



بررسی تاثیر فرم هندسی ساختمان بر عملکرد جریان باد در فضای باز مجتمع‌های مسکونی

پریا سعادت جو^{۱*}

۱- استادیار، گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* تبریز، صندوق پستی ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱، paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

چکیده

جریان هوا یکی از مهم‌ترین مولفه‌های آسایش در فضای باز است که تحت تاثیر فاکتورهای متعدد از جمله هندسه ساختمان‌ها قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر به بررسی تاثیر تغییرات هندسی ساختمان‌ها بر جریان باد پیرامونی بلوک‌ها در یک مجتمع مسکونی پرداخت. نمونه مورد مطالعه یک مجتمع مسکونی متشکل از ۹ بلوک میان مرتبه در شهر تهران است. در این راستا، فرم هندسی بلوک‌ها در سه حالت متفاوت شبیه‌سازی شد و تاثیر آن بر رفتار باد در فضای باز مجتمع مورد ارزیابی قرار گرفت. روش تحقیق در بخش اول روش توصیفی با ابزار مطالعات کتابخانه‌ای و راهبرد پژوهش در بخش دوم، راهبرد شبه‌تجربی است. شبیه‌سازی‌های CFD و تحلیل‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار Ansys Airpak ۳.۰.۱۶ انجام گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی تاثیر تغییرات هندسی بنا بر الگوی جریان باد پیرامونی ساختمان‌ها در فضای باز مجتمع را به اثبات رسانید. نتیجه این تغییرات، افزایش ۱۳.۸۳ درصدی متوسط سرعت و ۶.۷۶ درصدی ماکزیمم سرعت جریان باد در فضای باز را به دنبال داشت. از میان انواع فرم‌های بررسی شده، فرم T شکل با هدایت مناسب جریان باد، باعث بهبود رفتار باد در حوزه‌های میان‌بلوکی و حوزه‌های میان‌ردیفی شد. با این حال، فرم های L شکل (مدل M3) با انسداد جریان باد، کاهش قابل ملاحظه سرعت جریان در حوزه‌های میان بلوک‌های هم‌ردیف را به همراه داشت.

کلیدواژگان: باد، فضای باز، الگوی جریان، هندسه، ساختمان

Investigating the effect of building geometry on outdoor wind flow performance in residential complexes

Paria Saadatjoo^{1*}

1- Department of Architecture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* P.O.B. 5166616471 Tabriz, Iran, paria.saadatjoo@tabrizu.ac.ir

Received: 2 August 2021 Accepted: 20 September 2021

Abstract

Open space in residential complexes is a context for the generation of social relations along with environmental performance. Thermal comfort and appropriate architectural features attract people to these spaces. Airflow is one of the most fundamental parameters of outdoor thermal comfort, which is influenced by various factors, including the geometry of buildings. The present study investigated the effect of geometric modifications of buildings on wind flow pattern around the blocks in a residential complex. The case study is a residential complex consisting of 9 midrise blocks. The geometric shape of the blocks was modified and simulated in three steps and the effect of these modifications on the outdoor wind performance was evaluated. The main research method was descriptive analytical method with numerical simulation strategy and analysis of the results was conducted by logical reasoning. The models were simulated in Ansys Airpak 3.0.16 and their results were presented in the form of quantitative outputs, graphic contours as well as several charts. The results of numerical simulations proved the effect of building geometry on the outdoor wind flow pattern around the buildings. The results indicated an increase of 13.83% and 6.76% in average and maximum outdoor air velocity under the influence of buildings geometry modification. Among the studied geometries, the T-shaped form with proper wind flow conduction improved wind behavior in inter-block and inter-row domains. However, L-shaped forms (M3 model) significantly reduced the flow velocity in the inter-block areas by blocking the wind flow.

Keywords: Wind, Open space, Flow pattern, Geometry, Building



۱- مقدمه

طور قابل ملاحظه ای کاهش پیدا کند. با این حال می‌توان به واسطه تمهیدات طراحی و کاربست راهکارهای مناسب بسیاری از این مشکلات را تعدیل و تا حد امکان تقلیل داد. این پژوهش در پی آنست تا با بررسی چند فرم متداول بلوک‌های مسکونی، تاثیر این تغییرات بر الگوی جریان باز شهری را بررسی و فرم‌های مناسب از میان آن‌ها را شناسایی نماید.

۲- پیشینه پژوهش

تاکنون دسته‌بندی‌های مختلفی برای پارامترهای تاثیرگذار بر جریان باد داخلی و پیرامونی ساختمان‌ها انجام شده‌است. در پژوهش انجام‌شده توسط اوسمان (۲۰۱۱)، عامل‌های موثر بر رفتار باد، به سه مقیاس ریز و میانه و کلان دسته‌بندی شده‌اند. در این دسته‌بندی عوامل مرتبط با معماری تک‌بنا و اجزای ساختمان در دسته خرد، پارامترهای مرتبط با ساختار واحد همسایگی در دسته میانه و عوامل مرتبط با بافت شهری و ساختار طبیعی سایت در مقیاس کلان جای گرفته است. بر اساس این تقسیم‌بندی، ساختار پوسته ساختمان، جهت‌گیری بنا، تناسبات ساختمان و فرم آن از عوامل معمارانه موثر بر رفتار باد در اطراف تک‌بنا هستند [۱۱]. از میان عوامل مذکور، موقعیت ساختمان‌های یک مجموعه نسبت به هم از مولفه‌های تاثیرگذار بر جریان باد است که می‌تواند الگوی جریان فضای خارجی و داخلی ساختمان را تحت تاثیر قرار دهد. تاکنون پژوهش‌های متعددی تاثیر الگوی چیدمان و ساختار واحدهای همسایگی بر جریان هوا و آسایش حرارتی در فضای باز را مطالعه کرده‌اند. هنگ و لین (۲۰۱۵) ۶ حالت مختلف الگوی چیدمان در یک مجتمع مسکونی متشکل در شهر بیژینگ را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها جانمایی ضلع بزرگ‌تر ساختمان به موازات جهت جریان باد غالب می‌تواند با ایجاد گرده‌بایی در کنج بنا به برقراری جریان هوا در تراز عابرپیاده کمک نماید [۱۲]. یینگ و همکاران (۲۰۲۰) با سنجش سرعت باد در ارتفاع ۱.۵ متری پیرامون بناهای اداری شهر هانگژو با ۴ الگوی مختلف چیدمان، به این نتیجه رسیدند که نحوه مجاورت بلوک‌ها تاثیر چشمگیری بر سرعت باد و الگوی باد پیرامونی ساختمان‌ها دارد. نتایج این پژوهش حاکی از آنست که نحوه مجاورت بلوک‌ها و افزایش تعداد حیاط‌ها عملکرد بهتری نسبت به حالت حیاط مرکزی پیوسته دارد [۱۳]. پژوهش انجام شده توسط جیانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ بر روی یک مجتمع مسکونی با ۶ نوع الگوی چیدمان مختلف بلوک‌ها نشان داد که الگوی همنشینی خطی و پله ای بلوک‌ها به موازات جریان باد قادرند به واسطه ایجاد کریدورهای جریان، سرعت باد را به میزان ۰.۳ و ۰.۴ متر بر ثانیه افزایش دهند [۱۴].

هندسه ساختمان و شکست‌های موجود در بدنه یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر ایجاد فشار وارد بر بدنه و به تبع آن پتانسیل تهویه داخلی بنا است. تغییرات هندسه علاوه بر جریان باد می‌تواند میزان انرژی تابشی دریافتی، خودسایه‌اندازی ساختمان، تبادل حرارت با محیط اطراف و به تبع آن میزان مصرف انرژی را تغییر دهند [۱۵]. پسنلر و مهدوی (۲۰۰۳) با تعریف شاخص "فشرده‌گی نسبی" و ایجاد ۵۴ آلترناتیو مختلف با فشرده‌گی‌های نسبی متفاوت به این نتیجه رسیدند که این شاخص می‌تواند به واسطه تغییر سطح تماس با محیط خارجی و تغییر جریان داخلی، بار حرارتی ساختمان را به طور قابل ملاحظه ای تغییر دهد (شکل ۱) [۱۶].

در حال حاضر ۵۵٪ از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند، اما پیش‌بینی می‌شود که این تعداد طی دهه‌های آینده افزایش پیدا کند؛ به طوری که انتظار می‌رود در حدود ۶۸٪ از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در شهرها ساکن شوند [۱]. افزایش تعداد ساکنین شهری، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های مناسب و تامین فضاهای مسکونی به تعداد کافی است؛ اما لازم به ذکر است که افزایش تراکم ساخت و ساز در شهرها تبعاتی از قبیل ایجاد میکرواقلیم، افزایش جزایر حرارتی در نتیجه تراکم آلاینده‌ها، جذب اشعه‌های تابشی خورشید و انسداد کریدورهای جریان طبیعی هوا را به دنبال دارد [۳،۴]. رشد جمعیت و ساخت و سازهای شهری تبعات بسیار مهم زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی، صنعتی و فرهنگی را در پی داشته است. در کشورهای پیشرفته، مصرف بیش از حد منابع (عمدتاً انرژی)، افزایش آلودگی هوا، افزایش اثر جزایر گرمایی شهری و دمای محیط و ... از مهم‌ترین این مشکلات به شمار می‌آیند [۴]. افزایش تراکم ساخت و سازهای شهری و تبعات ناشی از آن می‌تواند منجر به بالا رفتن انرژی مصرفی موردنیاز برای سرمایش ساختمان‌ها شود. در حال حاضر ۸۰٪ از کل انرژی در مناطق شهری مصرف می‌شود که این میزان مصرف انرژی، عامل انتشار ۶۰٪ از کل دی‌اکسیدکربن حاصل از فعالیت‌های انسانی است [۵]. یکی از عمده‌ترین مشکلات مذکور، رکود جریان هوا در فضاهای شهری و کاهش پتانسیل تهویه طبیعی هوا در خارج و داخل ساختمان‌ها می‌باشد. بالا رفتن دمای کره زمین، میزان نیاز به سیستم‌های سرمایشی پویا و انرژی مصرفی جهت سرمایش در ساختمان‌ها در بسیاری از کشورها را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است [۷،۶].

