

مدلیابی جریان هوای داخل حیاط مرکزی تحت تاثیر تغییرات عوامل کالبدی در خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک یزد

امید رهایی^{*}، امیرحسین شیردل^{**}، میلاد امیدی^{***}

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

چکیده

در خانه‌های سنتی یزد، حیاط مرکزی نقش مهمی در تهویه طبیعی و جریان هوا دارد که با بررسی این جریان تحت تاثیر ساختار کالبدی، معیارهایی برای طراحی‌های جدید در این اقلیم استخراج گردید. این پژوهش به بررسی متغیرهای کالبدی حیاط‌های مرکزی و الگوی گردش هوا در این خانه‌ها می‌پردازد. با استفاده از روش‌های ترکیبی، تجربی و شبیه‌سازی، خانه‌های دارای حیاط مرکزی یزد به عنوان نمونه موردی انتخاب شدند. پس از مشاهدات میدانی، سرعت جریان هوا به عنوان متغیر وابسته اندازه‌گیری شده، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای تحلیل داده‌ها به کار رفته و مداخلاتی در متغیر مستقل (طول حیاط) انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر طول حیاط بر الگوی گردش هوا و تهویه طبیعی تاثیر دارد. در حیاط خانه گلشن، افزایش طول از ۱۷ به ۲۰ متر، سرعت هوا را ۲۱٪ افزایش می‌دهد و در خانه لاری‌ها، افزایش طول از ۲۰ به ۲۳ متر، سرعت هوا را ۵/۷٪ افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

تهویه طبیعی، حیاط مرکزی، خانه لاری‌ها، خانه گلشن، دیزاین بیلدر.

* استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

Email: o.rahaei@sru.ac.ir

** پژوهشگر معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (مسئول مکاتبات).

Email: amirshirdel6645930@gmail.com

*** دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

Email: m.omidi@sru.ac.ir

مقدمه

استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی و افزایش مصرف روزافزون آن و تغییرات آب و هوایی ناشی از آن‌ها، ضرورت ایجاد بستر مناسب کاهش مصرف انرژی از طریق طراحی مطلوب و اقلیمی ساختمان‌ها و استفاده از اصول معماری سنتی را ایجاد می‌کند (اکبری و رشید کلوی، ۱۴۰۱). در دهه‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای در حوزه معماری همسو با اقلیم آغاز شده است و پژوهشگران با اشاره به ضرورت استفاده صحیح از منابع، سعی در بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر انرژی کرده‌اند و به توسعه استفاده از این نوع انرژی پرداختند (رزاقیان و رهنما، ۱۳۹۹). امروزه استفاده از سیستم‌های تهویه مکانیکی با وجود داشتن هزینه بسیار و مصرف بالای انرژی (Kokh, 2017) (مسعودی نژاد و همکاران، ۱۴۰۰) در ساختمان‌ها رایج است (IEA, 2018) و به عنوان انتخاب نهایی استفاده می‌شود (رهای، ۱۴۰۰) که حدود ۶۰٪ از کل انرژی ساختمان را مصرف می‌کند. جلوگیری از اتلاف و صرفه‌جویی در مصرف انرژی با توجه به کاهش و محدود بودن ذخایر انرژی فسیلی و خطر گرمای بیش از حد استفاده از آن (Figueroa-Lopez, 2021)، از مهم‌ترین موضوعاتی است که در دنیای امروز مورد توجه است. در این میان، ساختمان‌ها حدود ۴۰٪ از کل انرژی را مصرف می‌کنند (مردانی و روسایی، ۱۴۰۰) که عمده‌ترین دلیل آن عدم اعتماد به سیستم‌های تهویه طبیعی است (Kokh, 2017). تهویه به دو صورت طبیعی، مکانیکی و یا بصورت ترکیبی از آن‌ها تامین می‌شود (Zhang et al., 2022) که تهویه طبیعی به علت ساده بودن با استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد و هزینه اولیه کم، موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و هزینه‌های آن شده و می‌تواند بصورت گسترده استفاده شود. در مجموع تهویه طبیعی مزایای بسیاری شامل مزایای اقتصادی، موثر بودن و کارآمدی و رضایت کاربران دارد که می‌تواند مورد پذیرش قرار گیرد (Zhong et al., 2022). بهره‌مندی از نیروی باد از دیرباز در معماری سنتی مناطق گرم و خشک مانند شهر یزد مورد توجه بوده و در سال‌های اخیر نیز پژوهشگران به این موضوع پرداخته‌اند (Karbasforousha, 2023). فرم و موقعیت ساختمان‌ها و عناصری مانند حیاط مرکزی به خصوص در اقلیم گرم و خشک و نوع ارتباط فضاهای مختلف، زمینه کاهش مصرف انرژی و رفع نیازهای اقلیمی و تامین آسایش محیطی را فراهم می‌کرد (مردانی و روسایی، ۱۴۰۰). الگوی معماری سنتی در بسیاری از خانه‌های شهر یزد در اقلیم گرم و خشک باقی مانده است و خانه‌های دارای حیاط مرکزی بسیاری در آن یافت می‌شود. عوامل اقلیمی و طراحی تحت تاثیر اقلیم، از ویژگی‌های استفاده از حیاط مرکزی است (رهای، ۱۴۰۰). از آنجایی که حفظ و تقویت آرامش محیطی در معماری ایرانی جایگاه والایی دارد، معماران

در تلاش بودند با راهکارهای متفاوتی مانند بهره‌گیری از بادگیر و حیاط مرکزی این مهم را برطرف سازند. معماری سنتی مطابق با اقلیم طراحی شده‌اند و حیاط مرکزی به عنوان فضایی جهت تامین نور، تهویه و هوای مناسب و ایجاد ارتباط درونی برای خانه‌ها محسوب می‌شود (سلطان دوست، ۱۳۹۰). حیاط‌های مرکزی دارای تنوع زیادی بوده و در اقلیم‌های مختلف شکل‌های گوناگونی را به خود گرفته‌اند. ابعاد این حیاط‌ها عمدتاً متغیر است و با وجود شباهت ظاهری، تناسب دقیقی میان آن‌ها با توجه به الگوی گردش جریان هوای داخل حیاط وجود ندارد. براین اساس سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که چه ارتباطی میان طول حیاط مرکزی با جریان هوای داخلی وجود دارد و چگونه می‌توان تهویه موثرتری برقرار کرد؟ بنابراین با توجه به اهمیت تهویه طبیعی در معماری و تاثیر عناصر کالبدی بر آن و امکان بهره‌مندی از ویژگی‌های معماری سنتی در دستیابی به راهبردهای طراحی‌های اقلیمی، در این پژوهش با بررسی خانه‌های سنتی دارای حیاط مرکزی در یزد و تحلیل متغیرهای کالبدی آن براساس جریان هوای ایجاد شده درون حیاط، طول حیاط مرکزی به عنوان یکی از متغیرهای کالبدی جهت تهویه طبیعی و مطلوب تحلیل و با مداخله در آن، سعی در دستیابی به الگوی طراحی اقلیمی براساس معماری سنتی شد.

پیشینه پژوهش

با بررسی مطالعات صورت گرفته در حوزه تهویه طبیعی می‌توان عنوان کرد که از اواخر دهه ۱۹۳۰ تلاش‌های زیادی در حوزه مهندسی تهویه صورت گرفته است (Burgess, 1995) که آگاهی و مطالعه جریان‌ات هوای داخلی در محیط‌های بسته به ۳ دلیل مهم قابل بررسی است: ۱. کیفیت هوای داخل محیط؛ ۲. آسایش حرارتی؛ و ۳. مصرف انرژی ساختمان (عمیدپور، ۱۳۸۸). بحران انرژی بر بسیاری از فعالیت‌های انسان سایه افکنده و طراحی معماری را به عنوان یکی از عوامل مهم در مصرف بالای انرژی با چالشی محکم و سخت مواجه کرده است (یزدی و همکاران، ۱۳۹۸). کسمایی و سلطاندوست در پژوهش‌های جداگانه، باد غالب و انرژی مورد نیاز تهویه طبیعی را در سطح کشور مطالعه و محاسبه نموده‌اند و انرژی باد را عاملی مهم در جهت تهویه طبیعی می‌دانند (کسمایی، ۱۳۹۲). در تحقیقات انجام شده، محققان به بررسی وضعیت تهویه طبیعی در فضاهای آموزشی (Vassella et al., 2021; Aguilera et al., 2022)، (رهای و عظمتی، ۱۳۹۹)، فضاهای مسکونی (Yin et al., 2019)، (رهای، ۱۴۰۰)، فضاهای اداری (Schulze et al., 2018; Indraganti & Boussaa, 2017)، (Indraganti et al., 2014; Nomura & Hiyama, 2017)

ساختمان‌های چندطبقه (Omrani et al., 2017) و هندسه بالکن و بادگیر (Izadyar et al., 2020; Jomehzadeh et al., 2020; Jomehzadeh et al., 2017) پرداخته‌اند و تهویه طبیعی را به عنوان عاملی در جهت حفظ محیط زیست و کاهش هزینه‌ها دانسته است (حزبی و همکاران، ۱۳۹۳).

