین کیفیت هوا تأثیرگذار هستند که از جمله مهمترین آنها، غلظت آلاینده‌های معلق در هوا است (Xie et al., 2005; Hassan, 2020). ذرات آلاینده مانند  $NO_2$ ،  $CO$ ،  $SO_2$  و ... که عموماً از یک منبع خارجی مانند کارخانجات، صنایع، نیروگاه‌ها و ... تولید می‌شوند، با قرار گرفتن در معرض باد به سمت بافت‌های شهری حرکت می‌کنند (Barwise & Kumar, 2020). این موضوع منجر به افزایش غلظت آنها در فضاهای باز شهری و در نتیجه افزایش شاخص آلودگی در این فضاها می‌شود. بنابراین وزش باد به‌عنوان یکی از شاخص‌های آسایش حرارتی باعث افزایش تهویه در فضاهای باز شهری می‌شود. اما در بعضی موارد به ویژه در بافت‌های که در مجاورت منابع تولید آلاینده ساخته می‌شوند، این موضوع باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در فضاهای باز بین این مجموعه‌های ساختمانی می‌شود (Liang et al., 2020).

یکی از منابع تولید آلاینده‌های هوا بر دامن سطح فضاهای شهری، ترافیک خودروها است (Baralis et al., 2016). دود حاصل از احتراق سوخت در موتور این خودروها حاوی انواع مختلفی از ذرات آلاینده است که با حرکت خودروها در سطح فضاهای شهری انتشار می‌یابد. این موضوع در شرایطی که تردد خودروها مانند بزرگراه‌های شهری با وضوح بیشتری نمایان است. بنابراین می‌توان انتظار داشت مجموعه‌هایی که در

پشت به باد می‌شود. اما در مقابل با وزش باد با سرعت کم، کیفیت هوا در دره‌های پلکانی پشت به باد نسبت به دره‌های پلکانی رو به باد بهبود می‌یابد.

- در پژوهشی دیگر کوی و همکارانش (Cui et al., 2021) تأثیر چیدمان ساختمان و تفاوت‌هایی ارتفاعی آنها را در دو دره خیابانی با الگوهای متقارن و نامتقارن بر جریان هوا و انتشار آلاینده‌ها درون آنها بررسی شد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که میزان انتشار ذرات آلاینده در دره‌هایی با فرم متقارن، بسیار کمتر از دره‌های با فرم نامتقارن (پلکانی) است.

بررسی پژوهش‌های فوق نشان می‌دهد که اگر چه تأثیر چیدمان مختلف بلوک‌های ساختمانی بر جریان باد عبوری از آنها در مطالعات مختلفی بررسی شده اما این در حالی است که تاکنون تأثیر این موضوع بر کیفیت تهویه و میزان انتشار آلاینده‌ها در فضای باز مابین ساختمان‌ها به‌طور هم‌زمان بررسی نشده است. بر همین اساس در این پژوهش تأثیر کشیدگی و چیدمان ساختمان‌ها در مجتمع‌های ساخته شده در مجاورت یک منبع آلودگی بر کیفیت هوا در فضاهای باز بین آنها بررسی خواهد شد.

### روش تحقیق

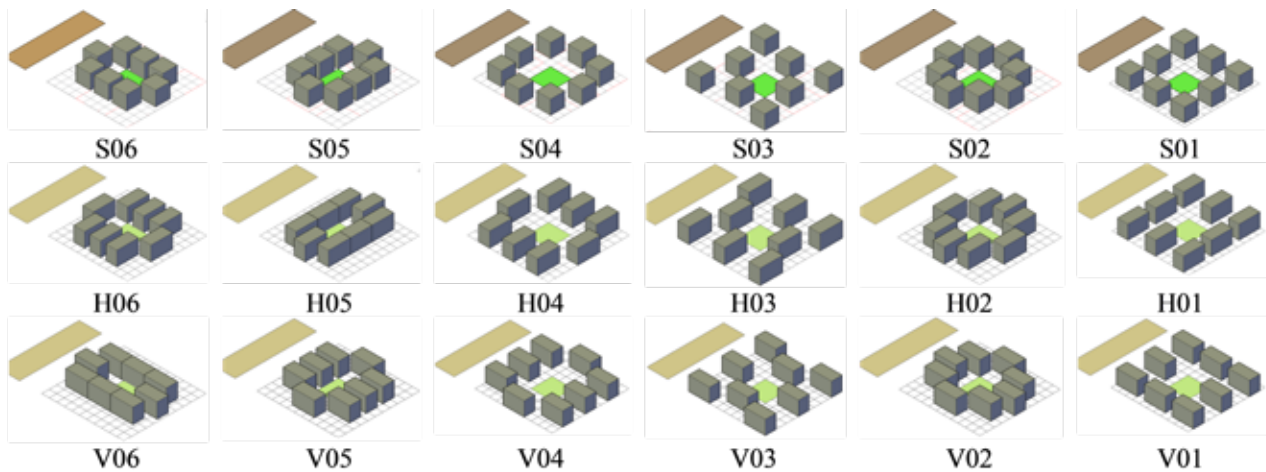
همانگونه که پیش از این عنوان شد، هدف اصلی در پژوهش حاضر، ارزیابی تأثیر کشیدگی و چیدمان ساختمان‌ها در یک مجتمع ساختمانی مستقر در مجاورت یک بزرگراه شهری (به‌عنوان منبع تولید آلاینده) بر کیفیت هوا در فضای باز میانی آن مجتمع است. با این توضیح، «کشیدگی ساختمان‌ها» و «الگوی چیدمان آنها» در مجتمع به‌عنوان متغیرهای مستقل و کیفیت هوا در فضای باز بین ساختمان‌ها به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. به‌منظور سنجش کیفیت هوا از سه متغیر «سرعت هوا»، «سن هوا» و «غلظت آلاینده‌های انباشت شده دره محدود فضای باز میان مجتمع» استفاده شده است. روش تحقیق در این پژوهش مبتنی بر شبیه‌سازی با استفاده از روش تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی است. در ادامه به سایر ابعاد مرتبط با روش شناسی تحقیق پرداخته می‌شود.

### • معرفی نمونه‌های موردی تحقیق

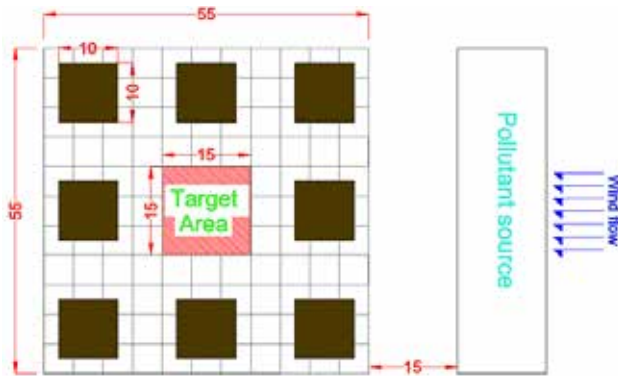
همانگونه که عنوان شد، دو عامل فرم ساختمان و الگوهای چیدمان آنها در مجتمع به‌عنوان متغیرهای مستقل در پژوهش حاضر مد نظر قرار گرفت. در ارتباط با فرم ساختمان سه الگوی کشیدگی شامل فرم مربع (الگوی S)، فرم مستطیل با کشیدگی در جهت عمود بر باد غالب (الگوی H) و فرم مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب (الگوی V) به‌عنوان الگوهای پایه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد هر کدام از این الگوهای فرمی در شش حالت چیدمانی مطابق تصویر ۱ گنجانده شد که در نهایت تعداد ۱۸ نمونه به دست آمد. چیدمان‌های مرتبط