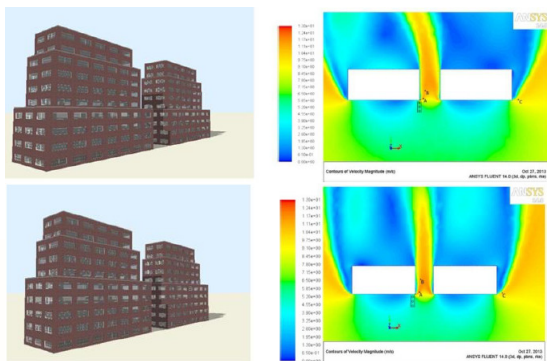
در حال حاضر به دلیل تراکم بالای جمعیت و نیاز به مسکن، ساخت مجتمع‌های مسکونی در ایران (به ویژه شهر تهران) بسیار متداول شده است. توسعه مجتمع‌های مسکونی در ایران از دهه ۱۳۳۰، با رشد شهرنشینی و افزایش مهاجرت به تهران، با ساخت مجتمع‌هایی نظیر کوی نارمک و نازی‌آباد آغاز شد. در دهه ۱۳۵۰، آغاز ساخت مجتمع‌های مسکونی با کیفیت توسط شرکت‌های مشاور خارجی برای اقبال مرفه جامعه رقم خورد [۸]. احداث مجتمع‌های مسکونی در دهه‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۰ توسط شرکت‌های خصوصی و تعاونی‌ها بسیار رواج یافت. در حال حاضر، ساخت این تیپولوژی ساختمانی در کشور سیر صعودی دارد و در بسیاری از کلانشهرها پاسخگوی نیاز مسکن رو به رشد شهروندان می‌باشد.

فضای باز در مجتمع‌های مسکونی علاوه بر مسائل محیطی بستری برای شکل‌گیری روابط جمعی است. این فضا به عنوان مکملی برای فضای سبز، به تعدیل تراکم ساختمانی کمک می‌کند. تامین آسایش حرارتی ساکنین علاوه بر کیفیات فضایی مناسب یکی از مولفه‌های حضورپذیری این فضاها می‌باشد. جریان هوا، انرژی تابشی، رطوبت، دما و ... از مهم‌ترین مولفه‌های آسایش حرارتی در فضای باز هستند. در این میان جریان هوا و تهویه طبیعی در ساختمان‌ها به واسطه تعدیل دما، ارتقا کیفیت هوا و کنترل رطوبت تاثیر مستقیمی بر آسایش و سلامتی ساکنین ساختمان دارد [۹]. جریان هوا در فضاهای باز شهری به خصوص در اقلیم‌های گرم و مرطوب تاثیر بسزایی در بهبود شرایط آسایش حرارتی شهروندان ایفا می‌کند [۱۰]. سرعت جریان هوا باید به اندازه ای باشد که حداکثر غلظت هر نوع آلاینده در محیط از حد مجاز پذیرفته شده کمتر باشد. از سویی دیگر، سرعت جریان هوا عوامل محیطی دیگر از قبیل دما و رطوبت نسبی را نیز به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد [۴]. رکور جریان در شهرهای بزرگ به واسطه تعدد ساخت و ساز، افزایش تراکم ساخت و ... باعث شده است تا پتانسیل تهویه طبیعی در داخل و فضای باز شهری به



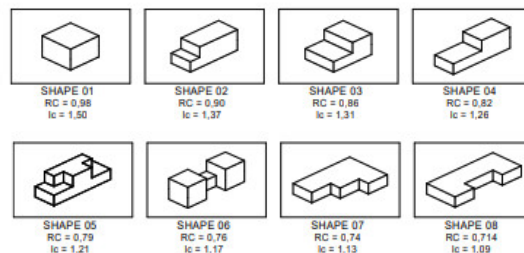
فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو-سال نهم، شماره دهم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱

الگوی باد اطراف ساختمان به اثبات رسید [۲۳]. تامورا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تست‌های تونل باد به بررسی تاثیر ارتفاع، عرض و تناسب یک ساختمان مربعی شکل بر جریان باد اطراف ساختمان پرداختند [۲۴]. دوو و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر ارتفاعات و اندازه‌های تخلخل بر شرایط آسایش باد پیرامونی یک تک‌بنا و مجموعه‌ای از ساختمان‌ها را بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش ارتفاع، تعبیه وید در طبقه همکف و ایجاد وید با ابعاد بزرگ، تاثیرات مثبتی در افزایش جریان باد پیرامون ساختمان دارد [۲۵]. یوان و همکاران با شبیه سازی ۹ مورفولوژی متخلخل ساختمانی و مقایسه آن‌ها با مدل صلب به این نتیجه رسیدند که تعبیه فضاهای متخلخل در ترازهای تحتانی ساختمان و پله ای کردن تراز همکف، کمک قابل ملاحظه‌ای به افزایش جریان توربولانسی در تراز عابر پیاده می‌نماید [۲۶]؛ این در حالیست که تعبیه سکو در طبقه همکف باعث افت جریان باد پیرامون ساختمان می‌گردد [۲۷]. در کنار مولفه‌های مزبور، فرم مقطع ساختمان یکی از عوامل بسیار موثر و تعیین کننده الگوی جریان باد شهری است. حریری و همکاران با بررسی ۳ مدل ساختمانی مختلف و تغییر تراز شکست طبقات، تاثیر فرم مقطع بنا بر رفتار جریان پیرامون ساختمان و آسایش عابری پیاده را به اثبات رساندند (شکل ۳) [۲۸].



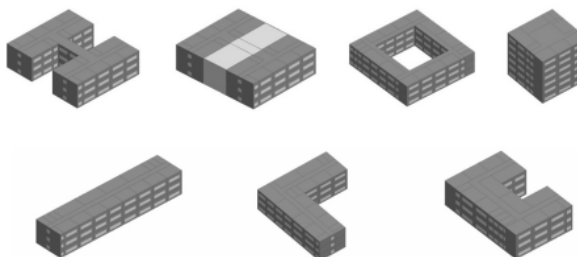
شکل ۳ تاثیر تغییرات فرمی مقطع ساختمان بر رفتار باد پیرامون ساختمان در تراز عابر پیاده [۲۸]

فرورفتگی بدنه در قالب ایجاد تراس و ... به عنوان یک تغییر فرمی، می‌تواند رفتار باد پیرامونی و داخلی ساختمان را تغییر دهد. هونوی و همکاران (۲۰۰۶) مدل‌هایی با تخلخل ۰ و ۵۰٪ را از منظر بار سرمایشی و متوسط سرعت جریان باد با یکدیگر مقایسه کردند. بررسی‌ها نشان داد که پتانسیل تهویه در مدل متخلخل در حدود ۳۰٪ بیشتر از مدل صلب است [۲۹]. سعادت‌جو و همکاران در چندین پژوهش به بررسی تاثیرات تغییرات هندسی ساختمان‌ها در قالب تخلخل پرداختند. در این پژوهش‌ها تاثیر تغییرات درصد تخلخل، الگوی توزیع تخلخل و عمق فرورفتگی‌های بدنه بر رفتار باد و پتانسیل تهویه طبیعی ساختمان و بار سرمایشی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که مدل‌هایی با عمق تراس ۱.۲ متر می‌توانند متوسط سرعت جریان داخل ساختمان را به میزان ۸۸-۴۰٪ افزایش دهند [۳۰]. در پژوهشی دیگر بررسی الگوی توزیع تخلخل در قالب الگوی ردیفی، دانه‌ای و ترکیبی نشان داد که الگوی دانه‌ای رفتار بهتری را در مقایسه با سایر الگوهای توزیع تخلخل از خود نشان می‌دهد [۳۱]. بررسی تاثیر تغییرات درصد تخلخل در ساختمان بر روی پتانسیل تهویه طبیعی و بار سرمایشی ساختمان نشان داد که این دو متغیر می‌توانند با تغییر الگوی جریان داخلی، درصد سطوح تحت سایه و .. میزان بار سرمایشی ساختمان را تغییر دهند [۳۲]. خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها و متغیرهای مورد بررسی در آن‌ها در جدول ۱ آمده‌است.



شکل ۱ مدل‌های شبیه سازی شده با شاخص‌های فشردگی نسبی متفاوت به منظور بررسی میزان مصرف انرژی [۱۶]

ژانگ و همکاران تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد انرژی و حرارتی ساختمان‌های آموزشی در چین را بررسی کردند. در این پژوهش هندسه‌های خطی، C, H, U و ... از نظر میزان مصرف انرژی مطالعه و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات هندسی می‌تواند میزان مصرف انرژی ساختمان را به میزان ۱۳.۶٪ کاهش دهد و شرایط آسایش حرارتی داخلی را به میزان ۳.۸٪ ارتقا دهد. ساختمان‌های با هندسه H شکل شرایط آسایش حرارتی بهتری را در مقایسه با سایر اشکال تامین می‌کنند (شکل ۲) [۱۷].