در پژوهشی حیاط مرکزی خانه‌های یزد را براساس رفتار پویای جریان هوا تحت تاثیر هندسه حیاط بررسی شده و پژوهشگران نتیجه گرفته‌اند که جریان هوا با استفاده از حیاط مرکزی، به شیوه مناسب تری به فضاهای داخلی منتقل می‌شود (Karbasforousha et al., 2023). همچنین رتبه‌بندی هندسی حیاط، ابتدا بیضی شکل و سپس مستطیل شکل است. ایزدی و همکاران (۱۴۰۲) به این نکته پرداختند که در بناهای مسکونی، محیط داخلی در وضعیت تهویه طبیعی کیفیت کمتری نسبت به تهویه مکانیکی دارد و لازم است با تقویت تهویه طبیعی، تکیه بر تهویه مکانیکی را کمتر کرد. نتایج نشان داده است که عمق و طول فضاهای خالی در نما بر جریان هوای داخلی موثر است. مردانی و روسایی (۲۰۲۱) با بیان اینکه الگوهای ارزشمند معماری سنتی بر الگوی حرکتی جریان هوا موثر است، ارتباط بین تناسبات حیاط مرکزی و الگوی جریان هوا را ارزیابی کرده‌اند. متغیرهای مستقل شامل شکل و تناسبات حیاط و سرعت جریان هوا به عنوان متغیر وابسته مشخص شد. نتایج نشان داد که متغیرهای کالبدی معماری تاثیر بسزایی در تهویه طبیعی و الگوی جریان هوا دارند. رهایی (۱۴۰۰) با هدف بررسی الگوی جریان هوای داخل حیاط براساس ویژگی‌های کالبدی، به بررسی تهویه طبیعی در حیاط مرکزی خانه‌های قاجار و خانه لباف به عنوان نمونه موردی پرداخت. پارامترهای محیطی شامل سرعت و جهت جریان هوای داخل حیاط به عنوان متغیر وابسته اندازه‌گیری شد. نتیجه نشان داد که در میانه حیاط یک جریان گردابه‌ای بر فراز حوض آب تشکیل می‌شود که تقسیم جریان هوا به تمام نقاط خانه انجام می‌شود. همچنین تغییر متغیرهای کالبدی حیاط مانند نسبت و ابعاد حیاط و بزرگ‌تر شدن آن، کاهش عملکرد تهویه طبیعی را به همراه داشته است. مسعودی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) با بیان اینکه شناخت و استفاده از راهکارهای معماری سنتی ضرورت دارد، به بررسی شواهدان‌های شهر دزفول با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی، روش CFD و نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، از نظر ویژگی‌های حرارتی و متغیرهای دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که رفتار حرارتی شواهدان‌ها و سرعت اندک جابجایی هوا

سبب ایجاد شرایط آسایش حرارتی گردیده است. بی و همکاران (۲۰۲۲) یک ساختمان تاریخی کلیسا در یونسکو در آب‌وهوای گرم و مرطوب را با استفاده از نرم‌افزار IES و شبیه‌سازی ۱۸ مدل محاسباتی در سه سناریو تهویه طبیعی و اعتبارسنجی با نتایج اندازه‌گیری میدانی بررسی کردند. نتیجه اینکه با استفاده از مدل‌های بدست آمده می‌توان از تهویه طبیعی استفاده کرد و موجب کاهش مصرف انرژی تهویه مکانیکی شد.

حیاط مرکزی عنصری است وحدت‌دهنده، نظم‌دهنده جهت‌ها و ایجادکننده فضایی ایمن و محرم. در حالت کلی شرایط آسایش حرارتی انسان، متاثر از عواملی چون اقلیم، محیط، دمای هوا، رطوبت، تابش و سرعت باد است. تهویه عاملی مهم و تعیین‌کننده در شکل‌گیری فضایی چون حیاط مرکزی در این معماری است (تابان و همکاران، ۱۳۹۲؛ کسمایی، ۱۳۹۲). از طرفی حیاط به عنوان عاملی ارتباط دهنده بین فضای زیستی با دیگر بخش‌ها (Soflaei, 2017) از دو جنبه کارکردی و کاربردی قابل بررسی می‌باشد (حائری مازندرانی، ۱۳۸۸). بنابراین می‌توان گفت معماری ایرانی را می‌توان محصول تطبیق شرایط محیطی با سبک‌های زندگی و فرهنگی دانست (وکیلی نژاد، ۱۳۹۵).

مطابق با پژوهش‌های مطالعه شده، در جهت انجام و پیشبرد پژوهش‌های مرتبط در حوزه انرژی و تهویه طبیعی، بهره‌گیری از روش CFD و نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر رایج و مورد استقبال پژوهشگران است. درواقع روش CFD، این امکان را فراهم کرده است که تحلیل‌های تهویه که ممکن است زمان‌بر یا هزینه‌بر و یا غیرقابل اندازه‌گیری باشند، با روش‌های جایگزین بررسی شود (Blocken, 2014). پژوهشگران بسیاری از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای ارزیابی پتانسیل و وضعیت توزیع و الگوی جریان هوا در فضای داخلی با استفاده از متغیرهای جهت وزش باد و شدت آن (Zhang et al., 2022; Jon et al., 2023)، هندسه ساختمان (Zhong et al., 2023; Agrawal et al., 2022) و جزئیات نما (Díaz-Calderón et al., 2023) استفاده کرده‌اند. اساس دیزاین‌بیلدر بر مبنای شرایط اقلیمی است و به وسیله آن می‌توان شرایط سیستم‌های تهویه و جریان هوا در ساختمان‌ها را شبیه‌سازی و بررسی نمود (رهايي، ۱۳۹۳؛ قنبران و حسین پور، ۱۳۹۲، Azarbayjani, 2013). در پژوهش خود به وسیله دیزاین‌بیلدر به هدر رفت انرژی پرداختند که به کمک آن توانستند رفتارهای مختلف باد را در فضاهای گوناگون بررسی کنند (صائبی صفا و همکاران، ۱۳۹۹). پژوهشگران همچنین در تحقیقات خود که به بررسی تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی و

یک دوره ۳۰ روزه، ۳ بار در روز (۹ صبح ۱۲-ظهر و ۳ بعدازظهر) در مردادماه و با استفاده از دستگاه kimo/v200 صورت گرفت. سپس داده‌های اندازه‌گیری شده و مدل سه‌بعدی نمونه‌های موردی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (طبق ادبیات موضوع) با هدف تحلیل الگوی گردش هوا در حیاط مرکزی شبیه‌سازی شد. در انتها اندازه متغیر طول حیاط مرکزی از طریق مداخله در شبیه‌سازی‌ها مورد سنجش قرار گرفت.

داده‌های اقلیمی موقعیت بناها

در جهت مدل‌سازی ساختمان، در حالت واقعی مستلزم وارد کردن داده‌های اقلیمی می‌باشد تا به بهترین شرایط با تاکید بر سایت مورد نظر از لحاظ موقعیت، شرایط اقلیمی، تراکم شهری و غیره شبیه‌سازی بر اساس تعیین مکان انجام گیرد. در مرحله اول اقلیم گرم و خشک شهر یزد انتخاب و داده‌های اقلیمی این شهر به همراه داده‌های میدانی جمع‌آوری شده، به عنوان ورودی برای شبیه‌سازی استفاده شد. در مرحله بعد شبکه باد به صورت شبکه شطرنجی با فواصل ۱ سانتی‌متری در نظر گرفته شده است که این میزان برای محیط‌های شهری استاندارد می‌باشد. سپس میانگین سرعت باد در شهر یزد در ماه مرداد (طبق سایت معتبر جهانی wind finder که در اکثر مقالات شبیه‌سازی باد به عنوان منبع معرفی می‌شود) به میزان ۷ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده که این میزان در مرحله بعدی با مطابقت دادن با سرعت باد جمع‌آوری شده در عملیات میدانی مقایسه شده است (که با میانگینی بر حدود ۶/۳ متر بر ثانیه بر آورد شد) و در ادامه نیز تاییدگردید (شکل ۱ و شکل ۲).