پله‌ای همراستای جهت باد غالب، سرعت آن را به میزان ۴/۰ متر بر ثانیه افزایش می‌دهند. در پژوهشی دیگر که توسط یینگ و همکارانش (Ying et al., 2020) در شهر هانگژو انجام گرفت، نقش الگوهای مختلف چیدمان بلوک‌های ساختمانی با فرم مرکزی بر جریان باد عبوری در فضای باز آنها را بررسی شد. آنها به این نتیجه رسیدند که الگوی چیدمان ساختمان‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر سرعت باد و رفتار جریان باد پیرامونی ساختمان‌ها دارد. براساس نتایج آنها چیدمان مجموعه‌ای بلوک‌ها و افزایش تعداد حیاط‌ها راندمان بهتری نسبت به حالت حیاط مرکزی پیوسته دارد. سعادت جو و سلیقه (Saadatjoo & Saligheh, 2021) از جمله پژوهشگرانی بودند که بر نقش چیدمان بلوک‌های ساختمانی بر تهویه طبیعی فضای باز بین آنها تأکید داشتند. آنها در تحقیق خود ۱۰ نمونه موردی شامل یک نمونه پایه و نه نمونه با چیدمان‌های مختلف را انتخاب و با تحلیل آنها با روش CFD به تحلیل میزان جریان هوای عبوری بین آنها پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که کاهش فاصله بین بلوک‌ها باعث افزایش سرعت باد و افزایش فاصله بین آنها منجر به کاهش سرعت باد در فضای باز بین آنها می‌شود. سعادت جو (Saadatjoo, 2021) در پژوهشی دیگر، تأثیر تورفتگی‌های بدنه ساختمان بر عملکرد باد شهری را بررسی کرد. وی در پژوهش خود یک واحد همسایگی متشکل از نه بلوک ساختمانی میان مرتبه را در محیط CFD شبیه‌سازی کرد و در آن تورفتگی‌های مختلفی را بر ساختمان مرکزی آن مجموعه اعمال کرد. نتیجه تحقیق وی حاکی از افزایش ۴۸/۳۳ درصدی سرعت باد در اطراف بنا به‌واسطه اعمال تورفتگی در ساختمان مرکزی آن بافت بود. در ارتباط با نقش فرم ساختمان‌ها و الگوهای چیدمانی آنها بر غلظت آلاینده‌ها در فضاهای باز بین آنها نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. - در پژوهش یانگ و همکارانش (Ying et al., 2020)، به تأثیر فرم شهری بر انتشار آلاینده‌ها در فضای مابین ساختمان‌ها در مراکز پرتراکم شهری پرداخته شده است. آنها در پژوهش خود تغییرات در ارتفاع، حجم، فرم و تراکم ساختمان‌ها را بر میزان انتشار آلاینده‌ها در فضاهای مابین ساختمان‌ها بررسی کرد. نتایج تحقیق آنها نشان داد علی‌رغم اینکه متغیرهای مذکور بر الگوی جریان و توزیع آلاینده‌ها در فضاهای باز مابین ساختمان‌ها تأثیرگذار است، اما انباشت آلاینده‌ها در فضاهای پیرامون ساختمان‌های بلند مرتبه به مراتب بیشتر از سایر نقاط سایت است.

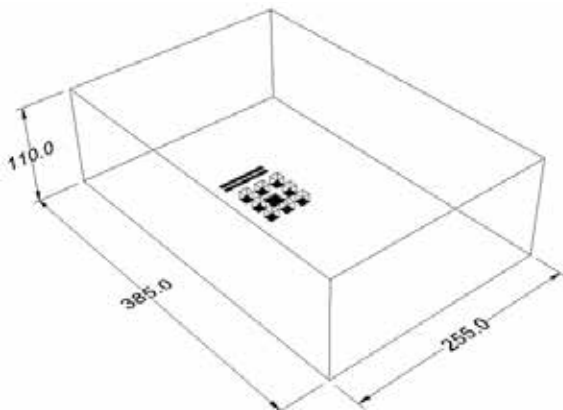
- لی و همکارانش (Li et al., 2005)، موضوع کیفیت هوا را در یک دره خیابانی بررسی کرد و تأثیر پیکره‌بندی ساختمان‌ها در امتداد دره را بر کیفیت هوا در سطح عابرین پیاده بررسی شد. آنها دریافتند که وزش باد با سرعت زیاد در دره‌های پلکانی رو به باد، منجر به ارتقا شاخص کیفیت هوا نسبت به دره پلکانی



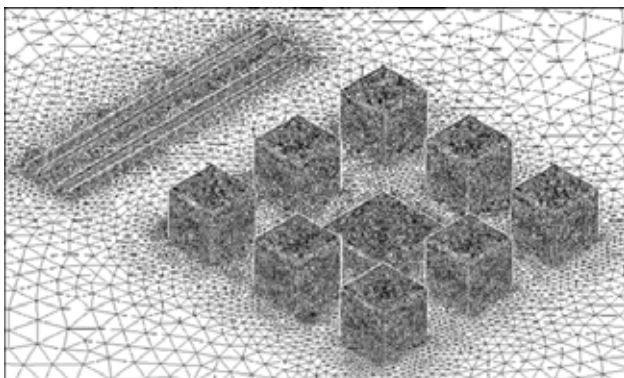
تصویر ۱. نمونه‌های موردی تحقیق. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲. ویژگی‌های شکلی مجتمع در یکی از نمونه‌های موردی شامل ابعاد ساختمان‌ها، موقعیت فضای باز مرکزی و فاصله منبع آلودگی از سایت. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۳. ابعاد دامنه محاسباتی در شبیه‌سازی نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۴. نمونه شبکه مش در شبیه‌سازی CFD نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

با الگوی مربع از نمونه S-01 تا S-06؛ نمونه‌های مرتبط با الگوی با کشیدگی در جهت عمود بر باد غالب از نمونه H-01 تا H-06 و در نهایت نمونه‌های مرتبط با مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب از نمونه V-01 تا V-06 نامگذاری شدند. هر کدام از نمونه‌ها متشکل از یک مجتمع مسکونی با هشت بلوک ساختمانی به مساحت ۱۰۰ متر مربع و ارتفاع ۱۰ متر است که حول یک فضای باز مرکزی به مساحت ۲۲۵ متر مربع چیده شده‌اند. مجتمع‌های مذکور در فاصله ۱۵ متری از یک بزرگراه شهری به‌عنوان منبع تولید آلاینده‌های ترافیکی در نظر گرفته شده است. فاصله بزرگراه تا فضای باز مرکزی (محدوده مورد مطالعه)، ۳۵ متر است که این مقدار در تمام نمونه‌های موردی، ثابت در نظر گرفته شده است. در تصویر ۲ پلان یکی از مجتمع‌ها به‌منظور معرفی ابعاد ساختمان‌ها، موقعیت فضای باز مرکزی و فاصله آن تا منبع آلودگی ارائه شده است.