شکل ۲ مدل‌های مورد بررسی توسط ژانگ و همکاران به منظور بررسی تاثیر شاخص هندسه بر عملکرد حرارتی ساختمان [۱۷]

درون و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی سه نوع هندسه مختلف ساختمان ساده، دارای صافه، پیشامدگی و دارای حفره میانی به این نتیجه رسیدند که تغییر هندسه ساختمان می‌تواند جریان پیرامونی بنا را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار دهد. بررسی‌ها نشان داد که ایجاد یک پیشامدگی یا صافه می‌تواند جریان پیرامونی ساختمان را به میزان ۲۹٪ تا ۳۶٪ کاهش دهد. افزایش اندازه این الحاقات ساختمان تاثیر مستقیم بر کاهش سرعت جریان پیرامون ساختمان دارد [۱۸].

پژوهش‌ها حاکی از آنست که می‌توان با اعمال تغییراتی بر روی ساختار فرمی بناها، الگوی جریان پیرامون و داخل ساختمان در تراز عابر پیاده را تا حد قابل توجهی تغییر داد [۱۹]. یکی از این راهکارها، اعمال تغییرات در گوشه‌های ساختمان است. تست‌های تونل باد انجام گرفته توسط اوماتسو و همکاران در سال ۱۹۹۲ نشان داد که اعمال تغییرات جزئی بر روی گوشه‌های بنا می‌تواند جریان اطراف ساختمان را به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر دهد. این پژوهش با بررسی ۴ نوع فرم گوشه و انواع جهت باد نشان داد که فرم گوشه بنا می‌تواند رفتار باد در اطراف ساختمان را تحت تاثیر قرار دهد [۲۰]. فرم سقف ساختمان یکی دیگر از مولفه‌های تاثیرگذار بر روی جریان باد اطراف و داخل بنا است [۲۱، ۲۲]. تغییر تناسب نما به عنوان یکی دیگر از متغیرهای فرمی می‌تواند رفتار باد را تغییر دهد. پژوهش انجام گرفته در سال ۲۰۱۹ در لندن، محدوده‌ای با ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر انتخاب و ۲۰ مدل متفاوت با ارتفاعات و تناسب‌های متفاوت (۸ جهت باد مختلف برای هر حالت) با نرم‌افزارهای گروه CFD شبیه‌سازی شدند. در این پژوهش، تاثیرات چشمگیر تناسب نما بر

جدول ۱ خلاصه ای از مطالعات انجام شده در زمینه هندسه ساختمان و آسایش

منبع	سال	متغیر مستقل	متغیر وابسته
۱۲	۲۰۱۵	الگوی مجاورت بلوک ها	جریان هوا، آسایش حرارتی
۱۳	۲۰۲۰	الگوی مجاورت بلوک ها	سرعت و جریان باد پیرامونی
۱۴	۲۰۲۰	الگوی مجاورت بلوک ها	سرعت و جریان باد پیرامونی
۱۵	۲۰۲۰	هندسه ساختمان و شکست های بدنه	تهویه داخلی، تابش دریافتی، خودسایه اندازی، تبادل حرارت
۱۶	۲۰۰۳	هندسه و فشردگی حجمی	بار حرارتی و مصرف انرژی
۱۷	۲۰۱۷	هندسه ساختمان	مصرف انرژی، آسایش حرارتی
۱۸	۲۰۱۹	پیشامدگی و صفا ساختمان	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۰	۱۹۹۹	هندسه گوشه های بنا	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۱	۲۰۱۷	هندسه سقف	دمای هوا و تمرکز آلاینده ها
۲۲	۲۰۱۶	هندسه سقف	تهویه داخلی ساختمان
۲۳	۲۰۱۹	ارتفاع و تناسب هندسی	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۴	۲۰۱۹	ارتفاع و تناسب هندسی	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۵	۲۰۱۸	ارتفاع و تخلخل ساختمان	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۶	۲۰۱۲	تخلخل ساختمان	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۷	۲۰۱۲	ارتفاع و هندسه همکف بنا	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۸	۲۰۱۶	هندسه و شکست در طبقات	سرعت و جریان باد پیرامونی
۲۹	۲۰۰۶	هندسه و تخلخل ساختمان	تهویه داخلی و بار سرمایشی
۳۰	۲۰۱۸	هندسه و تخلخل ساختمان	تهویه داخلی ساختمان
۳۱	۲۰۱۹	هندسه و الگوی تخلخل	تهویه داخلی ساختمان
۳۲	۲۰۲۱	هندسه و درصد تخلخل	تهویه داخلی و بار سرمایشی

تبعات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی متعددی نیز به همراه داشته است. یکی از مهم ترین تبعات بلندمرتبه سازی انسداد کریدورهای جریان طبیعی هوا و شکل گیری جزایر حرارتی شهری است که ناشی از ویژگی های شهرسازی، آلودگی هوا، تمرکز گرما و حرارت، عدم تهویه مناسب شهری و وجود سطوح نفوذناپذیر در شهر است [۳۳]. جریان باد به عنوان یکی از عناصر اقلیمی، نقش مهمی در کیفیت فضاهای شهری و حضورپذیری این فضاها دارد [۳۴]. محدودیت های موجود در شهرهای بزرگ، منجر به توسعه ساخت مجتمع های مسکونی و کاهش سهم حیاط خصوصی در معماری شده است. فضای باز مجتمع های مسکونی علاوه بر تامین نور و روشنایی و تهویه طبیعی، به عنوان فرصتی جهت ارتباط بیشتر با طبیعت پیرامونی و زمینه ساز شکل گیری تعاملات جمعی است [۸].

در شرایط کنونی، طراحان این مجموعه ها با اولویت قرار دادن مسائل اقتصادی، به حل روابط و عملکردها اکتفا نموده و حداقل فاصله میان بلوک ها جهت پرهیز از سایه اندازی را مبنای طراحی خود قرار می دهند. در این مجموعه ها تهویه طبیعی و بررسی الگوی جریان باد به عنوان یکی از مهم ترین متغیرهای تاثیرگذار بر آسایش اقلیمی خارج و داخل بنا مورد بی توجهی قرار می گیرد. رطوبت و دمای بالای هوا، استفاده از مصالح با ضریب انعکاس بالا در بدنه ها و جریان ناکافی هوا در فضای باز بسیاری از مجتمع ها در اقلیم های گرم باعث شده است تا ساکنین این مجتمع ها هیچ تمایلی به حضور و گذران اوقات در این فضاها نداشته باشند.

تاکنون پژوهش های متعددی نقش الگوی چیدمان بلوک ها در مجتمع های مسکونی بر الگوی جریان هوا و آسایش حرارتی در فضای باز را مورد بررسی قرار داده اند اما پژوهشی که تاثیر فرم و هندسه کلی بنا (فرم پلان) بر الگوی جریان پیرامونی و تاثیر آن بر باد محوطه های باز را مورد مطالعه قرار دهد وجود ندارد.

۳-۲- روش تحقیق

این مقاله به بررسی تاثیر هندسه ساختمان بر جریان باد پیرامون ساختمان ها در فضای باز یک مجتمع مسکونی در شهر تهران می پردازد. هدف این پژوهش مطالعه رفتار باد پیرامون بلوک هایی با ۳ نوع هندسه متفاوت با محیط پیرامونی برابر است تا بر این اساس بتواند به فرم بهینه ای دست یابد که به بهبود جریان هوا کمک می نماید.

روش تحقیق در بخش مطالعات نظری به روش توصیفی و روش جمع آوری اطلاعات نظری، روش مطالعات منابع کتابخانه ای است. راهبرد تحقیق در بخش دوم پژوهش، راهبرد شبه تجربی است که با استفاده از ابزارهای شبیه سازی CFD، تحلیل عددی جریان انجام شده است. بررسی رفتار آئرو دینامیک باد شهری و محاسبه سرعت باد پیرامون بنا به سه طریق برداشت مستقیم و مطالعات میدانی با استفاده از سرعت سنج، انجام تست های آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه های تونل باد و شبیه سازی های عددی به کمک نرم افزارهای گروه CFD امکان پذیر است. در این پژوهش، بررسی رفتار باد با استفاده از روش شبیه سازی رایانه و به کمک نرم افزار Ansys Airpak 3.0.16 شبیه سازی شده است.

اعتبارسنجی خروجی های نرم افزاری با تکیه بر نتایج تست تونل باد انجام شده بر روی مجموعه ای از ساختمان ها در موسسه تحقیقاتی AII ژاپن انجام گرفت [۳۵]. مدل شبیه سازی شده، مجموعه ای از ۹ بلوک صلب ساختمانی است که بررسی تطبیقی نتایج حاصل از آن با خروجی های نرم افزار، صحت مدل توربولانسی انتخاب شده، تنظیمات نرم افزاری، شبکه بندی و .. را به اثبات

با استناد به پیشینه پژوهش می توان اذعان نمود که تاکنون پژوهش های متعددی تاثیر فرم هندسی ساختمان بر جریان باد را مورد بررسی قرار داده اند. اما مرور پیشینه پژوهش ثابت کرد که عمده این مطالعات بر روی تاثیرات فرم هندسی بر تهویه داخلی، مصرف انرژی و آسایش حرارتی داخلی متمرکز شده اند. با این حال بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که تعدادی از مطالعات نیز به بررسی ارتباط فرم هندسی ساختمان ها بر جریان باد پیرامونی ساختمان ها پرداخته اند. مطالعات این حیطة به چند دسته قابل تفکیک هستند. مطالعات انجام شده در ارتباط با تغییرات هندسی طبقه همکف از جمله پیلوتی، تخلخل، پله ای کردن، صفا و ... مطالعات صورت گرفته در ارتباط با تغییر فرم هندسی مقطع بنا و شکست در ارتفاع، پژوهش های مرتبط با تغییرات هندسی در گوشه های بنا، و تحقیقات متمرکز بر روی ارتفاع، تناسب هندسی و فشردگی نسبی ساختمان (جدول ۱). با توجه به خلا پژوهشی موجود در ارتباط با تاثیر فرم هندسی ساختمان و هندسه پلان بر جریان باد پیرامونی و آسایش باد، این پژوهش سعی بر آن دارد تا با تمرکز بر این مقوله خلا پژوهشی این حیطة را تا حدی پوشش دهد. شناسایی فرم های هندسی متداول و رایج بلوک های ساختمانی در مجتمع های مسکونی، شبیه سازی جریان باد و بررسی تطبیقی آسایش باد در فضای پیرامونی آن ها گام بسیار موثری در ارائه راهکارهای کمک طراحی برای معماران در راستای ارتقا شرایط آسایش در فضای باز خواهد بود.