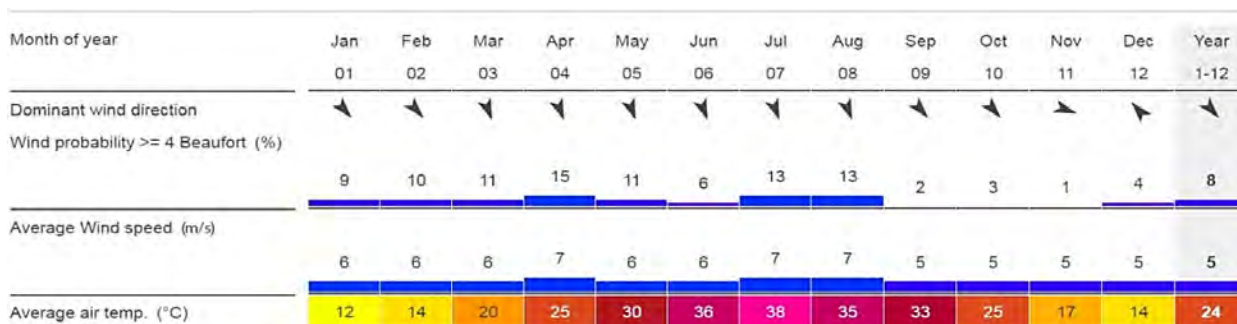
طبق اطلاعات جمع‌آوری شده جهت وزش باد غالب در ماه مرداد در شهر یزد از سمت شمال غربی می‌باشد که این جهت معادل ۱۳۵ درجه به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر داده شده است.

تاثیرات عوامل موثر بر تهویه طبیعی در بنای مسکونی پرداخته‌اند، از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شبیه‌سازی استفاده نموده‌اند (صائبی صفا و همکاران، ۱۳۹۹؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ تابان و همکاران، ۱۳۹۲)، (Rahsepar Monfared & Azemati, 2021). براساس پژوهش‌های بررسی شده در حوزه تهویه طبیعی، استفاده از سیستم‌های تهویه همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است و در جهت بررسی تهویه طبیعی، از روش‌های ارزیابی مختلفی استفاده شده است که مطابق پیشینه، در پژوهش حاضر از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و اعتبارسنجی با روش اندازه‌گیری میدانی جهت تحلیل تهویه طبیعی براساس مولفه‌های کالبدی حیاط مرکزی استفاده می‌شود.

روش پژوهش

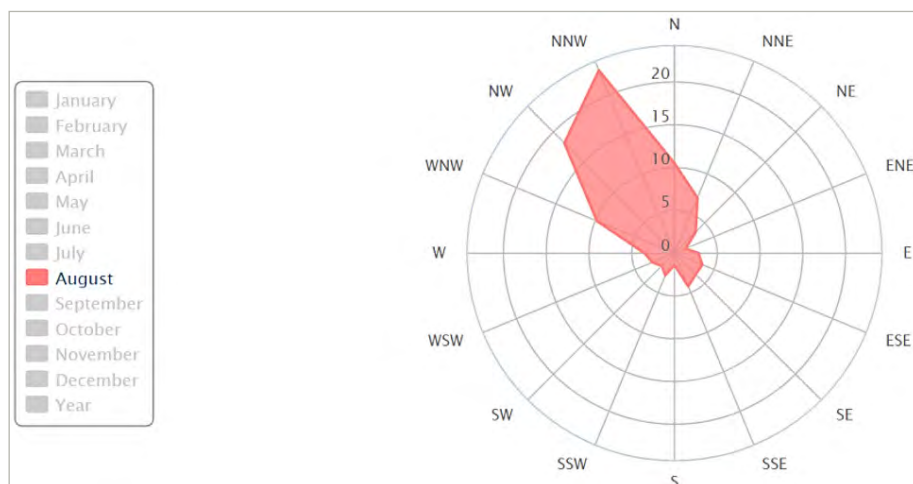
روش تحقیق در این پژوهش با توجه به ماهیت آن یک روش ترکیبی می‌باشد که از راهبردهای تجربی، شبیه‌سازی و پژوهش موردی بهره برده است. تدابیر مورد استفاده شامل مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهدات، برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری و شبیه‌سازی است. از آنجا که هدف پژوهش، بررسی بهبود و عملکرد تهویه طبیعی حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی ایران است، ابعاد حیاط مرکزی متغیر مستقل و الگوی گردش هوای داخل حیاط به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. عوامل کالبدی حیاط مرکزی مانند ارتفاع دیواره‌ها و ساختمان و جهت گیری بنا به عنوان متغیرهای کنترل شده در نظر گرفته می‌شود و پیش فرض ها و اندازه‌های این متغیرها براساس برداشت‌های میدانی از نمونه‌های موردی اندازه‌گیری شده است.

جامعه آماری این پژوهش شامل خانه‌های دارای حیاط مرکزی در یزد و دو خانه لاری‌ها و گلشن یزد به عنوان نمونه‌های مورد مطالعه به شیوه تصادفی نیز انتخاب شده است. در ابتدا اندازه‌گیری میدانی متغیر وابسته به عنوان داده‌های اولیه و اعتبارسنجی شبیه‌سازی در



شکل ۱. جهت و میانگین سرعت باد و دما در ماه‌های مختلف سال در شهر یزد

Figure 1.



شکل ۲. جهات مختلف وزش باد در مرداد ماه در شهر یزد
Figure 2.

۱. بررسی وضع موجود نمونه‌های موردی

هشتی است. این خانه در زمینی به مساحت ۲۳۷۹ مترمربع با اجزای اصلی خانه لاری‌ها، دو حیاط بزرگ و کوچک با مجموعه‌ای از ایوان‌ها، تالارها، اتاق‌ها و نیز یک سردر و (جدول ۱ و جدول ۲).

جدول ۱. الگوی طراحی خانه لاری‌ها
Table 1.

جهت‌گیری ساختمان	پیوستگی بافت	تقسیمات داخلی پلان	نحوه اشغال ساختمان در زمین	رابطه فضای پر و خالی	توزیع فضاهای پر و خالی
شمال شرقی-جنوب غربی	متراکم	پلان بسته و حیاط مرکزی	ایوان و راهرو		

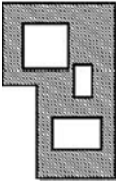
جدول ۲. بررسی ساختار کمی خانه لاری‌ها
Table 2.

نسبت به کل بنا	مساحت (مترمربع)	نوع فضا		
۱۹/۸۴٪	۴۷۲	حیاط اصلی	فضای باز	
۵۳/۵٪	۵/۱۳۱	حیاط شمال شرق		
۱۷/۱٪	۷۲/۲۷	حیاط کوچک		
۵۳/۲۶٪	۲۲/۶۳۱	مجموع		
۴۹/۳۷٪	۷۸/۸۹۱	اتاق‌ها (همکف)	فضای بسته	زیربنای خالص
۲۸/۱٪	۵۵/۳۰	هشتی	فضاهای ارتباطی	زیربنای ناخالص
۱۸/۱٪	۲۸	ورودی‌ها		
۳۲/۱۹٪	۷۱/۴۵۹	راهروها		
۷۸/۲۱٪	۲۶/۵۱۸	مجموع		
۲/۱۴٪	۷۴/۳۳۷	مساحت جزرهای همکف		

خانه گلشن دارای سه حیاط، فضاهای مختلف بسته و نیمه باز، دو ورودی و چندین فضای باز خدماتی است. دو حیاط شرقی و غربی و حیاط‌های بزرگ مجموعه هریک مرکز بخش مهمی از خانه هستند. این دو حیاط

با قاعده‌ای مستطیل شکل تقریباً در جهت شمال شرق-جنوب غرب قرار گرفته‌اند. خانه گلشن در زمینی به مساحت ۲۱۶۰ مترمربع با سطح اشغال ۱۶۱۴ مترمربع (۷۴٪) و در یک طبقه بنا شده است (جدول ۳ و جدول ۴).

جدول ۳. الگوی طراحی خانه گلشن
Table 3.

جهت‌گیری ساختمان	پیوستگی بافت	تقسیمات داخلی پلان	نحوه اشغال ساختمان در زمین	رابطه فضای پر و خالی	توزیع فضاهای پر و خالی
شمال شرقی-جنوب غربی	متراکم	پلان بسته و حیاط مرکزی		ایوان و راهرو	

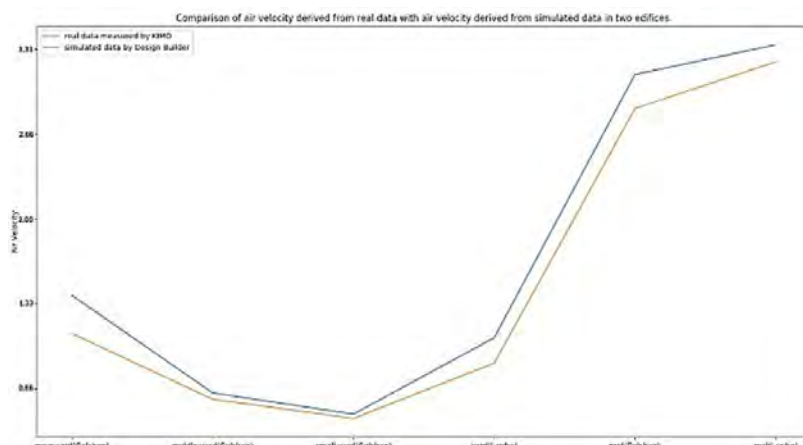
جدول ۴. بررسی ساختار کمی خانه گلشن
Table 4.