#### • دامنه محاسباتی، شرایط مرزی و شبکه مش

دامنه محاسباتی جهت تحلیل نمونه‌های موردی در این پژوهش براساس دستورالعمل‌های (Franke et al., 2011; Tominaga et al., 2008) در نظر گرفته شده است. براساس این دستورالعمل ابعاد دامنه از بالادست و پایین دست<sup>۱</sup> به ترتیب معادل 10H و 20H و از طرفین 10H است. با توجه به اینکه ارتفاع ساختمان‌ها در نمونه‌های موردی (H) برابر با ۱۰ متر است لذا ابعاد دامنه محاسباتی معادل  $L \times W \times H = 385 \times 255 \times 110 \text{ m}^3$  محاسبه شده است (تصویر ۳). همچنین در ساخت شبکه محاسباتی<sup>۲</sup> از یک شبکه مش با تعداد ۱۰۶۴۴۷۹ سلول استفاده شده است. سلول‌های موجود در این شبکه به اشکال منشوری و شش‌وجهی<sup>۳</sup> هستند چرا که سلول‌های شش‌وجهی خط‌های برشی کوچکتری ایجاد می‌کنند و همگرایی تکراری بهتری را به وجود می‌آورند (تصویر ۴).

در این پژوهش از مشخصات لایه جزو (ABL)<sup>۴</sup>

قرار داده شده تا امکان بررسی اثرات جهت‌های مختلف باد فراهم شود. در پژوهش اعتبار سنجی، شش جهت برخورد باد تحلیل شد که در این پژوهش، محاسبات اعتبار سنجی تنها تحت زاویه  $0^\circ$  انجام گرفته است. همچنین برای اندازه‌گیری سرعت باد و غلظت گاز به ترتیب از سرعت مرجع  $4/6$  و  $0/78$  متر بر ثانیه استفاده شده است. از گاز اتیلن ( $C_2H_4$ ) با غلظت  $12100$  ppm نیز به‌عنوان منبع آلودگی استفاده شده است (ASHRAE, 2022). نتایج شبیه‌سازی در قالب نمودارهای سرعت باد و غلظت آلاینده‌ها در ارتفاع  $1/5$  متری از سطح زمین در فضای مرکزی مدل در تصویر ۶ ارائه شده است.

### یافته‌ها

همانگونه که پیش‌تر عنوان شد، کیفیت هوا در فضای باز بین مجتمع‌های نمونه موردی به‌عنوان متغیر وابسته تحقیق در نظر گرفته شد که برای این منظور از سه شاخص سرعت هوا، سن هوا و غلظت آلاینده‌های انباشته شده در این فضا به‌منظور تحلیل آن استفاده شد. بر همین اساس در بخش یافته‌ها به ارائه نتایج شبیه‌سازی نمونه‌های موردی به تفکیک متغیرهای مذکور پرداخته می‌شود.

### • تحلیل سرعت هوا

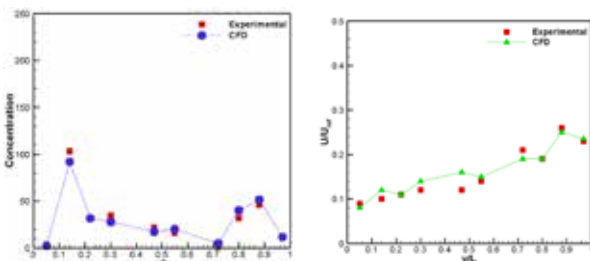
یکی از شاخص‌های اقلیمی که در تحلیل کیفیت هوا به ویژه در ارتباط با فضاهای باز استفاده می‌شود، شاخص سرعت هوا است. کاهش سرعت هوا در یک فضای باز شهری می‌تواند به انباشت آلاینده‌های هوا برود و در نتیجه کاهش آسایش استفاده‌کنندگان از فضا منجر شود. تصاویر ۷ تا ۱۱ مقادیر عددی میانگین سرعت هوا در ارتفاع  $1/70$  متری از سطح زمین در الگوهای مختلف و تصویر ۱۲ نیز کانتورهای مربوط به سرعت هوا در همین ارتفاع در نمونه‌های موردی را به نمایش درآمده است. با توجه به نمودارهای فوق موارد زیر قابل برداشت است. - بیشترین میانگین سرعت در بین نمونه‌های مربوط به الگو S در نمونه  $S_03$  با مقدار  $0/61$  متر بر ثانیه و کمترین سرعت در نمونه  $S_05$  با مقدار  $0/27$  متر بر ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۷).

تحت شرایط خنثی در مدلسازی نمونه‌ها استفاده شده است (Richards, 1989; Harris, 1981). با توجه به اینکه نتایج ارائه شده در نمونه اعتبار سنجی براساس دو متغیر سرعت هوا و غلظت آلاینده ارائه شده است لذا در این پژوهش نیز از دو مدل مجزا با سرعت‌های متفاوت در ورودی دامنه استفاده شده است؛ به این ترتیب به‌منظور بررسی داده‌های سرعت هوا و غلظت آلاینده، به ترتیب از سرعت‌های  $4/6$  m/s و  $0/78$  m/s در ورودی دامن محاسباتی استفاده شده است. همچنین نرخ جریان جرمی<sup>۵</sup> برای آلاینده در شرایط مرزی اعمال شده است. در خروجی شرایط مرزی، فشار استاتیک صفر اعمال شده است.

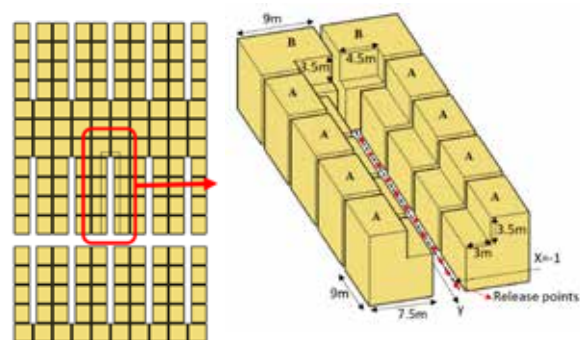
در این پژوهش از معادلات سه بعدی ثابت RANS در ترکیب با مدل آشفتگی SST k- $\omega$  جهت حل معادلات استفاده شده است. طرز حل در حالت پایدار قرار دارد و جریان شبیه‌سازی شده تراکم ناپذیر است. از الگوریتم SIMPLE برای جفت‌شدگی (coupling) فشار-سرعت و از طرح‌های گسسته‌سازی انتقال (پتروف-گالرکین اصلاح شده) برای معادلات RANS استفاده شده است. مقادیر متوسط خارج شده باقی مانده (ARO) برای میدان سرعت  $u$ ،  $10^{-5}$  متر بر ثانیه، برای میدان سرعت  $v$ ،  $10^{-6}$  متر بر ثانیه، و برای فشار برابر با  $10^{-11}$  پاسکال است.