۳- بیان مسئله و فرآیند تحقیق

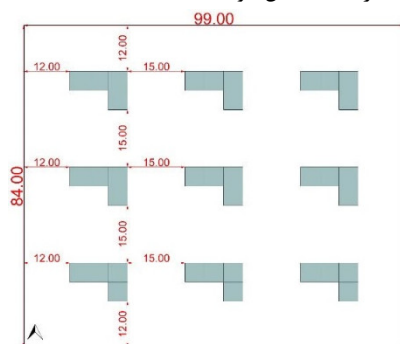
۳-۱- مسئله پژوهش

رشد شهرنشینی و نیاز به مسکن باعث شده است تا بلندمرتبه سازی اصلی ترین رویکرد ساختمان سازی در شهرها شود. روند رو به رشد این ساخت و سازها

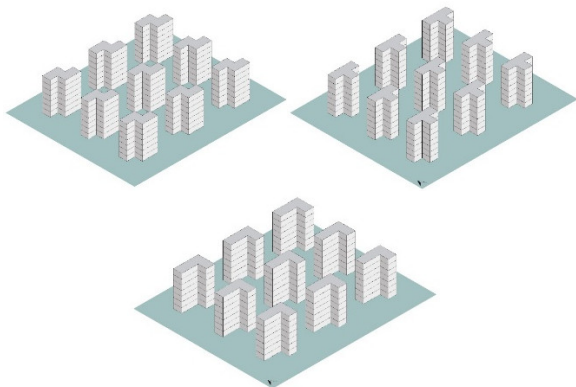


فصلنامه علمی انرژی های تجدیدپذیر و نو

پیرامونی زمین ۱۲ متر لحاظ گردید. نحوه چیدمان بلوک‌ها به صورت محوری و در امتداد یکدیگر است (شکل ۴ و ۵).

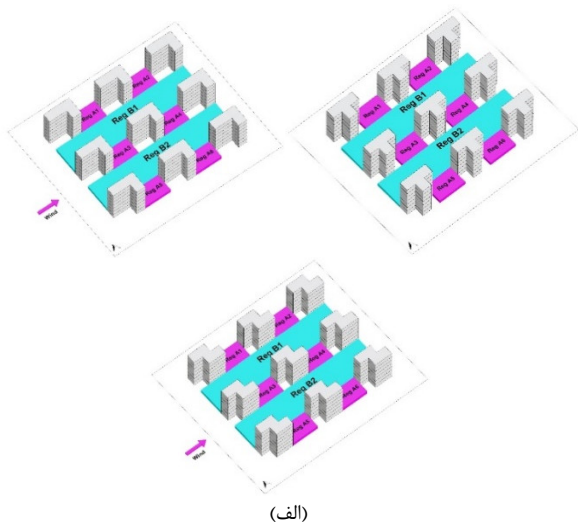


شکل ۴ موقعیت قرارگیری و فواصل بلوک‌ها نسبت به یکدیگر



شکل ۵ پرسپکتیو مجتمع‌های مسکونی با بلوک‌های: الف) مدل M1، ب) مدل M2، ج) مدل M3

سنجه‌های جریان هوا در این پژوهش متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در فضای خالی بین بلوک‌ها می باشد. بدین منظور از حلقه پیرامون زمین که به عنوان مسیر سواره است چشم‌پوشی گردید. بقیه فضاهای باز محوطه به دو دسته فضای مابین بلوک‌های واقع در یک ردیف و فضای مابین بلوک‌های ردیف‌های متوالی تقسیم‌بندی شدند و سنجه‌های تهویه طبیعی در هریک از آن‌ها اندازه‌گیری گردید. ارتفاع حوزه سنجش رفتار باد از کف معبر تا ارتفاع ۲ متر بالاتر از کف معبر است تا به طور کامل فضای حرکتی عابرین پیاده پیرامون ساختمان را پوشش دهد. موقعیت حوزه‌های سنجش در شکل ۶ نشان داده شده است.



(الف)

می‌رساند. پس از انجام تست‌های لازم جهت اعتبارسنجی خروجی‌های نرم‌افزار، شبیه‌سازی مدل‌های در چند مرحله انجام گرفت. این بلوک‌ها مکعب مربع با ابعاد ۰.۲ متر و با فاصله ۰.۲ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. ساختمان مرکزی نیز مدلی مشابه با ساختمان‌های پیرامونی است که در اطراف آن تعدادی نقاط سنجش توزیع شده است. فاصله نقاط سنجش پیرامون مدل مبنا به فواصل ۰.۰۵ از یکدیگر تعبیه شده‌اند.

در گام اول، پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه اقلیمی با مراجعه به پایگاه‌های هواشناسی، متوسط و ماکزیمم سرعت باد شهر تهران در طی ۵ دهه گذشته جمع‌آوری شد و این داده‌ها بر اساس بافت و ارتفاع حوزه مورد مطالعه متناسب-سازی گردید. ابعاد دامنه محاسباتی بر مبنای استانداردها تعیین، مدل‌های مورد نظر شبیه‌سازی و مهم‌ترین سنجه‌های پتانسیل تهویه طبیعی باد شهری (متوسط و ماکزیمم سرعت جریان) در نقاط سنجش تعریف شده اندازه‌گیری گردید. نتایج کمی به دست آمده به زبان گرافیکی و به شکل نمودارها و تصاویر متعدد ارائه شد. کانتورهای گرافیکی مستخرج از نرم‌افزار به بررسی تطبیقی الگوی جریان پیرامونی بنا کمک می‌نماید.

۴- شبیه‌سازی

۴-۱- مدل‌های شبیه‌سازی

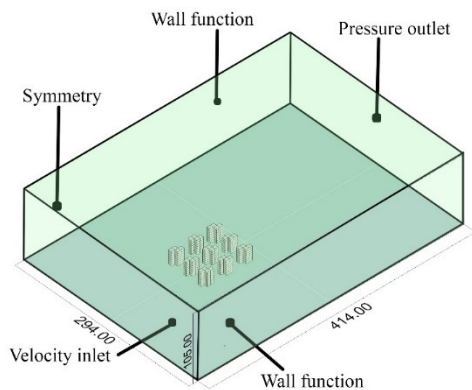
مدل مورد بررسی در این پژوهش یک مجتمع مسکونی متشکل از ۹ بلوک ساختمانی ۷ طبقه در شهر تهران است. هر طبقه متشکل از یک واحد مسکونی است و هندسه بلوک‌ها طوری انتخاب شده‌است که سطوح خارجی تمامی آن‌ها برابر باشد. زیربنای ساختمان، تعداد طبقات، مجموع مساحت سطوح جانبی و تعداد پنجره‌ها در کلیه مدل‌ها با یکدیگر برابر است. این بلوک‌ها با سه هندسه متفاوت مورد سنجش قرار گرفته‌اند. مشخصات بلوک‌ها و فرم هندسی هریک از آن‌ها در جدول زیر آمده است. با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش بررسی تاثیر فرم هندسی ساختمان بر رفتار باد خارجی است، تمامی بلوک‌ها به صورت صلب و بدون بازشو در نظر گرفته شدند. اندازه طول، عرض و ارتفاع در تمامی مدل‌ها برابر با ۱۰، ۱۵ و ۲۱ متر است (جدول ۲).

جدول ۲ مشخصات مدل‌های مورد سنجش

	M3	M2	M1	
ارتفاع (m)	۲۱	۲۱	۲۱	
تعداد طبقات	۷	۷	۷	
زیربنا (m ²)	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	
سطح جانبی (m ²)	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	

بلوک‌های مذکور در زمینی به ابعاد ۸۴×۹۹ متر توزیع شده‌اند. طبق ضوابط موجود برای احداث ساختمان‌های بالای ۶ طبقه در شهر تهران، جانمایی بلوک‌ها جهت جلوگیری از سایه‌اندازی باید تابع قانون فاصله مناسب بین دو ساختمان باشد. بر اساس این قانون حداقل فاصله بین بلوک‌ها باید به اندازه نصف ارتفاع بنا باشد [۳۶]. بر اساس این ضابطه فاصله میان بلوک‌ها در امتداد هر دو محور x و y به اندازه ۱۵ متر در نظر گرفته شد. فواصل بلوک‌ها از ابعاد





شکل ۸ ابعاد و شرایط مرزی دامنه محاسباتی

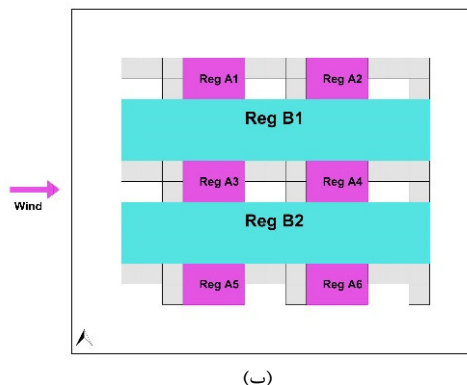
شبکه مش محاسباتی در این پژوهش با توجه به ابعاد دامنه محاسباتی و بررسی‌های استقلال حل از شبکه، ۲ مش با ضریب رشد ۱.۲ طراحی و ایجاد شد. مش‌های ایجاد شده از نوع مکعبی منسجم و ساختار یافته هستند. تعداد مش‌ها در این شبیه‌سازی ها ۲۳۱۴۰۰۰ عدد می باشد. مدل توربولانسی استفاده شده در شبیه‌سازی ها مدل k- ω SST است. در پژوهش‌های متعددی که در مورد بررسی باد شهری انجام گرفته‌است انواع مدل‌های توربولانسی بررسی و با نتایج تست‌های تونل باد مقایسه شده‌اند. در این بررسی‌ها یکی از مدل‌هایی که نتایج حاصل از آن به نتایج تست‌های تونل باد بسیار نزدیک است مدل k- ω SST است [۲۶].