نوع فضا	مساحت (مترمربع)	نسبت به کل بنا
حیاط اصلی (غربی)	۴۱/۲۹۳	٪ ۵۸/۱۳
حیاط شرقی	۵۷/۱۹۳	٪ ۹۶/۸
حیاط شمالی	۸۸/۵۸	٪ ۷۳/۲
مجموع	۸۶/۵۴۵	٪ ۲۷/۲۵
زیربنای خالص	۵۹/۸۱۱	٪ ۵۷/۳۷
اتاق‌ها (همکف)	۱۹/۱۵	٪ ۷/۰
هشتی	۶۵	۳٪
ورودی‌ها	۷۱/۳۴۵	۱۶٪
راهروها	۹/۴۲۵	٪ ۷۲/۱۹
مجموع	۶۵/۳۷۶	٪ ۴۴/۱۷
فضاهای ارتباطی		
زیربنای ناخالص		
مساحت چرخ‌های همکف		

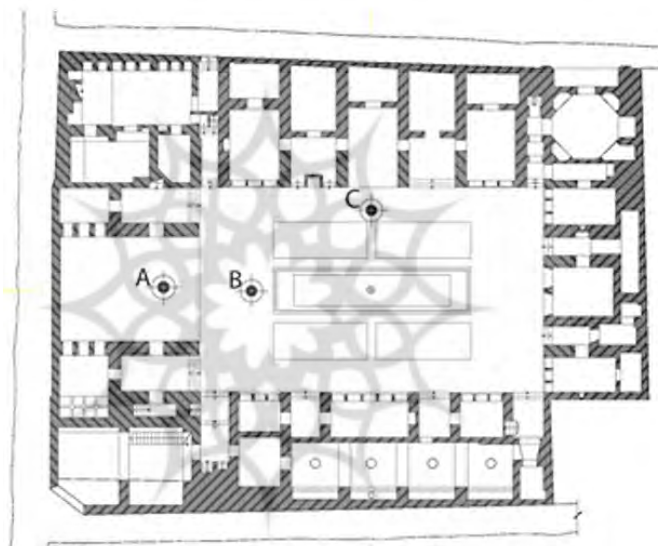
روند در مدل شبیه‌سازی نیز وجود دارد که نشان‌دهنده انطباق اولیه بین داده‌های حقیقی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. نتایج این مقایسه (شکل ۳) نشان‌دهنده روندی مشابه است. به عنوان مثال میانگین سرعت باد در حیاط اصلی خانه گلشن در حالت برداشت میدانی به میزان ۱/۴ متر بر ثانیه و حیاط میانی آن ۰/۶۵ متر بر ثانیه بوده و این مقادیر در حالت شبیه‌سازی به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۸۵ متر بر ثانیه است. در این مطالعه، نتایج عددی که از طریق مقایسه نتایج به دست آمده از سرعت جریان هوا در حیاط‌های دو خانه است، نشان‌دهنده نزدیک بودن نتایج شبیه‌سازی به نتایج برداشت میدانی می‌باشد. با این حال اختلاف جزئی عددی موجود می‌تواند ناشی از وجود عناصر محیطی موجود در حالت واقعی نظیر گیاه مبلمان، انسان، حوض آب و غیره باشد.

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

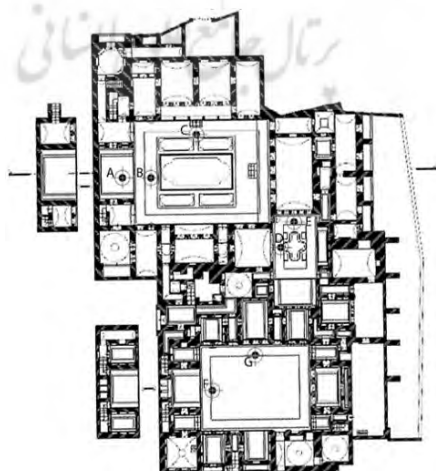
همگرایی نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های دیزاین‌بیلدر با برداشت‌های میدانی با دستگاه 200kimo/vt به منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. برای این منظور، سرعت جریان هوای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های موردی، در فواصل مختلف با سرعت‌های جریان هوای پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در شرایط مشابه و در فواصل یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. در برداشت میدانی، داده‌های مربوط به سرعت جریان باد، مقایسه اولیه‌ای بین چهار حیاط موجود در دو خانه (سه حیاط گلشن و یک حیاط خانه لاری‌ها) انجام شد (شکل ۴، ۵، ۶ و ۷). سرعت باد به ترتیب در حیاط اصلی خانه گلشن، حیاط خانه لاری‌ها، حیاط میانی خانه گلشن و حیاط کوچک خانه گلشن کاهش یافته است. همین



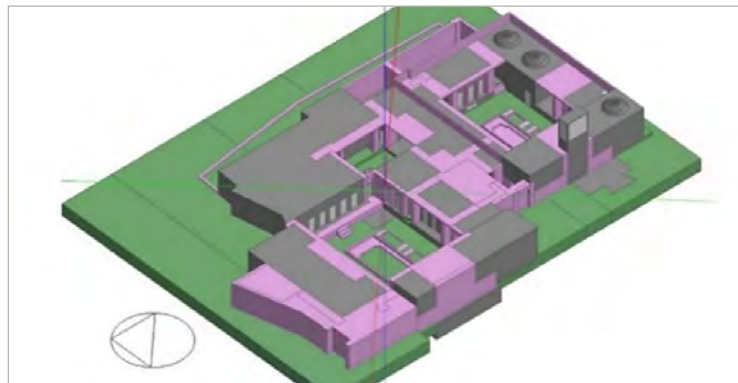
شکل ۳. مقایسه میانگین سرعت باد در برداشت میدانی با داده‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی از وضع موجود
Figure 3.



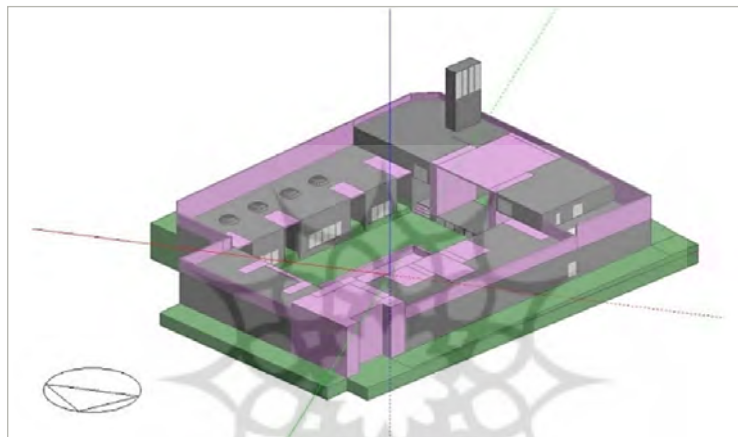
شکل ۴. نقاط مشخص شده در خانه لاری‌ها برای اندازه‌گیری سرعت باد (نقطه A بر روی سقف تابستان‌نشین و نقاط B, C درون حیاط)
Figure 4.



شکل ۵. نقاط مشخص شده در خانه گلشن برای اندازه‌گیری سرعت باد (نقطه A بر روی سقف تابستان‌نشین و نقاط B, G درون حیاط)
Figure 5.



شکل ۶. مدل اولیه شبیه‌سازی شده از خانه گلشن
Figure 6.

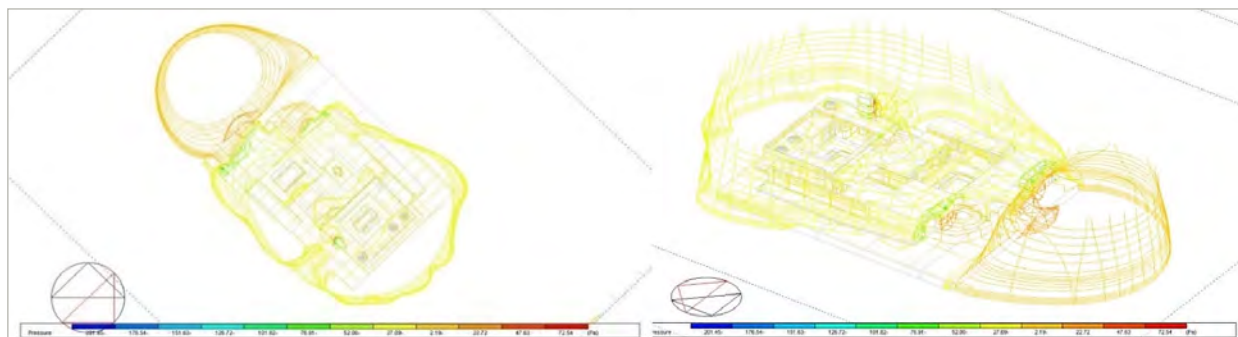


شکل ۷. مدل اولیه شبیه‌سازی شده از خانه لاری‌ها
Figure 7.