### • اعتبار سنجی نرم افزار

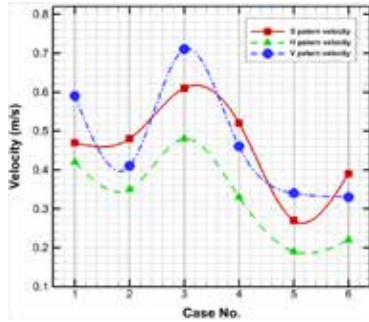
اعتبارسنجی نرم افزار در مقاله حاضر براساس پژوهش (Bady et al., 2011) انجام گرفته است. در این مقاله سرعت باد و غلظت آلاینده‌ها در چهار مدل مشابه از ساختمان‌های شهری بررسی شد که تیپ (I) به‌منظور اعتبار سنجی در این مقاله استفاده شده است. اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع عابر پیاده و در امتداد خیابان محصور شده توسط بلوک‌های نوع A و B انجام شده است (تصویر ۵). در ساخت این مدل هشت بلوک نوع A و دو بلوک نوع B با ارتفاع یکسان (نه متر) و فواصل یک متری از یکدیگر استفاده شد. در این پژوهش تونل باد دارای ابعاد  $13$ ،  $2/2$  و  $1/8$  متر به ترتیب برای طول، عرض و ارتفاع است. مدل‌ها از جنس چوب و با مقیاس  $1:100$  ساخته شده‌اند. مدل ساخته شده بر روی یک صفحه گردان در داخل تونل باد



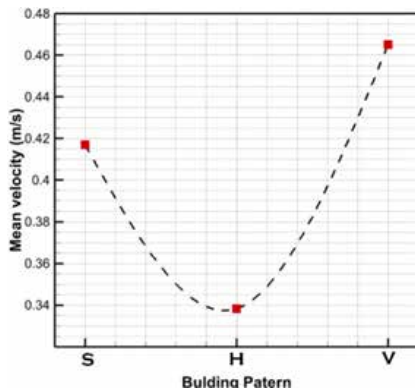
تصویر ۶. نتایج اعتبار سنجی شامل مقایسه نتایج تحقیق تجربی پژوهش (Bady et al., 2011) و نتایج CFD در پژوهش حاضر؛ راست: اعتبار سنجی پارامتر غلظت آلاینده و چپ: اعتبار سنجی پارامتر سرعت باد. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۵. سایت پلان و مدل سه بعدی از نمونه اعتبار سنجی. مأخذ: Bady et al., 2011.



تصویر ۱۰. مقایسه مقادیر سرعت هوا در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۱. میانگین کلی سرعت هوا در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.

توجه به اینکه پژوهش حاضر به تحلیل کیفیت هوا در فضای باز بین بلوک‌های مسکونی می‌پردازد بنابراین نوع چیدمان و الگوی فرمی بلوک‌های اطراف می‌تواند بر میزان ماندگاری هوا در فضاهای مابین آنها تأثیرگذار باشد. به‌منظور تحلیل این شاخص در محدوده مورد مطالعه، میانگین سن هوا تا ارتفاع ۱/۷۰ متری از سطح زمین بررسی شد که نتایج آن در قالب نمودارهای ارائه شده در تصاویر ۱۳ تا ۱۷ ارائه شده است. با توجه به نمودارهای فوق، موارد زیر قابل برداشت است.

- بیشترین میانگین سن هوا در بین نمونه‌های موجود در الگو در نمونه S ۰۵ با مقدار ۴/۲۵ ثانیه و کمترین میزان در نمونه S ۰۳ با مقدار ۲۲۲۱ ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۱۳).

- بیشترین میانگین سن هوا در بین نمونه‌های موجود در الگو H در نمونه H ۰۵ با مقدار ۷۰۱۲ ثانیه و کمترین مقدار در نمونه H ۰۳ با میزان ۱۲۱۵ ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۱۴).

- بیشترین میانگین سن هوا در بین نمونه‌های الگو V در نمونه V ۰۵ با مقدار ۵۲۳۱ ثانیه و کمترین میزان در نمونه V ۰۳ با مقدار ۱۷۸۵ ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۱۵).

- در بین تمام نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش بیشترین میانگین سن هوا در نمونه H ۰۵ و کمترین میانگین در نمونه H ۰۳ مشاهده شده است (تصویر ۱۶).

- به‌طور کلی میانگین سن هوا در مجموع نمونه‌های موردی

- بیشترین میانگین سرعت در بین نمونه‌های مربوط به الگو H در نمونه H ۰۳ با مقدار ۰/۴۸ متر بر ثانیه و کمترین سرعت در نمونه H ۰۵ با مقدار ۰/۱۹ متر بر ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۸).

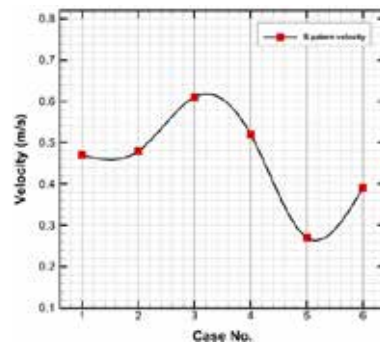
- بیشترین میانگین سرعت در بین نمونه‌های مربوط به الگو V در نمونه V ۰۳ با مقدار ۰/۷۱ متر بر ثانیه و کمترین سرعت در نمونه V ۰۶ با مقدار ۰/۳۳ متر بر ثانیه مشاهده شده است (تصویر ۹).

- در بین تمام نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش بیشترین میانگین سرعت در نمونه V ۰۳ و کمترین سرعت در نمونه H ۰۵ مشاهده شده است (تصویر ۱۰).

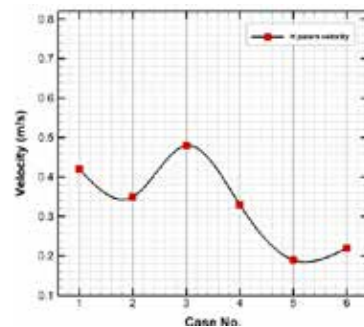
- به‌طور کلی میانگین سرعت در نمونه‌های موردی موجود در الگو V از همه بیشتر و الگو H از همه کمتر بوده است (تصویر ۱۱).

### • تحلیل سن هوا

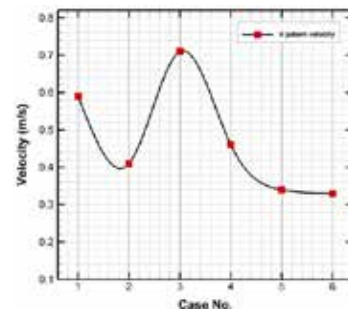
سن هوا به معنای میزان ماندگاری هوا در یک محیط است. با