داده‌های اولیه اقلیمی از طریق اسناد، منابع کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی به دست می‌آید. اسناد مکتوب بر اساس گزارشات اداره هواشناسی تنظیم می‌گردند. داده‌های اولیه معمولاً در پایگاه‌هایی گردآوری می‌شوند که در خارج از شهر و در یک محیط باز قرار دارند و مسلماً با شرایط داخل شهری متفاوت خواهند بود. اطلاعات هواشناسی استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها، اطلاعات ایستگاه مهرآباد طی ۵۰ سال گذشته (۱۳۹۳-۱۳۴۳) است. استفاده از اطلاعات هواشناسی (که در محیط باز و در ارتفاع ده متری زمین کسب می‌شود) برای مکانی دیگر هنگامی معتبر است که اولاً بافت زمین مکان مذکور از لحاظ ناهمواری ناشی از پوشش گیاهی و ساخت و ساز معماری مشابه بافت ایستگاه هواشناسی باشد و ثانیاً ارتفاع آن مکان نزدیک به ده متری زمین باشد. در غیر این صورت، سرعت باد با اطلاعات موجود تفاوت خواهد داشت و اگر متناسب سازی نشود از اعتبار اطلاعات کاسته می‌شود [۳۷]. برای تعریف پروفیل باد ابتدا سرعت به دست آمده از ایستگاه هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری برای بافت شهری متراکم بر اساس رابطه ۱ متناسب‌سازی گردید.

$$\frac{\bar{V}_z}{\bar{V}_z} = \frac{\left(\frac{z}{ZG_1}\right)^{\alpha_1}}{\left(\frac{z}{ZG_2}\right)^{\alpha_2}} \quad (1)$$

در این رابطه \bar{V}_z ، سرعت متوسط باد در ارتفاع مورد نظر در بافت معلوم هواشناسی و \bar{V}_z سرعت متوسط باد در همان ارتفاع در بافت مورد مطالعه است. Z ارتفاع مورد نظر در بافت معلوم بر حسب متر، ZG_1 ارتفاع گرادبان در بافت معلوم بر حسب متر و ZG_2 ارتفاع گرادبان در بافت مورد مطالعه است. α_1 و α_2 توان‌های عددی مربوط به بافت معلوم و بافت مورد مطالعه است. در این پژوهش مقادیر α برای بافت معلوم (ایستگاه هواشناسی) که محیط حومه ایست و برای بافت مورد مطالعه که محیط شهری با ساختمان‌های متراکم است به ترتیب ۰.۲۵ و ۰.۳۶ در نظر گرفته شده‌است [۳۷]. اطلاعات هواشناسی شهر تهران

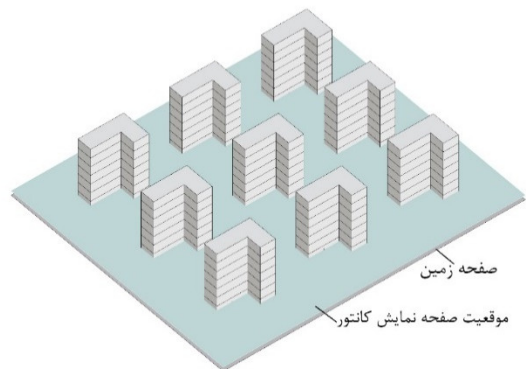
۳. عملکرد دیواره
۴. متقارن



(ب)

شکل ۶ الف) موقعیت حوزه‌های سنجش در مدل‌های M1، M2، M3. ب) موقعیت حوزه‌های سنجش در پلان.

به منظور بررسی تطبیقی بهتر الگوی جریان در مدل‌های مورد پژوهش، کانتورهای گرافیکی سرعت از نرم افزار استخراج و با یکدیگر مقایسه شدند. کانتورهای سرعت بر روی صفحه‌ای که به موازات سطح زمین و در ارتفاع ۲ متری از آن قرار دارد ثبت شد. موقعیت صفحه نمایش کانتورها در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷ موقعیت صفحه کانتور نسبت به ساختمان و سطح زمین

۲-۴- شرایط شبیه‌سازی

در این پژوهش، ابعاد دامنه محاسباتی بر مبنای ابعاد پیشنهادی استاندارد AII ژاپن تعریف شده‌است [۳۵]. بر اساس این استاندارد، در حالی که شبیه‌سازی جریان برای مجموعه‌ای از ساختمان‌ها انجام شود، حداقل ارتفاع دامنه برابر با 5H، جناحین به اندازه 5H و ابعاد منطقه پشت به باد برای به حداقل رسانی جریان برگشتی برابر 10H از دیواره‌های بنا در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه ابعاد محدوده مورد مطالعه ۸۴×۹۹ متر و ارتفاع بلوک‌ها ۲۱ متر است، ابعاد دامنه محاسباتی بر اساس استاندارد مذکور، ۴۱۴ متر در راستای محور X، ۲۹۴ متر در راستای محور Y و ۱۰۵ متر در امتداد محور Z در نظر گرفته شد. شرایط مرزی برای جبهه ورود باد، Velocity inlet^۱، برای جبهه خروجی باد^۲ Pressure outlet، برای کف و دیواره‌ها^۳ Wall function و برای سقف^۴ Symmetry در نظر گرفته شد.

۱. ورودی جریان
۲. فشار خروجی



M3			
۰.۵۴		۰.۴۶	
۰.۸۸		۰.۸۱	
۰.۶۳			
۱.۴۹			
۰.۴۷		۰.۴۷	
۰.۹۲		۰.۹۱	
۰.۷۲			
۱.۴۹			
۰.۴۸		۰.۵۰	
۰.۸۷		۰.۹۲	

شکل ۱۰ مقادیر متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه‌های پیرامونی بلوک‌ها

نتایج به دست آمده برای متوسط و ماکزیمم سرعت باد در حوزه‌های سنجش نشان داد که متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه‌های Reg B1-B2 نسبت به متوسط سرعت جریان در سایر حوزه‌ها (حوزه‌های میان بلوک‌های هم‌ردیف) مقادیر بیشتری دارند. مقایسه متوسط و ماکزیمم سرعت باد در دو حوزه Reg B1 و Reg B2 نشان داد که این مقادیر در حوزه جنوبی Reg B2 دارای مقادیر بیشتری هستند. بررسی حوزه‌های میان بلوکی هم‌ردیف حاکی از آنست که در ردیف‌های شمالی و مرکزی، متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه غربی (Reg A1-A3) بیش از حوزه شرقی (Reg A2-A4) است. این در حالیست که در ردیف جنوبی نتایج متفاوت با حوزه‌های قبلی است؛ به طوری که متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه شرقی (Reg A6) این ردیف بیش از حوزه غربی (Reg A5) است. بررسی تطبیقی نتایج به دست آمده حاکی از آنست که متوسط سرعت باد در حوزه Reg A1 دارای بیشترین مقدار و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه‌های Reg A3 و Reg A6 دارای بیشترین مقادیر هستند (شکل ۱۰).

نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده برای متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در فضای مابین بلوک‌های هم‌ردیف در مدل M3 دارای مقادیر کمتری نسبت به دو مدل دیگر است. بر این اساس، مدل M3 به عنوان مدل مینا انتخاب گردید و میزان اختلاف مقادیر به دست آمده در حوزه‌های سنجش دو مدل دیگر با آن مقایسه شد. نتیجه این مقایسات به صورت درصد در دو جدول مجزا (متوسط و ماکزیمم سرعت) برای هر مدل آمده‌است (شکل ۱۱). مقادیر کمی مثبت و منفی به ترتیب نشان از رشد و تنزل سرعت جریان در همان حوزه در مقایسه با مدل مینا (M3) دارد.