داخلی آن ناچیز و قابل اغماض است و عمدتاً فقط وزش باد در چگونگی تهویه طبیعی یک ساختمان تأثیر می‌گذارد. با دقت در شکل‌های زیر (شکل ۱۰) مشاهده می‌شود که در وهله اول بعد از برخورد باد با جداره شمال غربی بنا در آن جداره فشار مثبت ایجاد شده و در جداره‌های دیگر فشار منفی خواهد بود و به همین ترتیب در حیاط‌های مرکزی نیز فشار منفی می‌شود که این اتفاق موجب ایجاد جریان مکش در حیاط‌ها شده و جریان هوا را به سمت داخل حیاط هدایت می‌کند.

فشار هوای ناشی از جریان باد در حیاط مرکزی

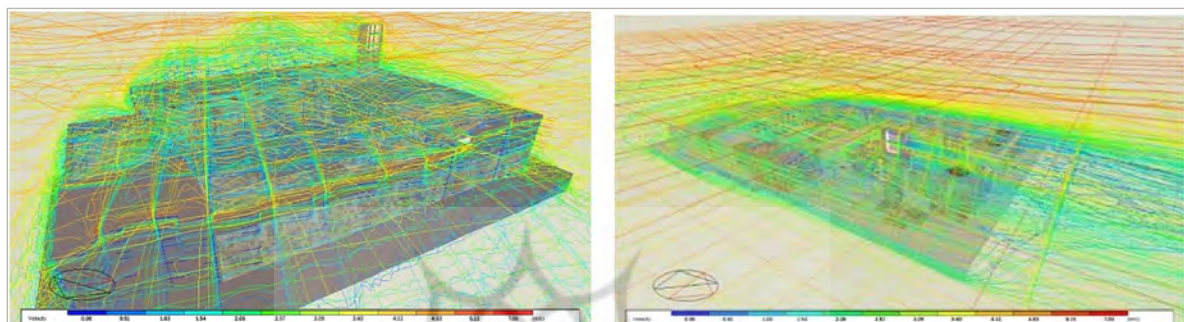
مهم‌ترین علت ایجاد جریان هوا اختلاف فشار بین مناطق پر فشار و کم فشار هواست که این گذاره نشان‌دهنده آن است که می‌بایست به چگونگی فشار اعمال شده بر بناها در اثر وزش باد توجه شود (شکل ۸ و شکل ۹). همچنین ایجاد تهویه طبیعی در ساختمان به اختلاف فشاری که وزش باد در جداره‌های خارجی آن بوجود می‌آورد بستگی دارد و جریان هوای ایجاد شده در اثر اختلاف دمای سطوح مختلف یک ساختمان در فضای



شکل ۸. شبیه‌سازی فشار موثر بر اثر باد در خانه گلشن
Figure 8.



شکل ۹. شبیه‌سازی فشار موثر بر اثر باد در خانه لاری‌ها
Figure 9.

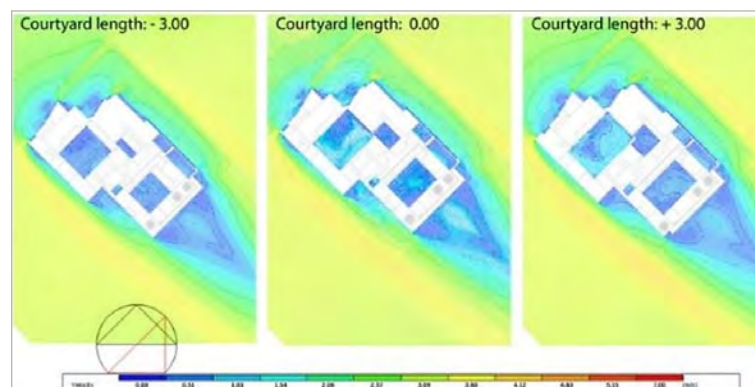


شکل ۱۰. شبیه‌سازی سرعت باد در خانه لاری‌ها و خانه گلشن
Figure 10.

بمٹ و یافته‌ها

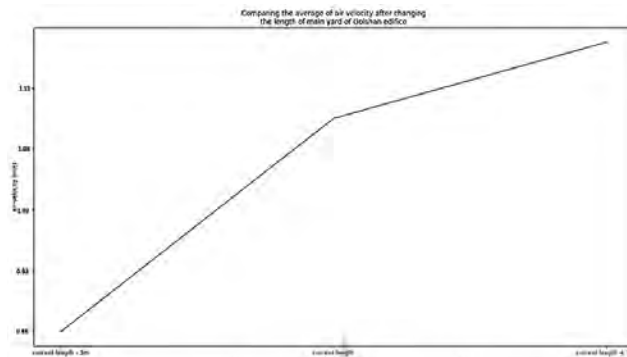
حیاط، میانگین سرعت هوا نیز به میزان کمی افزایش می‌یابد. در این حالت اگرچه جریان هوا بر روی سطح حیاط بصورت متمرکز تغییر محسوسی ندارد، اما به دلیل متاثر کردن کل فضای حیاط، عملکرد کلی تهویه داخل حیاط را بهبود بخشیده است. در حیاط اصلی خانه گلشن (شکل ۱۱) نشان می‌دهد با افزایش طول حیاط به میزان ۳ متر، بیشینه سرعت به تدریج افزایش می‌یابد و سرعت جریان هوا از ۱/۱ متربرثانی به ۱/۱۸ متربرثانی رسیده است. همچنین کاهش طول حیاط به میزان ۳ متر سرعت را به میزان ۰/۲۳ متربرثانی کاهش می‌دهد. با توجه به (شکل ۱۵) در خانه لاری‌ها افزایش ۳ متری طول حیاط باعث افزایش ۰/۸۳ متربرثانی سرعت جریان هوا و همچنین کاهش طول حیاط به همان اندازه سرعت جریان هوا را ۰/۸۶ به ۰/۸ متربرثانیه تقلیل داده است.

بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد عملکرد تهویه و سرعت جریان هوا در حیاط مرکزی به سبب تعدد پدیده‌های تاثیرگذار بر آن‌ها بسیار پیچیده است. حوض آب، گیاهان هندسه لبه بام، پدیده‌های جوی نظیر باران ابری یا صاف بودن هوا و غیره همگی بر عملکرد تهویه تاثیر گذارند که دانسته در این پژوهش از آنها صرف نظر شده است و پارامتر طول حیاط مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه طول در پلان حیاط مرکزی با در نظر گرفتن عرض ثابت عاملی است که مستقیماً بر عملکرد کلی جریان هوا در داخل حیاط مرکزی تاثیر می‌گذارد. اندازه طول حیاط در سه حالت بررسی می‌شود: ۱. وضع موجود؛ ۲. افزایش سه متری طول حیاط؛ و ۳. کاهش سه متری طول حیاط. مقایسه این سه حالت نشان می‌دهد در شرایط ثابت ماندن عرض و افزایش طول



شکل ۱۱. بررسی پارامتر تغییر طول در خانه گلشن و تاثیر آن بر سرعت هوا
Figure 11.

نمودار زیر (شکل ۱۲) نشانگر روند تغییر سرعت باد بعد از اعمال متغیر طول است. در حالت اولیه طول حیاط اصلی خانه گلشن ۲۰ متر، طول حیاط میانی آن ۱۶ متر و طول حیاط کوچک آن حدود ۶ متر است که این مقادیر بعد از افزایش ۳ متری طول به ترتیب به میزان ۱۹، ۲۳ و ۹ متر و بعد از کاهش طول به ترتیب مقادیر ۱۷، ۱۳ و ۳ متر رسیده‌اند. در بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیر طول در حیاط اصلی خانه گلشن طبق (شکل ۱۲) مشاهده می‌شود که با افزایش ۱۵٪ طول بزرگ حیاط (افزایش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۷/۵٪ افزایش یافته است. همچنین با کاهش ۱۵٪ طول (کاهش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۲۱٪ کاهش یافته است. با توجه به این اعداد و دقت به نمودار فوق در می‌یابیم که بین متغیر طول و سرعت باد در حیاط اصلی خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.



شکل ۱۲. تاثیر طول بر سرعت هوا در حیاط بزرگ خانه گلشن

Figure 12.