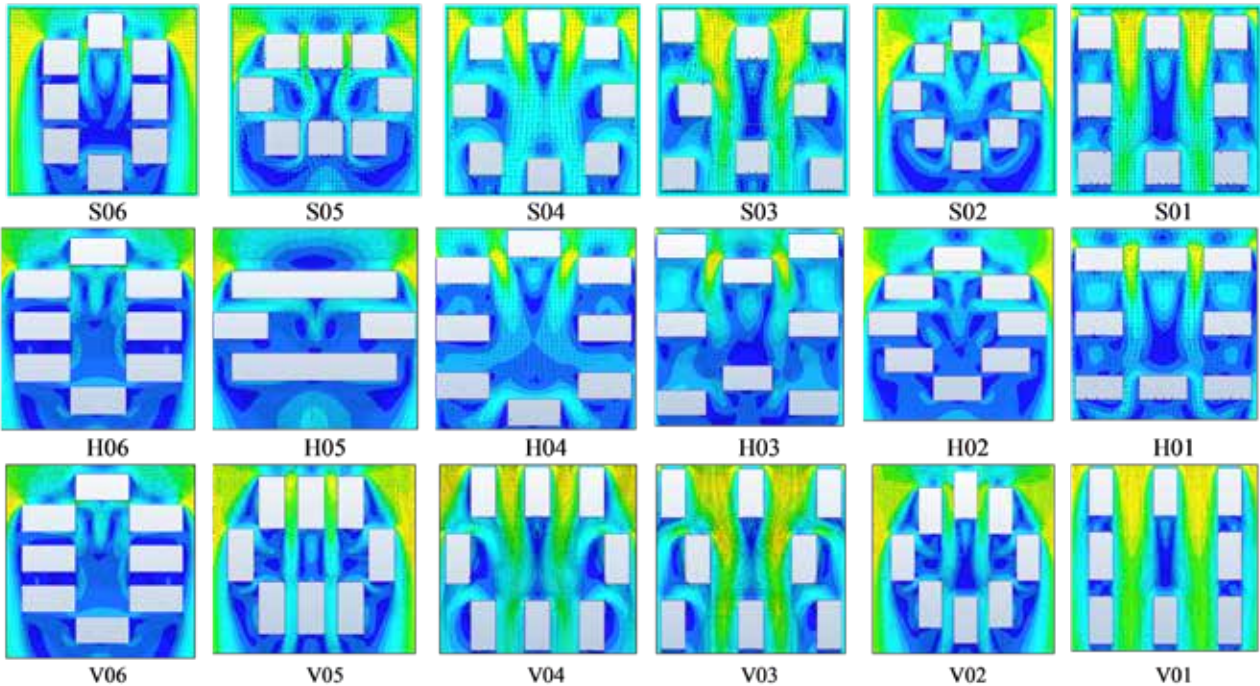
تصویر ۷. میانگین سرعت هوا در نمونه‌های الگو S. مأخذ: نگارندگان.



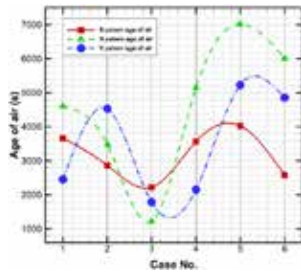
تصویر ۸. میانگین سرعت هوا در نمونه‌های الگو H. مأخذ: نگارندگان.



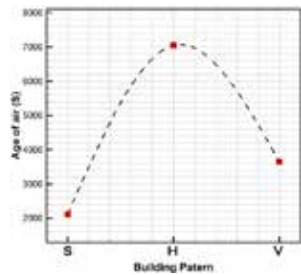
تصویر ۹. میانگین سرعت هوا در نمونه‌های الگو V. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۲. کانتور سرعت هوا در ارتفاع ۱/۷۰ متری از سطح زمین در نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۶. مقایسه مقادیر سن هوا در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.

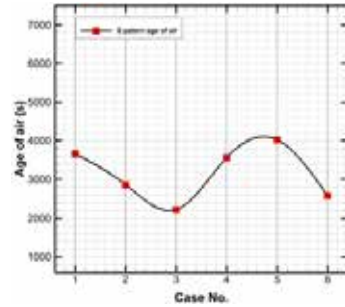


تصویر ۱۷. میانگین کلی سن هوا در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.

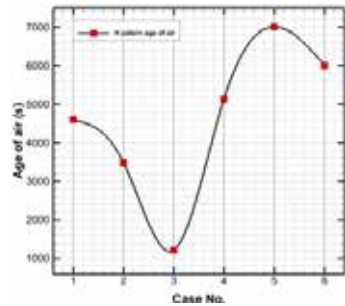
موجود در الگو H بیشتر از سایرین و در الگو S کمتر از سایر نمونه‌ها بوده است (تصویر ۱۷).

### • تحلیل شاخص آلودگی

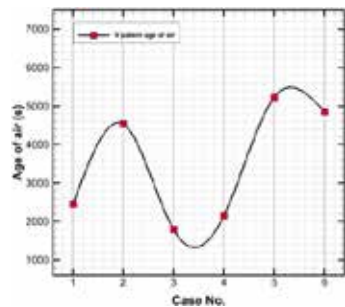
یکی از مهمترین شاخص‌هایی که در این پژوهش به‌منظور سنجش کیفیت هوا در فضاهای باز بین مجموعه‌های بررسی شده است، شاخص آلودگی هوا است. همانگونه که پیش از این نیز عنوان شد، منبع آلودگی در این پژوهش، بزرگراه مستقر در ضلع شمالی مجموعه است که با گذر خودروها در



تصویر ۱۳. میانگین سن هوا در نمونه‌های الگو S. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۴. میانگین سن هوا در نمونه‌های الگو H. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۵. میانگین سن هوا در نمونه‌های الگو V. مأخذ: نگارندگان.

در الگوی S در نمونه ۰.۵ S با مقدار ۱۱۲۳۳ ppm و کمترین میزان در نمونه ۰.۳ S با مقدار ۵۳۲۶ ppm مشاهده شده است (تصویر ۱۸).

- بیشترین میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین نمونه‌های موجود در الگوی H در نمونه ۰.۲ H با مقدار ۱۰۱۲۳ ppm و کمترین مقدار در نمونه ۰.۵ H با میزان ۳۲۱۲ ppm مشاهده شده است (تصویر ۱۹).

- بیشترین میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین نمونه‌های الگوی V در نمونه ۰.۵ V با مقدار ۹۴۲۳ ppm و کمترین میزان در نمونه ۰.۳ V با مقدار ۴۴۶۳ ppm مشاهده شده است (تصویر ۲۰).

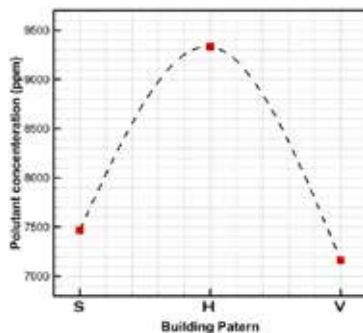
- در بین تمام نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش بیشترین میانگین تجمع آلاینده‌ها در نمونه ۰.۵ S و کمترین میانگین در نمونه ۰.۵ H مشاهده شده است (تصویر ۲۱).

- به‌طور کلی میانگین غلظت آلاینده‌ها در مجموع نمونه‌های موردی موجود در الگوی S بیشتر از سایرین و در الگوی H کمتر از سایر نمونه‌ها بوده است (تصویر ۲۲).