M1- متوسط سرعت باد				M1- ماکزیمم سرعت باد			
۰.۱۸۵		۰.۱۳۰۴		۰.۴۵۴		۰.۶۱۷	
-۴.۷۶				-۰.۶۷			
۰.۴۲۵		۰.۲۱۲		۰.۵۴۳		۰	
-۴.۱۶				+۱.۳۴			
۰.۴۱۶		۰		۰		۰.۱۰۸	

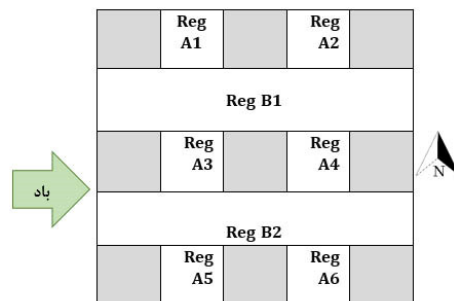
نشان می‌دهد که میانگین سرعت هوا در طول ۶ ماه گرم سال برابر با ۳.۰۵ و حداکثر سرعت ۳۲.۹ متر بر ثانیه است. جهت باد بر اساس جهت باد غالب شهر تهران و از سمت غرب به شرق تعریف شده‌است. بر این سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری بافت مورد مطالعه ۱.۸۷ متر بر ثانیه به دست آمد. مقدار حاصله با استفاده از رابطه شماره ۲ برای ارتفاع ۰ تا ۱۰۵ متری دامنه محاسباتی متناسب‌سازی گردید.

$$\frac{\bar{V}_Z}{\bar{V}_G} = \left[\frac{Z}{Z_G} \right]^\alpha \quad (2)$$

در این رابطه \bar{V}_Z سرعت هوا در سایت طراحی بر حسب متر بر ثانیه و \bar{V}_G سرعت گرادیان هوا بر حسب متر بر ثانیه و Z ارتفاع مورد مطالعه بر حسب متر و Z_G ارتفاع گرادیان بر حسب متر و α توان عددی مربوط به بافت طراحی است که برابر با ۰.۳۶ در نظر گرفته شده‌است [۳۷].

۵- یافته‌ها

شبیه‌سازی‌های این پژوهش به منظور بررسی تاثیر فرم هندسی بلوک بر جریان باد محوطه در یک مجتمع مسکونی واقع در شهر تهران انجام شد. سنجه‌های پتانسیل تهویه و جریان باد در فضای باز، متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در نظر گرفته شدند. این سنجه‌ها در محدوده‌های تعیین شده پیرامون بلوک‌ها (تصویر ۹) و از ارتفاع ۰ تا ۲ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شدند. نتایج این سنجش برای هر مدل به صورت مجزا و در شکل ۱۰ آمده‌است. از میان حوزه‌های سنجش هشت‌گانه برای هر مدل، حوزه‌های Reg A1-A6 در حد فاصل میان بلوک‌های واقع در دو ردیف متوالی تعریف شده‌اند (شکل ۹). دو کمیت درج شده در هر خانه از شکل ۱۰ به ترتیب از بالا به پایین، متوسط سرعت جریان و ماکزیمم سرعت باد را نشان می‌دهد.



شکل ۹ نام و موقعیت حوزه‌های سنجش اطراف بلوک‌ها

M2				M1			
۰.۶۳		۰.۵۲		۰.۵۵		۰.۵۲	
۰.۹		۰.۸۸		۰.۹۲		۰.۸۶	
۰.۶۴				۰.۶			
۱.۵۱				۱.۴۸			
۰.۵۸		۰.۵۷		۰.۴۹		۰.۴۸	
۱.۰۴		۰.۹۷		۰.۹۷		۰.۹۱	
۰.۷۲				۰.۶۹			
۱.۵۳				۱.۵۱			
۰.۵۷		۰.۵۸		۰.۵		۰.۵	
۰.۹۲		۱.۰۵		۰.۸۷		۰.۹۳	



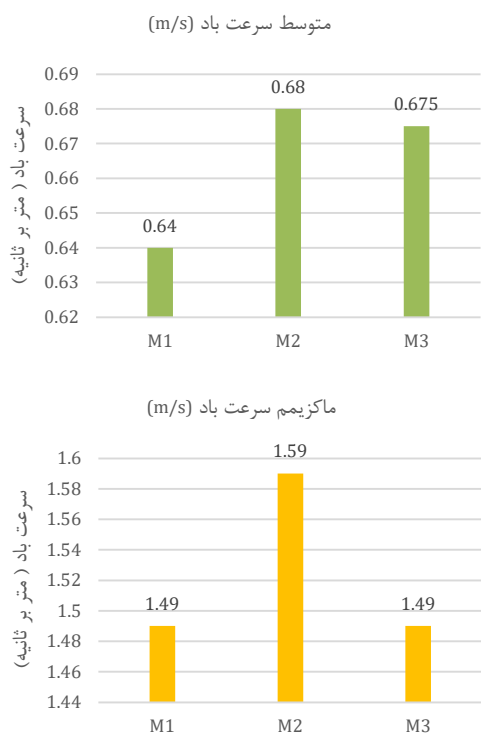
به منظور بررسی تطبیقی بهتر نتایج، کمیت‌های به دست آمده برای دو متغیر متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در مناطق هشت‌گانه پیرامونی ساختمان‌ها متوسط‌گیری و نتایج آن در قالب نمودارهای میله‌ای شکل ۱۴ به نمایش درآمد. این نمودارها در مرحله اول برای حوزه‌های میانی بلوک‌های هم-ردیف و در مرحله دوم برای تمامی حوزه‌های ۸ گانه هر مدل ترسیم و با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۱۴).

M2- متوسط سرعت باد				M2- ماکزیمم سرعت باد			
	+۱۶.۶۶		+۱۳.۰۴		+۲.۲۷		+۸.۶۴
+۱.۵۸				+۱.۳۴			
	+۲۳.۴۰		+۲۱.۲۷		+۱۳.۰۴		+۶.۵۹
.				+۲.۶۸			
	+۱۸.۷۵		+۱۶		+۵.۴۳		+۱۴.۱۳

شکل ۱۱ اختلاف مقادیر متوسط و ماکزیمم سرعت جریان به دست‌آمده برای هر حوزه با مدل مبنا (M3) به درصد.



شکل ۱۲ میانگین و ماکزیمم سرعت باد در حوزه‌های میانی بلوک‌های هم‌ردیف



شکل ۱۳ میانگین و ماکزیمم سرعت باد در حوزه‌های میان‌ردیفی

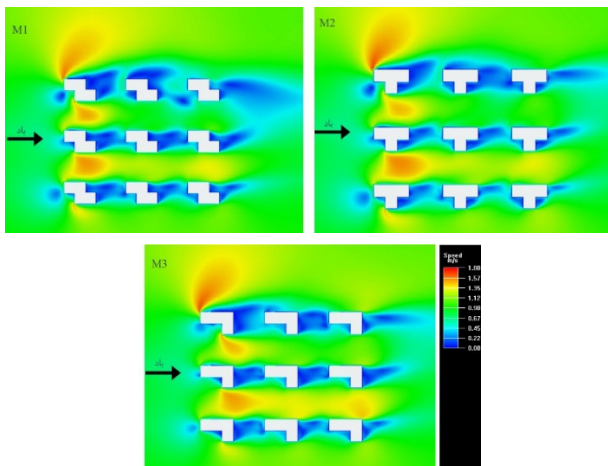
بررسی نتایج ثبت شده در حوزه‌های هشت‌گانه پیرامونی بنا نشان داد که متوسط سرعت باد در حوزه‌های میانی بلوک‌های هم‌ردیف در هر دو مدل M1 و M2 نسبت به مدل مبنا رشدی مثبت داشته‌است. این در حالیست که متوسط سرعت باد در حوزه میان دو ردیف متوالی (Reg B1- B2) در مدل M1 نسبت به مدل مبنا کاهش و در مدل M2 افزایشی بسیار جزئی داشته‌است. بررسی تطبیقی نتایج متوسط سرعت جریان در حوزه‌های میان‌بلوکی هم-ردیف نسبت به مدل مبنا همواره رشدی مثبت داشته‌است. این تغییرات در بازه ۰ تا +۲۳.۴۰٪ است. بیشترین تغییرات حاصله در مدل M1 در حوزه شمال شرقی (Reg A2) و در مدل M2 در حوزه غربی (Reg A4) است. این در حالیست که حوزه جنوب شرقی (Reg A6) در مدل M1 دارای کمترین تغییرات نسبت به مدل مبنا است. برآیندی کلی از نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر رشد و بهبود رفتار نسبت به مدل مبنا در ستون غربی (Reg A1-3-5) وجود دارد (شکل ۱۱).

بررسی نتایج ثبت شده در حوزه‌های هشت‌گانه پیرامونی بلوک‌ها نشان داد که ماکزیمم سرعت باد در حوزه‌های میانی بلوک‌های هم‌ردیف در هر دو مدل M1 و M2 نسبت به مدل مبنا برابر بوده و یا رشدی مثبت داشته‌است. این در حالیست که ماکزیمم سرعت باد در حوزه میان دو ردیف متوالی شمالی و مرکزی (Reg B1) در مدل M1 نسبت به مدل مبنا کاهش و در مدل M2 افزایشی بسیار جزئی داشته‌است. در حالیکه نتایج حاکی از رشد مثبت ماکزیمم سرعت جریان در حوزه Reg B2 در هر دو مدل M1 و M2 نسبت به مدل مبنا دارد.

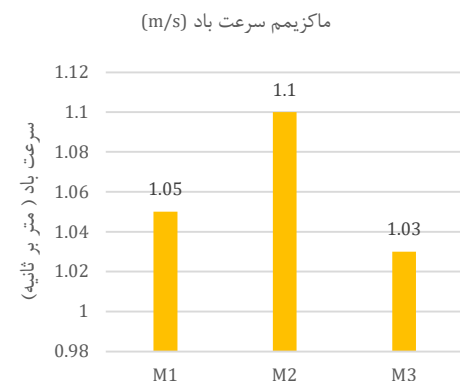
نتایج به دست‌آمده برای ماکزیمم سرعت در حوزه‌های میانی بلوک‌های هم‌ردیف نشان از رشد مثبت این کمیت در مقایسه با مدل مبنا دارد. تغییرات حاصله برای این متغیر در دو مدل M1 و M2 در بازه ۰ تا +۱۴.۱۳ قرار دارد. بیشترین تغییرات حاصله در مدل M1 در حوزه شمال شرقی (Reg A2) و در مدل M2 در حوزه جنوب غربی (Reg A6) است. دو حوزه Reg A4-5 در مدل M1 و Reg A1 در مدل M2 دارای کمترین تغییرات مثبت نسبت به مدل مبنا هستند. بررسی تطبیقی تغییرات در دو جبهه شرقی و غربی نشان از رشد بیشتر ماکزیمم سرعت جریان در حوزه‌های واقع در جبهه غربی نسبت به جبهه شرقی دارند (شکل ۱۱).