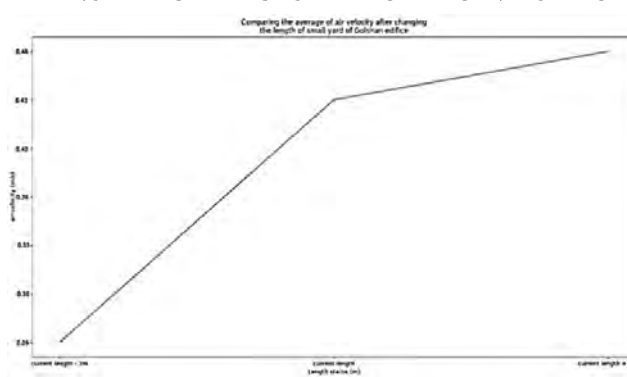
در بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیر طول در حیاط میانی خانه گلشن طبق (شکل ۱۳) مشاهده می‌شود که با افزایش ۱۹٪ طول بزرگ حیاط (افزایش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۱۴٪ افزایش یافته است. همچنین با کاهش ۱۹٪ طول (کاهش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۱۴٪ کاهش یافته است. با توجه به این اعداد و دقت به نمودار فوق در می‌یابیم که بین متغیر طول و سرعت باد در حیاط میانی خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.



شکل ۱۳. تاثیر طول بر سرعت هوا در حیاط میانی خانه گلشن

Figure 13.

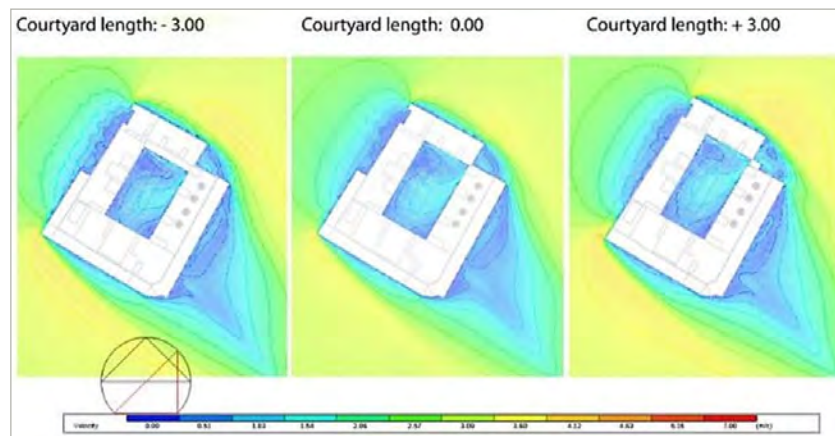
در بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیر طول در حیاط کوچک خانه گلشن طبق (شکل ۱۴) مشاهده می‌شود که با افزایش ۳۲٪ طول حیاط کوچک (افزایش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۸٪ افزایش یافته و همچنین با کاهش ۳۲٪ طول (کاهش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۳۸٪ کاهش یافته است. با توجه به این اعداد و دقت به نمودار فوق در می‌یابیم که بین متغیر طول و سرعت باد در حیاط کوچک خانه گلشن رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.



شکل ۱۴. تاثیر طول بر سرعت هوا در حیاط کوچک خانه گلشن

Figure 14.

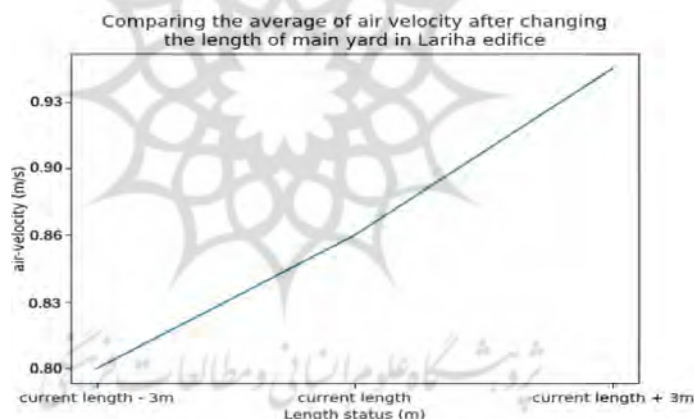
شکل ۱۵ نشانگر روند تغییر سرعت باد بعد از اعمال متغیر طول است. بعد از افزایش ۳ متری طول به میزان ۲۹ متر و بعد از کاهش طول به میزان ۲۳ متر رسیده است.



شکل ۱۵. بررسی پارامتر تغییر طول در خانه لاری‌ها و تاثیر آن بر سرعت هوا

Figure 15.

در بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیر طول در حیاط خانه لاری‌ها طبق (شکل ۱۶) طول (کاهش ۳ متری آن) سرعت باد به میزان ۸٪ کاهش یافته است. مشاهده می‌شود که با افزایش ۱۱٪ طول حیاط (افزایش ۳ متری آن) با توجه به این اعداد و دقت به نمودار فوق در می‌یابیم که بین متغیر سرعت باد به میزان ۱۰٪ افزایش یافته است. همچنین با کاهش ۱۱٪ طول و سرعت باد در حیاط خانه لاری‌ها رابطه‌ای مستقیم وجود دارد.



شکل ۱۶. تاثیر طول بر سرعت هوا در حیاط خانه لاری‌ها

Figure 16.

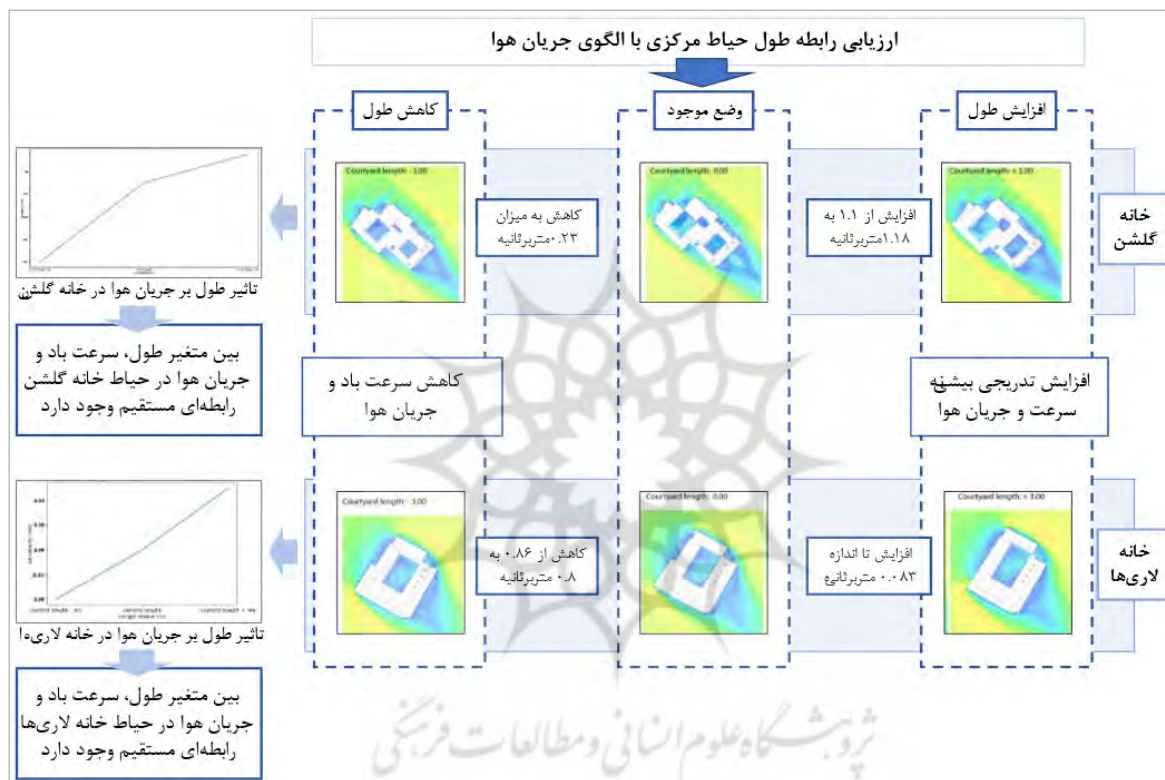
نتیجه‌گیری

کاهش سوخت‌های فسیلی در سال‌های گذشته باعث ضرورت تغییر نگرش در روش‌های تهویه در ساختمان‌ها شده است و با توجه به اینکه حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی شهرهای کویری ایران، نقش بسیار مهمی در تلطیف و تهویه مطلوب دارد، لازم است با بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار بر تهویه طبیعی و جریان هوا در حیاط، به معیارهای بهینه دست یافت. در این پژوهش به وسیله شبیه‌سازی که نمودی از واقعیت می‌باشد و به کمک آن می‌توان اثر تغییر پارامترها را بدون اینکه در عمل نیاز به انجام آن باشد، در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام و مداخلات در متغیر طول در حیاط خانه‌ها مورد بررسی قرار داده شد. در تمامی حیاط‌ها رابطه‌ای مستقیم بین میزان طول حیاط با الگوی جریان هوای داخل حیاط وجود دارد. به عبارتی مطابق با

با بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در ارتباط با معماری سنتی و حیاط‌های مرکزی که عمدتاً در اقلیم گرم و خشک وجود دارد، در ابتدا این نتیجه حاصل شده است که حیاط‌های مرکزی نقش بسیار مهمی در ایجاد شرایط مطلوب آب و هوایی در فضای داخلی را دارند و می‌توانند جریان هوای مناسبی را جذب و به فضاهای پیرامونی منتقل کنند. پژوهش‌های انجام شده، متغیرهای مختلفی را هم در فضاهای پیرامونی و هم در حیاط مرکزی بررسی کرده‌اند که به دنبال سایر تحقیقات، متغیرهای کالبدی (در این پژوهش متغیر طول) به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل تاثیرگذار بر جریان هوای داخلی حیاط بررسی گردید. از آنجا که افزایش مصرف انرژی و

۷/۵٪ افزایش می‌یابد. به طور کلی اگرچه تغییر طول تاثیر نه چندان چشم‌گیری در افزایش سرعت باد دارد اما همین میزان افزایش در فضای حیاط محسوس خواهد بود و منجر به تهویه طبیعی می‌شود. از طرفی تغییر طول حیاط به نسبت دیگر عوامل راحت‌تر می‌تواند برای بهبود تهویه به حیاط مرکزی اعمال شود. بنابراین این متغیر از جمله متغیرهای موثر در زمینه بهبود تهویه به شمار خواهد آمد. در ادامه (شکل ۱۷)، نگاهی کلی در نتیجه‌گیری تاثیر طول بر الگوی جریان هوا ارائه شده است.