### بحث

همانگونه که پیش تر نیز عنوان شد، هدف پژوهش حاضر تحلیل تأثیر فرم و کشیدگی ساختمان‌ها در یک مجتمع مسکونی مستقر در مجاورت یک بزرگراه شهری بر کیفیت هوا در فضای باز موجود در بخش مرکزی آن مجتمع است. بر همین اساس سه الگوی کشیدگی ساختمان مربع (S)، مستطیل با کشیدگی عمود بر جهت باد غالب (H) و مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب (V) که هر کدام در شش حالت چیدمان (تصویر ۱) به‌عنوان نمونه‌های موردی تحقیق مد نظر قرار گرفت. با تحلیل نتایج کمی به دست آمده در بخش یافته‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

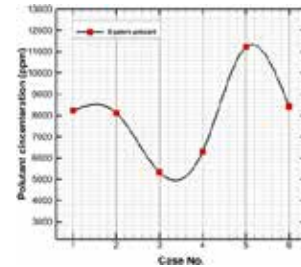
- افزایش سن هوا در فضاهای باز با افزایش غلظت آلاینده‌ها در آن فضا ارتباط مستقیم دارد؛ این موضوع در هر سه الگوی فرمی بررسی شده در این پژوهش قابل مشاهده است؛ به این



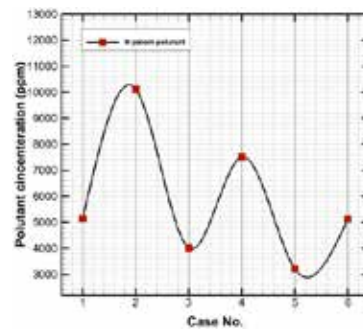
تصویر ۲۲. میانگین کلی غلظت آلاینده‌ها در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.

آن، آلودگی‌های مختلف ایجاد و با جریان عبوری هوا به‌سمت محدوده مطالعه شده گسیل می‌شود. از میان ذرات آلاینده منتشر شده توسط خودروها، در این پژوهش ذرات  $\text{NO}_2$  مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن برای الگوهای مختلف بررسی و در تصاویر ۱۸ تا ۲۲ و کانتورهای مربوطه نیز در تصویر ۲۳ نمایش داده شد است. با توجه به نمودارهای فوق، موارد زیر قابل برداشت است.

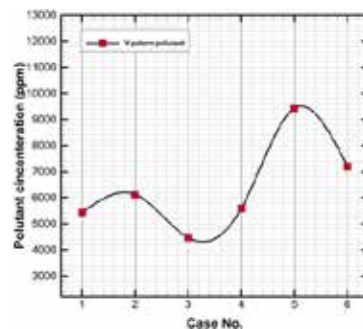
- بیشترین میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین نمونه‌های موجود



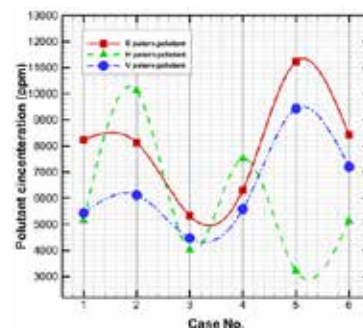
تصویر ۱۸. میانگین غلظت آلاینده‌ها در الگوی S. مأخذ: نگارندگان.



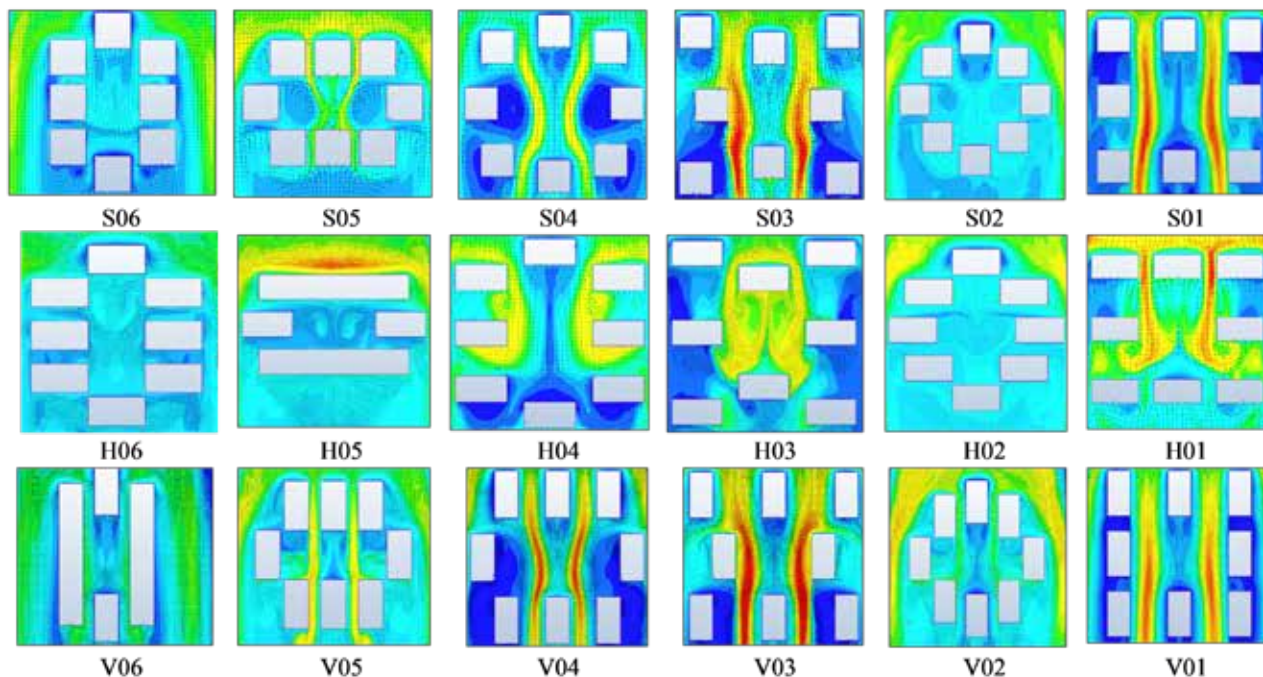
تصویر ۱۹. میانگین غلظت آلاینده‌ها در الگوی H. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۰. میانگین غلظت آلاینده‌ها در الگوی V. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۱. مقایسه مقادیر غلظت آلاینده‌ها در نمونه‌های موردی در الگوهای مختلف. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲۳. کانتور انباشت آلاینده  $\text{NO}_2$  در ارتفاع ۱/۷۰ متری از سطح زمین در نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

محسوس نفوذ آلاینده‌ها به فضای باز مرکزی می‌شود. این موضوع در ارتباط با نمونه  $\text{H} \cdot 05$  که در پژوهش حاضر بررسی شده است، به وضوح قابل مشاهده است. داده‌های مربوط به میزان غلظت آلاینده‌ها نشان می‌دهد که نمونه  $\text{H} \cdot 05$  نه تنها در میان نمونه‌های موردی موجود در الگو  $\text{H}$  دارای کمترین غلظت آلاینده‌های ورودی به بخش میانی مجموعه است، بلکه کمترین میزان نفوذ آلاینده‌ها در میان تمام نمونه‌های موردی به این نمونه اختصاص دارد. البته این موضوع نیز قابل توجه است که کاهش نفوذپذیری در جبهه رو به باد غالب اگرچه باعث کاهش ورود آلاینده‌ها به فضاهای باز میانی مجموعه می‌شود اما در مقابل از نفوذ جریان هوا به درون مجموعه نیز کاسته و منجر به کاهش سرعت هوا درون فضا و همچنین افزایش سن هوا در فضای باز مرکزی می‌شود؛ به نحوی که بررسی داده‌های مربوط به متغیرهای سرعت و سن هوا در ارتباط با نمونه  $\text{H} \cdot 05$  نشان می‌دهد که این نمونه کمترین میانگین سرعت و بیشترین میانگین سن هوا را در بخش مرکزی خود نسبت به سایر نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش دارد. بنابراین اگر چه در این نمونه، کمترین ورود آلاینده‌ها به بخش مرکزی مجموعه مشاهده شده است اما در مقابل از تهویه مناسبی برخوردار نبوده و لذا نمی‌تواند از منظر کیفیت هوا، گزینه‌ای مطلوب در نظر گرفته شود. این در حالی است که بنا به تعریف عنوان شده در این پژوهش، مطلوبیت کیفیت هوا در فضاهای باز بین مجموعه‌ها زمانی حاصل می‌شود که فرم و چیدمان بلوک‌های ساختمانی موجود در مجموعه از یکسو مانع

