

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
The effect of yard proportions and length on indoor ventilation
efficiency in central courtyard houses in hot and humid climates
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

مقاله پژوهشی

تأثیر تناسبات و کشیدگی حیاط بر بازدهی تهویه فضای داخل در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم و مرطوب*

سید سجاد عبدلی^۱، مرجان شهابزاده^{۲*}، حمید اسکندری^۳

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده دانشگاه آزاد شیراز، دانشگاه آزاد واحد شیراز، ایران.

۲. استادیار طراحی و معماری شهری، گروه شهرسازی و معماری، دانشکده دانشگاه آزاد شیراز، دانشگاه آزاد واحد شیراز، ایران.

۳. استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

چکیده

بیان مسئله: استفاده از حیاط مرکزی در نواحی مختلف ایران، به یک سنت در معماری گذشته ایران تبدیل شده بود. با توجه به اینکه در اقلیم گرم و مرطوب، موضوع تهویه اهمیت بالایی دارد، بنابراین ساختار حیاط مرکزی در ابنیه می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. با این حال تاکنون پژوهشی با موضوع تناسبات حیاط مرکزی و نقش آن بر ارتقای تهویه در فضاهای پیرامون آن انجام نگرفته است. **هدف پژوهش:** در این پژوهش نقش تناسبات و کشیدگی حیاط مرکزی در ایجاد تهویه در فضاهای پیرامون آن در اقلیم گرم و مرطوب بررسی خواهد شد.

روش پژوهش: ابتدا طی یک برداشت میدانی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تهویه از جمله سرعت باد به صورت میدانی (تجربی) در یکی از خانه‌های سنتی با الگوی حیاط مرکزی سنجیده شده است. از این نتایج به عنوان یک شاخص مبنا برای تحلیل سایر نمونه‌ها استفاده می‌شود. در مرحله بعد، ۱۰ نمونه براساس تناسبات و کشیدگی حیاط استخراج شد که همگی یک شرایط اقلیمی یکسان در محیط نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی شد و در نهایت نتایج در قالب خروجی‌های مختلف از جمله سرعت باد، سن هوا، دبی هوا و در نهایت بازدهی تهویه سنجیده شد. متغیر مستقل در این پژوهش تناسبات افقی حیاط مرکزی و متغیر وابسته، راندمان تهویه در فضای موجود در آکس حیاط مرکزی است. **نتیجه‌گیری:** نتایج مطالعه نشان داد در بناهای حیاط مرکزی، افزایش کشیدگی حیاط در امتداد جریان هوای بیرونی بنا، سبب افزایش راندمان تهویه هوا می‌شود.

واژگان کلیدی: تناسبات حیاط مرکزی، تهویه، اقلیم گرم و مرطوب، فضاهای پیرامون حیاط.

مقدمه

معماری بومی در مناطق مختلف جهان، همواره مملو از راهکارهای متنوعی است که با استفاده از آن‌ها، ارتباطی پایدار میان عوامل اقلیمی و محیط ساخته شده ایجاد می‌کند (Abro, 1994; Fathy et al., 1996). یکی از

این راهکارها که در معماری سنتی ایران بسیار استفاده شده است، ساخت بنا به صورت حیاط مرکزی است (Zamani et al., 2018). در چنین الگویی علاوه بر زمینه‌های فرهنگی، به مسائل اقلیمی توجه شده است (Zhu et al., 2023)؛ به نحوی که استفاده از حیاط مرکزی باعث ایجاد یک خرداقلیم در مقیاس مسکن شده و ساکنین را از برخورد با اقلیم سخت و عموماً طاقت‌فرسای محیط بیرون حفظ می‌کند (Nosek et al., 2022; Taleghani et al., 2014). ساخت بنا به شیوه حیاط مرکزی در بخش‌های مختلف کشور از بخش‌های مرکزی و تا حدودی در مناطق جنوبی