نمودارهای سرعت جریان هوا، هرچه طول حیاط بیشتر باشد، جریان هوای بیشتری درون حیاط شکل خواهد گرفت. نکته دیگر این است که کاهش طول به نسبت افزایش آن تاثیر بیشتری بر تغییر سرعت دارد که می‌توان با توجه به این مساله به این نتیجه رسید که با افزایش طول میزان افزایش سرعت باد با آهنگ کندتری تغییر پیدا می‌کند. در حیاط اصلی گلشن زمانی که طول حیاط از ۱۶ متر به ۱۹ متر رسیده، سرعت به میزان ۲۱٪ افزایش یافته است، اما وقتی که طول حیاط از ۲۰ متر به ۲۳ متر رسیده، سرعت به میزان



شکل ۱۷. نگاه کلی به تاثیر طول بر جریان هوا در خانه‌های سنتی یزد

Figure 17.

فهرست مراجع

۱. اکبری، حسن، رشید کلویز، حجت اله (۱۴۰۱)، بهینه‌سازی فرم، نسبت ابعادی و جهت‌گیری ساختمان بر اساس تابش خورشید و جهت باد (مطالعه‌ی موردی: شهرهای تبریز، یزد و بندرعباس). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۹، شماره ۳۴، ۱-۱۳.
۲. تابان، محسن، پورجعفر، محمدرضا، بمانیان، محمدرضا، حیدری، شاهین (۱۳۹۲)، تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط، باغ نظر، دوره ۱۰، شماره ۲۷، ۳۹-۴۸.
۳. حائری مازندرانی، محمدرضا (۱۳۸۸)، خانه، فرهنگ، طبیعت: بررسی معماری خانه‌های تاریخی و معاصر به منظور تدوین

نقش نویسندگان

بررسی ادبیات، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، تهیه متن دست‌نوشته و ویرایش دست‌نوشته توسط شیردل و امیدی انجام گرفته‌است. رهایی با انجام آزمایشات و شبیه‌سازی‌ها، جمع‌آوری داده‌ها در انجام پژوهش یاری نمودند.

تعارض منافع نویسندگان

نویسندگان به‌طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از هرگونه سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد و نویسندگان در قبال ارائه اثر خود وجهی دریافت ننموده‌اند.

۱۴. مرادی، ساسان، متین‌راد، مهرداد، فیاض، ریما، دهباشی شریف، مزین (۱۳۹۷)، گونه‌شناسی خانه‌های سنتی حیاطدار تبریز بر اساس معیارهای کالبدی موثر بر عملکرد اقلیمی حیاط مرکزی، نشریه مدیریت شهری، دوره ۱۷، شماره ۵۱، ۸۷-۱۰۵.
۱۵. مردانی، علی، روسایی، امین (۱۴۰۰). تاثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر. فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۱۱ (۴۳)، ۷۱-۱۰۲.
۱۶. مسعودی نژاد، مصطفی، طاهباز، منصوره و مفیدی شمیرانی، سید مجید (۱۴۰۰). بررسی رفتار حرارتی شوادان، نمونه موردی: خانه سوزنگر دزفول. مطالعات معماری ایران، ۱۳(۷)، ۴۹-۷۰.
۱۷. وکیلی‌نژاد، رزا (۱۳۹۵)، تاثیر ترکیبی ویژگی‌های کالبدی پوسته بنا و الگوهای تهویه طبیعی بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی (نمونه موردی ساختمان‌های تهویه یک‌طرفه در اقلیم گرم و خشک شیراز)، رساله دکتری، به راهنمایی دکتر مجید مفیدی و دکتر فاطمه مهدی‌زاده سراج، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۱۸. یزدی، یاسمن، مفیدی شمیرانی، سیدمجید، اعتصام، ایرج (۱۳۹۸)، معیارهای طراحی در ساختار حیاط مرکزی و تالار تابستان‌نشین خانه‌های قاجار یزد، نشریه مطالعات هنر اسلامی، دوره ۱۵، شماره ۳۴، صص ۹۳-۱۱۱. <https://doi.org/10.22034/ias.2019.93928>
19. Agrawal, S., Wong, J.K., Song, J., Mercan, O., Kushner, P.J. (2022). Assessment of the aerodynamic performance of unconventional building shapes using 3D steady RANS with SST k- ω turbulence model, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, V.225. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.104988>
20. Aguilar, A.J., de la Hoz-Torres, M., Costa, N., Arezes, P., D. Martínez-Aires, M., Ruiz, D.P., (2022). Assessment of ventilation rates inside educational buildings in Southwestern Europe: Analysis of implemented strategic measures. Journal of Building Engineering. 51, 104204. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104204>
- فرآیند و معیارهای طراحی خانه، تهران، نشر مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.
۴. حزبئی، مرتضی، ادیب، زهرا، نصراللهی، فرشاد (۱۳۹۳)، تهویه طبیعی در شوادون‌های شهر دزفول با بهره‌گیری از مدل‌سازی CFD. نشریه باغ نظر، دوره ۱۱، شماره ۳۰، ۳۷-۴۸.
۵. رزاقیان، فرزانه، رهنما، محمدرحیم (۱۳۹۹)، تحلیل شاخص‌های شهر اکولوژیک در ساختمان‌های بلندمرتبه کلان‌شهر مشهد. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۱، شماره ۴۰، ۸۸-۱۰۳.
۶. رهایی، امید (۱۳۹۳)، بررسی فرآیند جریان هوای داخل و مدل‌های تحلیلی آن در سوله‌های صنعتی کوچک با روش CFD، نشریه معماری و شهر پایدار، دوره ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان، ۵۵-۶۴.
۷. رهایی، امید (۱۴۰۰)، بررسی تغییرات کالبدی حیاط‌های مرکزی بر الگوی جریان هوای داخل آن‌ها در خانه‌های دوران قاجار اصفهان با روش CFD (موردپژوهی: خانه لباف)، نشریه معماری و شهر پایدار، دوره ۹، شماره ۲، ۲۵-۴۶.
۸. رهایی، امید، عظمتی، حمیدرضا (۱۳۹۹)، ارتقای کیفیت تهویه طبیعی در کلاس‌های مدارس استان مازندران بر اساس وضعیت بازشوها با روش CFD، نشریه معماری و شهرسازی ایران (JIAU)، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۵۷-۷۱. <https://doi.org/10.30475/isau.2020.161257.1140>
۹. سلطاندوست، محمدرضا (۱۳۹۰)، اقلیم، معماری، تهویه مطبوع. تهران: نشریزدا.
۱۰. صائبی صفا، بهار، حیدری، فاطمه، سلیمان‌پور، نگار (۱۳۹۹)، ممیزی میزان هدر رفت انرژی از طریق جداره‌های خارجی ساختمان و تاثیر عایق حرارتی با شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (نمونه موردی: ساختمان اداری در شهر تهران)، نشریه نخبگان علوم و مهندسی، دوره ۵، شماره ۳، صص ۱۶۹-۱۷۹.
۱۱. عمیدپور، مجید (۱۳۸۸)، بررسی اثرات استفاده از بخاری‌های بدون دودکش بر روی کیفیت هوای داخل، پروژه تحقیقاتی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مکانیک، کارفرما: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران.
۱۲. قنبران، عبدالحمید، حسین‌پور، امین (۱۳۹۲)، بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته در اقلیم شهر تهران، نشریه معماری و شهر پایدار، دوره ۱، شماره ۲، صص ۴۳-۵۳.
۱۳. کسمایی، مرتضی (۱۳۹۲)، اقلیم و معماری. تهران، نشر خاک.