ترتیب که در نمونه‌هایی که بیشترین سن هوا را در هر کدام از الگوهای بررسی شده‌اند، بیشترین میانگین تجمع آلاینده‌ها نیز در آنها مشاهده شده و متقابلاً نمونه‌هایی با کمترین میانگین سن هوا، کمترین غلظت آلاینده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع با متغیر سرعت هوا نیز ارتباطی معکوس دارد به نحوی که در نمونه‌هایی با بیشینه سن هوا، کمینه سرعت و برعکس قابل مشاهده است.

- با بررسی الگوهای چیدمانی بررسی شده در این پژوهش مشاهده می‌شود که نمونه‌های موردی از دو منظر محصوریت و گشودگی قابل دسته‌بندی هستند؛ به این ترتیب که نمونه‌های ۰۳، ۰۱ و ۰۴ در هر سه الگو به ترتیب دارای بیشترین گشودگی فضایی و نمونه‌های ۰۵، ۰۶ و ۰۲ به ترتیب دارای بیشترین محصوریت فضایی هستند. با این توضیح و با بررسی نتایج کمی به دست آمده در بخش یافته‌ها مشاهده می‌شود که ارتباط معنی داری میان افزایش گشودگی فضایی و شاخص‌های بررسی شده در این پژوهش وجود دارد؛ به نحوی که افزایش گشودگی فضایی منجر به افزایش سرعت هوا، کاهش سن هوا و در نهایت کاهش آلاینده‌ها در فضای باز بین آنها شده و برعکس افزایش محصوریت باعث کاهش سرعت و افزایش سن هوا و افزایش آلاینده‌های ورودی به محوطه فضاهای باز شده است. - یکی از موارد قابل توجه در تعیین کیفیت هوا در فضاهای باز بین مجتمع‌های مستقر در مجاورت منابع تولید آلاینده، میزان نفوذپذیری جداره‌های رو به منبع آلودگی است. به این ترتیب که کاهش نفوذپذیری در این جداره‌ها باعث کاهش

منظور سه الگوی کشیدگی ساختمان (مربع، مستطیل با کشیدگی در جهت عمود بر باد غالب و مستطیل با کشیدگی در راستای باد غالب شهری) در شش الگوی چیدمانی در مجاورت یک بزرگراه شهری (به‌عنوان منبع تولید آلاینده) به‌عنوان نمونه‌های موردی در تحقیق حاضر در نظر گرفته شد. ۱۸ نمونه موردی به دست آمده با نرم افزار CFD مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند و سه شاخص کیفیت هوا شامل سرعت هوا، سن و هوا و غلظت آلاینده‌های ورودی به فضای باز مرکزی ثابت در تمام نمونه‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند. مهمترین نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام گرفته به شرح زیر قابل طرح است:

- میان سه شاخص سرعت هوا، سن هوا و انباشت آلاینده‌ها در فضاهای باز بین مجتمع‌های ساخته شده در مجاورت بزرگراه‌های شهری از تباطع معنی داری وجود دارد. به این ترتیب که افزایش سرعت هوا باعث کاهش سن هوا و در نتیجه کاهش انباشت آلاینده‌ها در فضاهای باز بین مجتمع می‌شود و برعکس؛

- افزایش محصوریت فضایی به‌واسطه چیدمان مرکزگرا در مجتمع‌های ساختمانی باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضای باز میانی آنها می‌شود. این در حالی است که این موضوع بر شاخص‌های تهویه شامل سرعت و سن هوا تأثیر منفی دارد؛ به این ترتیب که افزایش محصوریت فضایی باعث کاهش نفوذ باد به بخش مرکزی مجموعه و در نتیجه کاهش سرعت هوا و افزایش سن هوا در این محدوده می‌شود. بنابراین اگر چه این ویژگی منجر به کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی می‌شود اما به دلیل کاهش کیفیت تهویه، نمی‌تواند گزینه مطلوبی از منظر کیفیت هوا در این فضاها قلمداد شود.

- افزایش نفوذپذیری در جداره‌های منتهی به منابع تولید آلاینده می‌تواند عاملی جهت انتقال ذرات آلاینده به فضاهای باز بین مجتمع شود. بنابراین کشیدگی بلوک‌های ساختمانی در جهت عمود بر امتداد باد غالب یکی از عواملی است که می‌تواند مانع از ورود آلاینده‌ها به فضای پشت باد در آنها شود. اما ذکر این نکته نیز قابل توجه است که این کشیدگی ساختمانی نباید به گونه‌ای باشد که مانع از تهویه مناسب این فضاها شود. بنابراین در چیدمان بلوک‌ها باید به گونه‌ای عمل شود که امکان تهویه مناسب در فضاهای باز میانی فراهم آید.

### اعلام عدم تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای وی وجود نداشته است.

از ورود ذرات آلاینده از بیرون به بخش میانی مجموعه شده و از سویی دیگر این عناصر امکان تهویه مناسب در فضاهای مابین ساختمان‌ها را فراهم کنند. با بررسی داده‌های مربوط به نمونه‌های موردی پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که نمونه  $H03$  می‌تواند از جمله نمونه‌هایی باشد که از منظر شاخص کیفیت هوا در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشته باشد. به نظر می‌رسد کشیدگی بلوک‌های ساختمانی این نمونه در راستای عمود بر مسیر عبوری ذرات آلاینده تا حدی مانع از ورود ذرات آلاینده به بخش مرکزی مجموعه شده و از سویی دیگر به دلیل گشایش فضایی حاصل از نوع چیدمان بلوک‌ها در کنار یکدیگر، امکان تهویه مناسب هوا در فضای مابین بلوک‌ها به نحو مناسب‌تری امکان پذیر است. همچنین داده‌های ارائه شده نشان می‌دهند که نمونه‌های نمونه  $S03$  و نمونه  $V03$  نیز به دلیل کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضای مرکزی و نیز افزایش سرعت هوا در این محدوده، می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های مناسب از نظر شاخص کیفیت هوا در فضای باز میان مجتمع در نظر گرفته شوند.