بررسی حوزه‌های میان بلوک‌ها و حوزه‌های میان‌ردیفی نشان داد که از نظر متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در حوزه‌های میانی بلوک‌های واقع در یک ردیف، مدل M2 دارای بهترین عملکرد و مدل M3 دارای ضعیف‌ترین عملکرد است. در این میان، مدل M1 با نتایج نزدیک به مدل M3 در رتبه دوم عملکرد قرار می‌گیرد. این در حالیست که سرعت متوسط جریان در فضای میان ردیف‌ها در مدل M2 بالاترین میزان را دارد. این در حالیست که مدل M3 با نتایج مشابه، در ردیف دوم قرار می‌گیرد (شکل ۱۲ و ۱۳).





شکل ۱۵ کانتورهای گرافیکی سرعت در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین



شکل ۱۴ میانگین و ماکزیمم سرعت باد در کل حوزه‌های سنجش هر مدل

مقایسه نتایج در قالب نمودار نشان داد که متوسط و ماکزیمم سرعت جریان محوطه در حوزه‌های هشت‌گانه سنجش محوطه در مدل M2 دارای بیشترین مقادیر و در مدل M3 دارای کمترین مقادیر است. مدل M1 با اختلاف نسبتاً زیاد با مدل بهینه، از نظر عملکردی در جایگاه میانی قرار می‌گیرد (شکل ۱۴).

به منظور مقایسه بهتر مدل‌ها با یکدیگر، کانتورهای گرافیکی سرعت برای تمامی مدل‌ها در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین استخراج و با یکدیگر مقایسه گردید.

بررسی تطبیقی کانتورهای گرافیکی سرعت نشان می‌دهد که تغییر فرم هندسی و ساختار فیزیکی بلوک‌ها می‌تواند الگوی باد پیرامون ساختمان (در محوطه) را تحت تاثیر قرار دهد. این تغییرات به خوبی در حوزه‌های میان بلوک های هم‌ردیف و فضای مابین ردیف‌ها به خوبی مشهود است. مدل M2 با بلوک‌های T شکل باعث هدایت جریان باد به فضای دنباله بلوک‌ها شده و با این کار سرعت جریان در فضای بین‌بلوکی افزایش می‌یابد. این در حالیست که فرم بلوک‌ها در دو مدل دیگر با انسداد جریان، باعث رکود سرعت باد در منطقه دنباله ساختمان می‌گردد. فرم هندسی ساختمان‌ها در مدل M2 علاوه بر افزایش سرعت میان‌بلوکی قادر است تا سرعت جریان میان ردیف‌ها را نیز ارتقا دهد. بلوک‌های مدل M3 با فرمی L شکل باعث سهولت و روانی سیال در گوشواره بلوک‌ها شده و همین امر منجر به ارتقا متوسط سرعت باد در فضای بین ردیفی شده‌است. از منظر تهویه و الگوی جریان میان‌ردیفی، بلوک‌های مدل M1 دارای ضعیف‌ترین عملکرد هستند (شکل ۱۵).

۶- بحث

- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در این پژوهش نشان داد که تغییر فرم هندسی و ساختار فیزیکی بلوک‌ها می‌تواند سرعت و الگوی جریان در محوطه مجتمع‌های مسکونی را تحت تاثیر قرار دهد. این نتایج با دستاوردهای مطالعات ژانگ و همکاران [۳۸]، تسی و همکاران [۳۹] همسو است.

- با ایجاد تغییر فرمی بلوک‌ها متوسط و ماکزیمم سرعت باد و همچنین الگوی جریان در فضای میان بلوک‌های هم‌ردیف و همچنین فضای میان ردیف‌های متوالی از ساختمان‌ها تغییر کرد. اما لازم به ذکر است که بیشترین تغییرات مثبت در فضای مابین بلوک‌ها در ستون غربی (راستای وزش باد) مشاهده گردید.

- از میان بلوک‌های شبیه‌سازی‌شده مدل M2 با فرم بلوک‌های T شکل بهترین رفتار را در مقایسه با سایر مدل‌ها از خود نشان داد. مقادیر به دست‌آمده برای سنجش‌های تهویه در هر هشت حوزه در مقایسه با سایر مدل‌ها مقادیر بالاتری دارد. مقادیر متوسط و ماکزیمم سرعت باد در این مدل افزایشی تا مرز ۲۳.۴۰٪ و ۱۴.۱۳٪ نسبت به مدل مبنا داشته‌اند. این فرم بلوک‌ها با هدایت مناسب جریان، باعث ارتقا سرعت در ناحیه دنباله بلوک‌ها و فضای خالی بین ردیف‌های متوالی می‌شوند.

- نتایج نشان داد که از میان مدل‌های بررسی شده، مدل M3 با فرم بلوک‌های L شکل دارای کمترین مقادیر سرعت باد در فواصل بین بلوک‌هاست. این فرم به واسطه ساختار ویژه خود باعث انسداد جریان باد شده و سرعت باد در منطقه دنباله به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. با این حال الگوی جریان باد در فواصل بین ردیف‌های متوالی در این مدل مناسب است.

- از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل M2 نیز رفتاری مشابه با مدل M3 از خود نشان داد، با این حال مقادیر کمی حاصله برای سنجش‌های تهویه طبیعی در فواصل مابین بلوک‌ها حاکمی از عملکرد بهتر آن در مقایسه با مدل M3 دارد. متوسط و ماکزیمم سرعت جریان در بهترین حالت رشدی در حدود ۱۳٪ و ۶.۱۷٪ نسبت به مدل مبنا داشته‌است. لازم به ذکر است که فرم بلوک‌ها در این مدل با ایجاد نوعی انسداد، منجر به کاهش سرعت باد در فواصل بین ردیف‌های متوالی شده‌است.

۷- نتیجه‌گیری

گسترش شهرنشینی و افزایش مهاجرت به سوی شهرها در دهه‌های اخیر، نیاز روافزون به مسکن و توسعه بلندمرتبه‌سازی را به دنبال داشته‌است. ساخت و سازهای شهری و توسعه بلندمرتبه‌سازی تبعات متعدد اقتصادی، اجتماعی و

۸- مراجع

- [1] UN-DESA. *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. 2018*, Accessed 10 April 2021; <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.
- [2] A. Chokhachian, K. Perini, S. Giulini, and T. Auer, Urban performance and density: Generative study on interdependencies of urban form and environmental measures, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 53, p. 101952, 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101952>
- [3] B.J. He, L. Ding, and D. Prasad, Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 60, p. 102289, 2020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>
- [4] N.G. Edward, *Designing High-Density Cities For Social and Environmental Sustainability*, First Edition, UK: Routledge, 2015.
- [5] J. Zhang, L. Xu, V. Shabunko, S.E.R. Tay, H. Sun, S. S. Y. Lau, T. Reindl, Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city, *Applied Energy*, Vol. 240, pp. 513-533, 2019.
- [6] G. Chiesa, and M. Grosso, Geo-climatic applicability of natural ventilative cooling in the Mediterranean area, *Energy and Buildings*, Vol. 107, pp. 376-391, 2015. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.043>
- [7] M.S. Fernandes, E. Rogrigues, A.R. Gaspar, J.J. Costa, A. Gomes, The contribution of ventilation on the energy performance of small residential buildings in the Mediterranean region, *Energy*, Vol. 191, p. 116577, 2010.
- [8] A. Einifar, S.N. Ghazizadeh, Typology of residential complexes in Tehran with open space criteria, *Armanshahr Journal*. Vol. 3, No. 5, pp. 35-45, 2010. (in Persian).
- [9] T.S. Boutet, *Controlling Air Movement: A Manual for Architects and Builders*, New York: McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [10] T. Kubota and S. Ahmad, Wind Environment Evaluation of Neighborhood Areas in Major Towns of Malaysia, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol 5, No. 1, pp. 199-206, 2006. doi:10.3130/jaabe.5.199.
- [11] M. Osman, *Evaluating and enhancing design for natural ventilation in walk-up public housing blocks in the Egyptian desert climatic design region*, Doctoral Thesis, Dundee University, Dundee, 2011.
- [12] B. Hong and B. Lin, Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement, *Renewable Energy*, Vol 73, pp. 18-27, 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.060>
- [13] X. Ying, Y. Wang, W. Li, Z. Liu, and G. Ding, Group layout pattern and outdoor wind environment of enclosed office buildings in Hangzhou, *Energies*, Vol. 3, No. 2, 2020, doi:10.3390/en13020406.
- [14] Y. Jiang, C. Wu, and M. teng, Impact of residential building Layouts on microclimate in a high temperature and high humidity region, *Sustainability*, Vol. 12, No. 13, 2020.
- [15] E. Saligheh and P. Saadatjoo, Impact of building porosity on self-shading and absorbed solar heat reduction in hot and humid regions, *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, Vol. 9, No. 4, pp. 257-271, 2020. (in Persian). Retrieved from <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-35547-fa.html>
- [16] W. Pressenlehner and A. Mahdavi, Building morphology, transrance, and energy performance, *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands, 2003.
- [17] A. Zhang, R. Bokel, A. Van den Dobbelen, A. Sun, Q. Huang, and Q. Zhang, The effect of geometry parameters on energy and thermal performance of school buildings in cold climates of china, *Sustainability*, Vol. 9, No. 10, 2017. doi:10.3390/su9101708
- [18] T. Van Druenen, T. Van Hooff, H. Montazeri, and B. Blocken, CFD evaluation of building geometry modifications to reduce pedestrian-level wind speed, *Building and Environment*, Vol. 163, p.106293, 2019. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106293>
- [19] P. Saadatjoo, M. Mahdavinnejad, S. Najaf Khosravi, and N. kaveh, Effect of courtyard proportion on natural ventilation efficiency, *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 3, No. 5, pp. 92-92, 2016.
- [20] Y. Uematsu and N. Isyumov, Wind pressures acting on low-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial*

زیست‌محیطی را به همراه داشته‌است. یکی از مهم‌ترین تبعات بلندمرتبه‌سازی انسداد کریدورهای جریان طبیعی هوا و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری است که روند رو به رشدی را در پیش گرفته‌است. جریان باد به عنوان یکی از عناصر اقلیمی و فاکتورهای آسایش حرارتی نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت فضاهای شهری و میزان حضورپذیری آن‌ها دارد. از این رو می‌توان ادعان نمود که توجه به ملاحظات اقلیمی و رفتار آیرودینامیک ساختمان در کنار مسائل عملکردی و زیبایی‌شناسی در قدم‌های اولیه طراحی معماری امری بسیار ضروری است.