21. Azarbayjani, M., (2013). Comparative Performance Evaluation of a Multistory Double Skin Façade Building in Humid Continental Climate. The Visibility of Research, UNCC. DOI: <https://doi.org/10.17831/rep:arcc%25y194>
22. Banhidi, L.J., (1991). Radiant Heating Systems- Design and Applications, Pergamon Press.
23. Bay, E., Martinez-Molina, A., Dupont, W., (2022). Assessment of natural ventilation strategies in historical buildings in a hot and humid climate using energy and CFD simulations, Journal of Building Engineering, V.51. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104287>
24. Blocken, B. (2014). 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, V.129, 69-102. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.03.008>
25. Burgess, W.A., (1995). Recognition of Health Hazards in Industry. New York: Wiley Ltd.
26. Chung, L.P., Ahmad ,M.H., Ossen ,D.R., Hamid, M ., (2015). Effective solar chimney cross section ventilation performance in Malaysia terraced house. Procedia-Social and Behavioral Sciences, Volume 179, pp 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.431>
27. De la Torre, S., Yousif, C., (2014). Evaluation of Chimney Stack Effect in a New Brewery Using DesignBuilder-energyPlus Software, Energy Procedia, Volume 62, 230-235. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.384>
28. Díaz-Calderón, D.F., Castillo, J.A., Huelsz, G. (2023). Evaluation of different window heights and facade porosities in naturally cross-ventilated buildings: CFD validation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, V.232. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.105263>
29. Figueroa-Lopez, A., Arias, A., Oregi, X., Rodríguez, I., (2021). Evaluation of passive strategies, natural ventilation and shading systems, to reduce overheating risk in a passive house tower in the north of Spain during the warm season, Journal of Building Engineering, V.43. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102607>
30. IEA (2018), The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning, IEA, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>.
31. Indraganti, M., Boussaa, D. (2017). Comfort temperature and occupant adaptive behavior in offices in Qatar during summer. Energy and building. 150, pp23-36. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.063>
32. Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H.B., Brager, G.S., (2014). Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. Building and Environment Journal. 74, 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.002>
33. 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 Journal. V. 177, 106847. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106847>
34. Jomehzadeh, F., Hussen, H.M., Calautit, J.K., Nejat, P., Ferwati, M.S. (2020). Natural ventilation by windcatcher (Badgir): a review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. Energy and Buildings. 226, 110396. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110396>
35. Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J.K., Yusof, M.B.M., Zaki, S.A., Hughes, B.R., Yazid, M.N.A.W.M. (2017). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: indoor air quality and thermal comfort

- assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 70, 736–756. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.254>
36. Jon, K.S., Luo, Y., Sin, C.H., Cui, P., Huang, Y., Tokgo, J. (2023). Impacts of wind direction on the ventilation and pollutant dispersion of 3D street canyon with balconies, *Building and Environment*, V.230. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110034>
37. Karbasforousha MA, Habib F, Zabihi H. The Effects of Central Courtyard's Geometric Form of the Hot and Dry Settlements in Kashan on the Airflow Passing by the Walls and Floor: Case Study-Kashan City. 2023 Mar 12; 4(3): 394-400. doi: 10.37871/jbres1688
38. Koch-Nielsen, Halger (2017), *Natural Ventilation: A Design Guide for Hot Climates*, translated by Ahmadinejad, Mohammad, Khak Publishing.
39. Karbasforousha, Mohammadali, HABIB, FERESHTEH, & ZABIHI, HOSSEIN. (2023). Behavior Analysis of Wind Hydrodynamics in the Central Courtyard of Hot and Dry Climate Settlement Based on the Length to Height Ratio (Case Study: Kashan City). *INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBAN DEVELOPMENT*, 13(1 (47)), 5-14.
40. Nomura, M., Hiyama, K. (2017). A review: natural ventilation performance of office buildings in Japan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 74, 746–754. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.083>
41. Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., Drogemuller, R. (2017). Natural ventilation in multi-storey buildings: design process and review of evaluation tools. *Building and Environment*. 116, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.012>
42. Rahsepar Monfared, R., Azemati, S. (2021). Analysis of Wind Behavior in Natural Ventilation and Reduction of Energy Consumption in Residential Building Based on Vernacular Architecture: A Case Study of Effects of Dimensions and Layout of Opening on Natural Ventilation in Amol City, Iran. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, Volume14, Issue35, pp103-114. <https://doi.org/10.22034/aaud.2020.210648.2058>
43. Schulze, T., Gürlich, D., Eicker, U. (2018). Performance assessment of controlled natural ventilation for air quality control and passive cooling in existing and new office type buildings. *Energy and Buildings*. 172, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.023>
44. Soflaei, F., Shokouhian, M., Zhu, W. (2017). Socio-environmental sustainability in traditional courtyard houses of Iran and China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V.69, 1147-1169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.130>
45. Vassella, C.C., Koch, J., Henzi, A., Jordan, A., Waeber, R., Iannaccone, R., Charri`ere, R. (2021). From spontaneous to strategic natural window ventilation: improving indoor air quality in Swiss schools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 234, 113746. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113746>
46. Yin, H., Liu, C., Zhang, I. (2019). Measurement and evaluation of indoor air quality in naturally ventilated residential buildings, *Indoor Built Environment journal*. No13, p.1-17. <https://doi.org/10.1177/1420326X19833118>
47. Zhang, T., Zhao, Y., Zhao, Y., Wang, Sh., Wang, J., (2022). A passive pivoted window for stabilizing the natural ventilation rate, *Energy and Buildings*, 267, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112151>

48. Zhang, X., Weerasuriya, A., Wang, J., Li, C., Chen, Z., Tse, K., Hang, J. (2022). Cross-ventilation of a generic building with various configurations of external and internal openings, *Building and Environment*, 207(A). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108447>
49. Zhong, H., Sun, Y., Shang, J., Qian, F., Zhao, F., Kikumoto, H., Jimenez-Bescos, C., Liu, X., (2022). Single-sided natural ventilation in buildings: a critical literature review, *Building and Environment*, V.212. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108797>
50. Zhong, W., Xiao, W., Zhang, T., (2023). Numerical Investigations on Natural Ventilation in Atria of China's Southern Yangtze Vernacular Dwellings, *Sustainable Cities and Society*, V.89. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104341>



© 2025 by author(s); Published by Science and Research Branch Islamic Azad University, This work for open access publication is under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Modeling the airflow inside the central courtyard under the influence of physical factors in traditional houses in the hot and dry climate of Yazd

Omid Rahaei, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

Amir Hossein Shirdel*, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

Milad Omid, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

Abstract

Given the increasing consumption of fossil fuels and the architectural consequences of climate change resulting from it, it is essential to create solutions to reduce energy consumption through optimal and climate-friendly design of buildings and the exploitation of traditional foundations. Traditional Iranian architecture, which is known as one of the most successful examples in the world, has overcome environmental problems over the ages by using various methods and measures and has used precise and intelligent methods in coordinating the use of natural environments in the case of discovered hands. Distrust of natural ventilation. The central courtyard is an important element in traditional Iranian architecture that, while being simple and diverse in physical patterns, plays a role in the ventilation of surrounding spaces, considering the principle of compatibility with the environment. The aim of the research is to identify the air circulation pattern inside the courtyard and examine the status of natural ventilation during the study of physical changes in the central courtyards of traditional houses in Yazd. This article, by its nature, has a mixed method and includes experimental, simulation, and research strategies. The statistical population, houses with central courtyards in Yazd and houses in Lariha and Golshan, are selected as a sample. After field observations with experimental measurements, the airflow speed was recorded as a dependent variable. Then, the DesignBuilder software is used and simulated. After proving validity and reliability, interventions were made in the independent change (yard length). The results show that changing the length of the yard, assuming that the width is constant, affects the air circulation pattern of the central courtyard and natural ventilation of nature. In the courtyard of the Golshan house, with an increase in length from 17 meters to 20 meters, the air speed increases by 21%, and in the case of an increase in length from 20 meters to 23 meters, the air speed increases by 7.5%. In other words, the longer the yard, the higher the wind speed, but it is not significant. The same increase will be noticeable in the yard, and it will be ventilated. On the other hand, reducing the length has a proportional effect on the airspeed. This means that with increasing length, the wind speed increases at a slower rate. Changing the length of the courtyard can be applied to improve the ventilation of the central courtyard more easily than other factors, so these changes will be among the changes that are effective in improving ventilation. In previous studies, architectural elements and physical changes have been investigated in natural research on ventilation, but the physical changes of the central courtyard in traditional architecture, especially the height and length of the courtyard, require further investigation and analysis. The results of this research can help develop climate design patterns and create the possibility of using these patterns in contemporary architecture, so that by combining traditional and modern structures, it can be designed in an environmentally friendly and energy-efficient way.

Keywords: Natural Ventilation, Central Courtyard, Lariha House, Golshan House, DesignBuilder

***Corresponding Author Email:** amirshirdel6645930@gmail.com