* این مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری «سید سجاد عبدلی» با عنوان «استفاده از استراتژی‌های غیرفعال به منظور ارتقای کیفیت هوای داخل در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم و مرطوب (مورد پژوهی: تناسبات حیاط و ویژگی‌های باز شو)» است که به راهنمای دکتر «مرجان شهابزاده» و مشاور دکتر «حمید اسکندری» در دانشکده هنر و معماری صدرا شیراز در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ به انجام رسیده است.
** نویسنده مسئول: marjan.shahabzadeh@iau.ac.ir ۰۷۴۳۳۳۱۸۷۸

همانطور که از **جدول ۱** مشخص است، موضوع تهویه طبیعی در پژوهش‌های مختلفی بررسی شده است که عموماً با استفاده از روش CFD به تحلیل و بررسی این موضوع پرداخته‌اند. اما آنچه قابل توجه است، تاکنون در هیچ‌کدام از موارد انجام‌گرفته، موضوع ابعاد و تناسبات حیاط مرکزی بر این مهم بررسی نشده است. تنها پژوهشی که به این موضوع پرداخته است، پژوهش (Soflaei et al., 2016) است که در آن بر هندسه و جهت‌گیری حیاط، تمرکز داشته و با رویکردی توصیفی-تحلیلی، سعی در پرداختن به موضوع کرده است؛ درحالی‌که نقش ابعاد و تناسبات حیاط مرکزی در تهویه طبیعی درون فضاهای پیرامون حیاط با روش عددی تاکنون بررسی نشده است.

روش پژوهش

همانطور که گفته شد، هدف اصلی در این پژوهش، بررسی تأثیر تناسبات حیاط در یک ساختمان با الگوی حیاط مرکزی در اقلیم گرم و مرطوب بر میزان بازدهی تهویه در فضای بیرونی و فضای درونی بنا است. برای این منظور این پژوهش از دو گام به شرح زیر تشکیل شده است:

• اعتبارسنجی نرم‌افزار

این گام به‌عنوان بخش تجربی پژوهش تعریف شده است. خانه گلشن به‌عنوان یک خانه سنتی با الگوی حیاط مرکزی در شهر بوشهر (تصاویر ۱ و ۲) به‌عنوان نمونه موردی انتخاب و با مراجعه حضوری به آن طی یک بازه یک هفته‌ای در تیرماه ۱۴۰۲، به برداشت داده‌های مرتبط با تهویه از جمله، سرعت باد در حیاط و فضاهای پیرامونی آن (به‌طور خاص اتاق ۵ دری واقع در جبهه شمالی بنا (تصویر ۳)) پرداخته شد. برای این منظور از دستگاه سرعت‌سنج آنومترها و وایر هوشمند تستو ۴۰۵i (تصویر ۴) استفاده شد. این دستگاه که مجهز به حسگر سیمی حرارتی است، ضمن امکان برداشت سرعت‌های پایین هوا، امکان اتصال به کامپیوتر و ثبت نوسانات مربوط به سرعت هوا را دارد و دارای قابلیت اندازه‌گیری سرعت هوا در محدوده ۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه با دقت ± 1 و اندازه‌گیری دما بین ۲۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد با دقت ± 0.5 درجه سانتی‌گراد دارد. مراجعه‌ها در چهار نوبت در بازه‌های زمانی صبح، ظهر، عصر و شب انجام و در نهایت میانگین سرعت هوای عبوری از اتاق مدنظر در طول یک روز استخراج می‌شود. به‌منظور استفاده داده‌ها در بخش اعتبارسنجی نرم‌افزار، دستگاه سرعت‌سنج در ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در حد فاصل دو پنجره اتاق با فواصل ۰/۵ متری، مستقر و به ثبت داده پرداخته شد.