فضای باز مجتمع‌های مسکونی نقش بسیار چشمگیری در شکل‌گیری تعاملات جمعی، گسترش روابط، ارتقا کیفیت زندگی و ... در مجتمع‌های مسکونی دارد. تامین آسایش محیطی در کنار کیفیات فضایی از مهم‌ترین مولفه‌های حضورپذیری این فضاها به شمار می‌آید. مطالعات ثابت کرده‌است که فرم هندسی ساختمان در کنار شرایط داخلی، قادر است تا شرایط آسایش پیرامونی را نیز به شدت تغییر دهد. با در نظر گرفتن خلاهای پژوهشی قابل-ملاحظه در این زمینه و ضرورت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر تغییرات فرمی ساختمان بر جریان باد محوطه مجتمع‌های مسکونی انجام گرفت. این پژوهش با تمرکز بر عملکرد فرم‌های رایج و متداول ساختمانی بر آسایش باد فضای باز که تاکنون در هیچ‌یک از پژوهش‌ها مورد مطالعه قرار نگرفته بود توانست گامی موثر در راستای ارائه الگوی کمک‌طراحی معماران بردارد.

مدل‌های مورد بررسی سه مجتمع مسکونی متشکل از ۹ بلوک ۷ طبقه با سه نوع فرم هندسی متفاوت بودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی تاثیر تغییرات هندسی ساختمان بر الگوی جریان باد پیرامونی ساختمان (در محوطه) را به اثبات رساند. نتیجه این تغییرات افزایش ۱۳.۸۳ درصدی متوسط سرعت و افزایش ۶.۷۶ درصدی ماکزیمم سرعت جریان در حوزه های هشت گانه سنجش را به دنبال داشت.

از میان انواع فرم‌های بررسی‌شده، فرم T شکل با هدایت مناسب جریان باعث بهبود رفتار باد در حوزه‌های میان‌بلوکی و حوزه‌های میان‌ردیفی شد. با این حال فرم‌های M3 (مدل M3) با انسداد جریان باد، کاهش قابل‌ملاحظه سرعت جریان در حوزه های میان‌بلوکی را به همراه داشت.

به‌طور کلی می‌توان گفت در شرایطی که بهبود جریان باد محوطه و تهویه طبیعی به عنوان یکی از فاکتورهای انتخاب فرم مطرح باشد، فرم T شکل می‌تواند به عنوان گزینه ای مناسب کمک عمل طراح در دستیابی به اهداف مورد نظر باشد.

هرچند انجام شبیه‌سازی‌های انرژی در مرحله ایده‌پردازی و فرم‌یابی بسیار ضروری است، اما تجربه ثابت کرده‌است وجود محدودیت‌هایی از قبیل دانش انرژی، قابلیت نرم افزاری، محدودیت زمان و ... انجام این کار را محدودی غیرممکن کرده است. از این رو استناد به پژوهش‌های انجام‌شده در این حیطة می‌تواند راهگشای کار معماران و طراحان در نخستین گام‌های طراحی باشد.

نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان الگوی کمک‌طراحی راهنمای عمل معماران در طراحی ساختمان‌هایی باشد که می‌تواند با تشدید و تقویت جریان‌های پیرامونی ساختمان، آسایش عابری در معابر اطراف بنا در اقلیم‌های گرم را تامین نمایند. با توجه به پرکاربرد بودن فرم‌های مورد مطالعه در این تحقیق، معماران می‌توانند با اتکا به نتایج حاصل از این پژوهش، ضمن توجه به ابعاد بصری و روابط عملکردی، به تامین شرایط آسایش ساکنین در فضاهای باز نیز کمک کنند. بدین ترتیب می‌توان ادعان نمود که نتایج این پژوهش نتایجی بسیار کاربردی برای طراحان در گام‌های اولیه طراحی است که تاکنون در هیچ پژوهش مشابهی مورد مطالعه قرار نگرفته‌است.



- [39] K.T. Tse, X. Zhang, A.U. Weerasuriya, S.W. Li, K.C.S. Kwok, C. MingMak, J. Niu, Adopting 'lift-up' building design to improve the surrounding pedestrian-level wind environment. *Building and Environment*, Vol. 117, pp. 154-165, 2017.
- Aerodynamics*, Vol. 82, No. 1, pp. 1-25, 1999. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00036-7)
- [21] A.A. Aliabadi, E. Scott Krayenhoff, N. Nazarian, L.W. Chew, P.R. Armstrong, A. Afshari, & L.K. Norford, Effects of roof-edge roughness on air temperature and pollutant concentration in urban canyons, *Boundary-Layer Meteorology Journal*, Vol. 164, pp. 249-279, 2017.
- [22] S. Najaf Khosravi, P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, S. Amindeldar, The effect of roof details on natural ventilation efficiency in isolated single buildings, *Proceedings of PLEA2016: Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments*, Los Angeles, USA, 2016.
- [23] L. Tschritzis and M. Nikolopoulou, The effect of building height and façade area ratio on pedestrian wind comfort of London, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 191, pp. 63-75, 2019.
- [24] Y. Tamura, X. Xu, and Q. Yang, Characteristics of pedestrian-level Mean wind speed around square buildings: Effects of height, width, size and approaching flow profile, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 192, pp. 74-87, 2019.
- [25] Y. Du, C.M. Mak, and B.S. Tang, Effects of building height and porosity on pedestrian level wind comfort in a high-density urban built environment, *Building Simulation*, Vol. 11, No. 6, pp. 1215-1228, 2018.
- [26] C. Yuan and E. Ng, Building porosity for better urban ventilation in high-density cities: A computational parametric study, *Building and Environment*, Vol. 50, pp. 179-189, 2012.
- [27] C.W. Tsang, K.C.S. Kwok, and P.A. Hitchcock, Wind tunnel study of pedestrian level wind environment around tall buildings: Effects of building dimensions, separation and podium, *Building and Environment*, Vol. 49, pp. 167-181, 2012.
- [28] M.T. Rezaiee Hariri, S. Najaf Khosravi, and P. Saadatjoo, The Impact of High-rise Building Form on Climatic Comfort at the Pedestrian Level. *Journal of Architecture and Urban Planning*, Vol. 9, No. 17, pp. 61-77, 2016.
- [29] T. Hirano, K. Shinsuke, M. Shuzo, I. Toshiharulkagac, S. Yasuyuki, A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part I. the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model, *Building and Environment*, Vol. 41, pp. 21-32, 2006.
- [30] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, and G. Zhang, A Study on Terraced Apartments and Their Natural Ventilation Performance in Hot and Humid Regions, *Building Simulation*, Vol. 11, No. 2, 2018.
- [32] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, G. Zhang, and K. Vali, Influence of permeability ratio on wind-driven ventilation and cooling load of mid-rise buildings, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 70, p. 102894, 2021.
- [31] P. Saadatjoo, M. Mahdavejad, A. Zarkesh, Porosity rendering in high-performance architecture: wind-driven natural ventilation and porosity distribution patterns, *Armanshahr Architecture & Urban Development*, Vol. 12, No. 26, pp. 73-88, 2019.
- [33] A. Dhalluin and E. Bozonnet, Urban heat islands and sensitive building design – A study in some French cities' context. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 19, pp. 292-299, 2015.
- [34] H. Montazeri, B. Blocken, and J.L.M. Hensen, Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis, *Building and Environment*, Vol. 83, pp. 129-141, 2015.
- [35] Y. Tominaga, A. Mochida, R. Yoshie, H. Kataoka, T. Nozu, M. Yoshikawa, and T. Shrasawa, AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, No. 10-11, pp. 1749-1761, 2008.
- [36] N. Najimi, *Urban planning and architecture regulations and development plans approved by the Supreme Council of Urban Planning and Architecture of Iran and applicable urban planning and architecture laws and regulations*. Tosee Iran. 2012.
- [37] M. Razjouyan, *Wind and Comfort: Design with Climate*. Second Edition, Tehran: Shahid Beheshti University, 2001.
- [38] X. Zhang, K.T.Tse, A.U.Weerasuriya, S.W. Li, K.C.S.Kwok, C. MingMak, J. Niud, and Z. Lin, Evaluation of pedestrian wind comfort near 'lift-up' buildings with different aspect ratios and central core modifications, *Building and Environment*, Vol. 124, pp. 245-257, 2017.