### نتیجه‌گیری

حضورپذیری افراد در فضاهای باز شهری تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که یکی از مهمترین آنها، کیفیت مطلوب هوا در این فضاها است. بنا به ادبیات موجود، در تعریف کیفیت هوا از عوامل متعددی یاد شده است که از کیفیت تهویه تا مقادیر ذرات آلاینده موجود در هوا را شامل می‌شود. این موضوع به ویژه در مجموعه‌هایی که در مجاورت منابع تولید آلاینده قرار دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. یکی از این منابع تولید و انتشار آلاینده‌ها در فضاهای شهری، بزرگراه‌ها هستند. روزانه تعداد زیادی خودرو در این بزرگراه‌ها تردد کرده و گازهای حاصل از احتراق سوخت در این خودروها یکی از عوامل آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و کلانشهرها به شمار می‌رود. این گازها در خود ذرات معلق را به همراه دارند که با وزش بادهای شهری امکان جابجایی آنها وجود دارد. با ورود این ذرات معلق به فضاهای موجود در مجاورت این بزرگراه‌ها، شاخص‌های کیفی هوا در آنها تا حد زیادی تنزل می‌یابد. این موضوع در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی ساخته شده در مجاورت این محورها ترافیکی از اهمیت بیشتری برخوردار است. با این حال به نظر می‌رسد فرم ساختمان و الگوی چیدمان آنها می‌تواند تا حدی از نفوذ ذرات آلاینده به فضاهای باز مابین آنها مانع به عمل آورد. با این توضیح هدف پژوهش حاضر ارزیابی کیفیت هوا در الگوهای مختلف فرمی و چیدمانی در بلوک‌های مسکونی ساخته شده در مجاورت یک بزرگراه شهری است. برای این

۳. prismatic and hexahedral cells  
 ۴. Atmospheric Boundary Layer  
 ۵. Mass flow rate

۱. upstream and downstream  
 ۲. computational grid

## فهرست منابع

- Hassan, A. M., ELMokadem, A. A., Megahed, N. A., & Eleinen, O. M. A. (2020). Urban morphology as a passive strategy in promoting outdoor air quality. *Journal of Building Engineering*, 29, 101204. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101204>
- Jiang, Y., Wu, C., & Teng, M. (2020). Impact of residential building layouts on microclimate in a high temperature and high humidity region. *Sustainability*, 12(3), 1046. <https://doi.org/10.3390/su12031046>
- Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z. R., & Fu, Q. (2019). Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*, 147, 559-568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.038>
- Li, X. X., Liu, C. H., & Leung, D. Y. (2005). Development of a model for the determination of air exchange rates for street canyons. *Atmospheric environment*, 39(38), 7285-7296. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.09.007>
- Liang, Z., Wei, F., Wang, Y., Huang, J., Jiang, H., Sun, F., & Li, S. (2020). The context-dependent effect of urban form on air pollution: A panel data analysis. *Remote Sensing*, 12(11), 1793. <https://doi.org/10.3390/rs12111793>
- Pilechiha, P., Mahdavejad, M., Rahimian, F. P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, 261, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
- Richards, P. J. (1989). *Computational modelling of wind flow around low-rise buildings using PHOENICS*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19892440499>
- Saadatjoo, P. (2022). Investigating the Effect of Building Facade Recess on Urban Wind Flow Performance. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 14(37), 45-63. <https://doi.org/10.22034/aaud.2021.241309.2270>
- Saadatjoo, P., & Saligheh, E. (2021). The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case study: Residential Complexes in Tehran. *Tarbiat Modares University*, 11(3), 67-92. <https://doi.org/10.1001.1.23224991.1400.11.3.4.1>
- 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), 1749-1761.
- Xie, X., Huang, Z., & Wang, J. S. (2005). Impact of building configuration on air quality in street canyon. *Atmospheric*
- ASHRAE. (2022). *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality* (Standard 62.1-2022). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Bady, M., Kato, S., Takahashi, T., & Huang, H. (2011). An experimental investigation of the wind environment and air quality within a densely populated urban street canyon. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(8), 857-867. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.06.005>
- Baralis, E., Cerquitelli, T., Chiusano, S., Garza, P., & Kavosifaris, M. R. (2016, May). Analyzing air pollution on the urban environment. In *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 1464-1469). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2016.7522370>
- Barwise, Y., & Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
- Cui, D., Li, X., Liu, J., Yuan, L., Mak, C. M., Fan, Y., & Kwok, K. (2021). Effects of building layouts and envelope features on wind flow and pollutant exposure in height-asymmetric street canyons. *Building and Environment*, 205, 108177. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108177>
- Eskandari, H., Saedvandi, M., & Mahdavejad, M. (2017). The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. *Buildings*, 8(1), 3. <https://doi.org/10.3390/buildings8010003>
- Fatahi, K., Nasrollahi, N., Ansarimanesh, M., Khodakarami, J., & Omranipour, A. (2021). Comparison of Thermal Comfort Range of Finn Garden and Historical texture of Kashan. *Tarbiat Modares University*, 11(1), 53-63. <https://doi.org/10.1001.1.23224991.1400.1.1.4.7>
- Franke, J., Hellsten, A., Schlünzen, H., & Carissimo, B. (2011). The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: A summary. *Int J Environ Pollut*, 44(1-4), 419-427. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2011.038443>
- Hadianpour, M., Mahdavejad, M., Bemanian, M., Haghshenas, M., & Kordjamshidi, M. (2019). Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran. *Building and Environment*, 150, 164-180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053>
- Harris, R. I. (1981). *The structure of strong winds*. In *Proc. CIRIA Conf. on Wind engineering in the eighties*. London. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-8367-8.50019-X>

*Environment*, 39(25), 4519-4530. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.043>

- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., & Xia, G. (2020). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101941. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101941>
- Yin, J., Zheng, Y., Wu, R., Tan, J., Ye, D., & Wang, W. (2012). An analysis of influential factors on outdoor thermal comfort in summer. *International Journal of Biometeorology*, 56, 941-948. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0503-9>

[org/10.1007/s00484-011-0503-9](https://doi.org/10.1007/s00484-011-0503-9)

- Ying, X., Wang, Y., Li, W., Liu, Z., & Ding, G. (2020). Group layout pattern and outdoor wind environment of enclosed office buildings in Hangzhou. *Energies*, 13(2), 406.
- Yousefian, S., Pour Jafar, M. R., & Ahmadpour Kolahroodi, N. (2017). Impacts of High-Rise Buildings Form on Climatic Comfort with Emphasis on Airflow through ENVI-met Software. *Tarbiat Modares University*, 7(2), 1-10. <https://doi.org/20.1001.1.23224991.1396.7.2.2.9>

#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the authors with publication rights granted to Manzar journal. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



#### نحوه ارجاع به این مقاله

شریفی، رقیه؛ حیدری، علی اکبر؛ کشمیری، هادی و شمس الدینی، علی. (۱۴۰۵). تحلیل عددی تأثیر الگوی چیدمان و کشیدگی ساختمان‌ها در بلوک‌های مسکونی مستقر در مجاورت شریان‌های ترافیکی بر کیفیت هوا در فضای باز بین ساختمان‌ها. *منظر*، ۱۸ (۷۴)، ۲۶-۳۷.

DOI: [10.22034/MANZAR.2025.538692.2370](https://doi.org/10.22034/MANZAR.2025.538692.2370)

URL: [https://www.manzar-sj.com/article\\_237626.html](https://www.manzar-sj.com/article_237626.html)