در این پژوهش از روش شبیه‌سازی CFD برای تحلیل

ایران مشاهده می‌شود. بوشهر از جمله شهرهایی است که ساخت بنا به‌شیوه حیاط مرکزی تا حد زیادی در معماری سنتی آن مشاهده می‌شود. با توجه به اقلیم گرم و مرطوب این منطقه، موضوع تهویه از جمله مهم‌ترین چالش‌های پیش روی این معماری است. با این حال این پرسش ممکن است پیش آید که موضوع تهویه چگونه در یک ساختمان با الگوی حیاط مرکزی در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر امکان‌پذیر می‌شود. عوامل معماری مختلفی بر این موضوع تأثیرگذار هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به جهت‌گیری بنا، نسبت توده به فضا، ابعاد ارتفاعی فضا و ارتباط بنا با بافت پیرامون آن اشاره کرد (Soflaei et al., 2016). با این حال یکی از این عوامل، موضوع تناسبات حیاط مرکزی و نوع کشیدگی آن در ارتباط با باد غالب شهری است. بر همین اساس این پژوهش به تحلیل نقش تناسبات و کشیدگی حیاط بر تهویه در فضای داخلی خانه‌های حیاط مرکزی در اقلیم گرم و مرطوب می‌پردازد. ابتدا با تحلیل اقلیمی یکی از خانه‌های سنتی ساخته‌شده با الگوی حیاط مرکزی در شهر بوشهر، شاخص‌های تهویه طبیعی از جمله سرعت باد سنجیده می‌شود. در مرحله بعد، با طراحی ساختمان‌های مختلف حیاط مرکزی با تناسبات و کشیدگی‌های مختلف به‌عنوان نمونه موردی، سعی در تحلیل وضعیت تهویه در فضاهای داخلی مشرف به حیاط با استفاده از شبیه‌سازی CFD شد. با این توضیح، سؤال اصلی در این پژوهش به این شرح است، تناسبات حیاط در یک ساختمان با الگوی حیاط مرکزی چه تأثیری بر جریان تهویه در فضای حیاط و فضای داخلی (مشرف به حیاط) دارد؟ لازم به ذکر است منظور از تناسبات در این پژوهش، نسبت طول به عرض حیاط است.

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت موضوع حیاط مرکزی در معماری، تاکنون پژوهش‌های متعددی در این ارتباط انجام شده است و در آن‌ها حیاط مرکزی از جنبه‌های مختلفی از جمله ابعاد فرهنگی، عملکردی، اقلیمی و... بررسی شده است (Zhu et al., 2023). در ارتباط با نقش اقلیمی این عنصر، مشخصاً پژوهش‌های متعددی انجام شده که در آن‌ها موضوعاتی مانند سایه‌اندازی، مصرف انرژی، نور روز و تهویه بررسی شده است (Zamani et al., 2018). با توجه به هدف این پژوهش درخصوص بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی در ایجاد تهویه درون فضا، در این بخش به بررسی پژوهش‌هایی پرداخته می‌شود که در آن‌ها موضوع تهویه طبیعی در الگوهای حیاط مرکزی بررسی شده است. جمع‌بندی این پژوهش‌ها در **جدول ۱** ارائه شده است.

جدول ۱. پژوهش‌های انجام گرفته در ارتباط با موضوع تهویه طبیعی در ساختمان‌های حیاط مرکزی. مأخذ: نگارندگان.

منبع	عنوان مقاله	هدف مقاله	روش تحلیل	خروجی مقاله
مردانی و روسایی، ۱۴۰۰	تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر	تحلیل نقش ویژگی‌های هندسی حیاط بر الگوی جریان هوای درون حیاط	شبیه‌سازی CFD	با نزدیک شدن فرم حیاط به مربع در شرایط اقلیم شوشتر، تهویه بهتری درون حیاط اتفاق می‌افتد.
رهایی، ۱۴۰۰	بررسی تغییرات کالبدی حیاط‌های مرکزی بر الگوی جریان هوای داخل آن‌ها در خانه‌های دوران قاجار اصفهان	بررسی تغییرات به وجود آمده در ابعاد حیاط مرکزی در دوران قاجار و تأثیر آن بر الگوی جریان هوای درون حیاط	شبیه‌سازی CFD	با افزایش ابعاد حیاط، سرعت هوای درون حیاط کاهش یافته و جریان‌های هوا به صورت گرداب‌های در نقاط مختل حیاط شکل گرفته است.
نیکقدم، ۱۳۹۴	استخراج الگوهای اقلیمی فضاهای عملکردی در خانه‌های بومی بندر بوشهر با به کارگیری نظریه داده‌بنیاد	استخراج و معرفی الگوهای فضاهای عملکردی در خانه‌های بندر بوشهر از طریق به کارگیری نظریه داده‌بنیاد و تطابق ویژگی‌های این فضاها با مشخصات اقلیمی بوشهر	مطالعات اسنادی، مشاهدات میدانی	در الگوی حیاط مرکزی در خانه‌های سنتی شهر بوشهر، فضاهای باز و نیمه‌باز مابین و مقابل فضاهای بسته قرار دارند و کشیدگی فضاهای بسته در جهت حیاط است. لذا درعین تراکم کلی حجم، فضاهای بسته زیستی از نظر تهویه طبیعی به صورت گسترده عمل می‌کنند.
نیکقدم، ۱۳۹۵	تأثیر باد و آفتاب در تعدیل شرایط گرمایی خانه‌های بوشهر نمونه موردی: خانه گلشن	تحلیل میزان تأثیرگذاری جریان هوا و وضعیت تابش در ایجاد شرایط آسایش در یک الگوی خانه حیاط مرکزی در شهر بوشهر	شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر	استفاده از الگوی حیاط مرکزی در خانه‌های بوشهر، نقش زیادی در تعدیل شرایط گرمایی در ایام گرم سال دارد.
شاعری و همکاران، ۱۳۹۶	بررسی دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد در ساختمان‌های سنتی مسکونی بوشهر در فصل گرما (نمونه موردی عمارت گلشن و عمارت دهدشتی)	رفتار حرارتی در دو عمارت گلشن و دهدشتی به صورت تجربی بررسی شده است.	برداشت میدانی و مطالعات تجربی	شرایط حرارتی محیط داخلی ساختمان‌ها متعادل‌تر و مطلوب‌تر از اقلیم گرم و مرطوب خارجی است.
خاکسفیدی و همکاران، ۱۳۹۹	طراحی بهینه حیاط مرکزی در ساختمان‌های مسکونی در برابر باد ۱۲۰ روزه زابل براساس CFD	بررسی جهت‌گیری و میزان محصوریت حیاط مرکزی کاهش سرعت باد	شبیه‌سازی CFD	ساختمان‌هایی که در برابر جهت باد دارای فرم مقعر هستند، بیش از سایر گونه‌ها مانع ورود به حیاط می‌شوند.
Soflaei et al., 2016	تحلیل ابعاد و جهت‌گیری بنا در شکل‌گیری ریزاقلیم در ساختمان‌های سنتی ایران	بررسی وضعیت ریزاقلیم در انواع ساختمان‌های حیاط مرکزی در ایران با توجه به ابعاد و تناسبات و جهت‌گیری بنا	توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مشاهدات میدانی	حیاط مرکزی در ساختمان باعث ایجاد یک خرداقلیم می‌شود که این ارتباط جهت‌گیری و کشیدگی تأثیر مهمی در آسایش حرارتی فضای حیاط دارد.
Sharples & Bensalem, 2001	تحلیل جریان هوا در ساختمان‌های حیاط مرکزی و دارای آتریوم	مقایسه دبی و سرعت جریان هوا در ساختمان‌های دارای آتریوم و ساختمان‌های دارای حیاط مرکزی	تونل باد - شبیه سازی CFD	دبی هوای در ساختمان‌های دارای حیاط مرکزی اختلاف معناداری با دبی هوا در ساختمان‌های دارای آتریوم دارد.
Moonen et al., 2011	ارزیابی پتانسیل تهویه حیاط‌ها و دره‌های خیابان‌های شهری با استفاده از RANS و LES	مقایسه دو روش حل RANS و LES با تهویه هوای درونی حیاط با الگوی حیاط مرکزی	شبیه‌سازی CFD	استفاده از مدل RANS از دقت بالاتری جهت حل معادلات تهویه در فضای حیاط مرکزی ارائه کرده است.
Lopez-Cabeza et al., 2023	تأثیر اینرسی حرارتی بر تهویه طبیعی و آسایش حرارتی کاربران در ساختمان‌های حیاط مرکزی	تحلیل نقش اینرسی حرارتی جداره‌های پیرامون حیاط مرکزی بر شکل‌گیری تهویه درون حیاط	شبیه‌سازی CFD	افزایش حرارت جداره‌های پیرامون حیاط در الگوی حیاط مرکزی در طول روز کمی باعث افزایش دمای درون حیاط می‌شوند، اما در طول شب باعث افزایش تهویه طبیعی می‌شوند.

• تحلیل نمونه‌های موردی در CFD

پس از تعیین ویژگی‌های مربوط به نمونه‌های موردی، از روش CFD به منظور تحلیل الگوی جریان عبوری درون هر نمونه استفاده شد. ابتدا مدل‌های سه‌بعدی از نمونه‌های موردی، ساخته و سپس هر کدام در یک تونل باد با دامنه محاسباتی

نمونه‌های موردی استفاده شد که در این ارتباط از نرم‌افزار Autodesk CFD 2018 بهره گرفته شد. در روش CFD، اعتبارسنجی نرم‌افزار موضوعی ضروری به‌شمار می‌رود. بر همین اساس از داده‌های تجربی به‌دست آمده از گام نخست برای اعتبارسنجی نرم‌افزار استفاده شد.

نمونه‌های موردی در این پژوهش براساس شرایط آب و هوایی شهر بوشهر شبیه‌سازی شدند. براساس داده‌های سازمان هواشناسی، میانگین دمای روزانه در ماه جولای در شهر بوشهر معادل ۴۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین سرعت هوا در این ماه ۲/۱ متر بر ثانیه است (شاعری و همکاران، ۱۳۹۶). در کلیه شبیه‌سازی‌ها، زاویه باد صفر درجه در نظر گرفته می‌شود ($\theta = 0^\circ$).

$$U(y) = \frac{u_{ABL}^*}{k} \ln\left(\frac{y + y_0}{y_0}\right) \quad (۱) \text{ فرمول}$$

$$k(y) = \frac{u_{ABL}^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad (۲) \text{ فرمول}$$

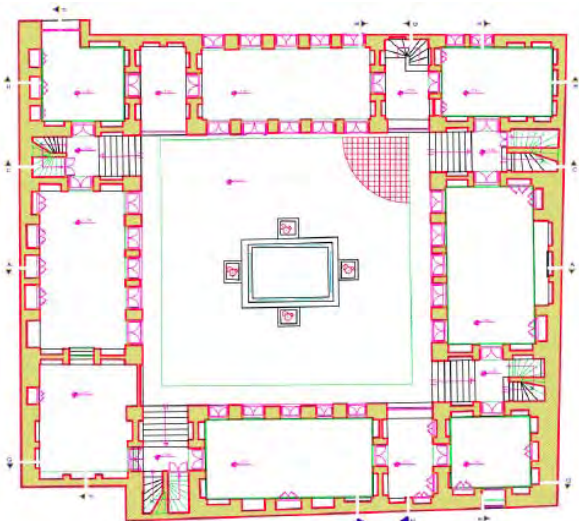
$$\varepsilon(y) = \frac{u_{ABL}^{*3}}{k(y + y_0)} \quad (۳) \text{ فرمول}$$

• معرفی نمونه‌های موردی پژوهش

با توجه به اینکه متغیر مستقل در این پژوهش، تناسبات طولی و عرضی حیاط مرکزی است بنابراین ۱۱ الگو مطابق جدول ۲ و تصویر ۶ به‌عنوان نمونه‌های موردی تحقیق تعیین شد. با توجه به پلان تقریباً مربع خانه گلشن (به‌عنوان نمونه تجربی تحقیق) در این پژوهش نمونه ۶ با پلان مربع، به‌عنوان نمونه مرجع مدنظر قرار گرفته است. سایر نمونه‌ها براساس تغییر در نسبت طول به عرض حیاط از ۰/۵ تا ۲/۱ شکل گرفته است که علاوه بر ارائه مشخصات عددی نمونه‌های موردی در جدول ۲، در تصویر ۶ تغییرات شکلی تناسبات حیاط در نمونه‌های موردی مشاهده می‌شود. در این خصوص ذکر این نکته ضروری است که در تعیین نمونه‌های موردی، ثابت بودن مساحت حیاط در نمونه‌ها یک اصل تعیین‌کننده به‌شمار می‌رفت و تناسبات طولی و عرضی حیاط در نمونه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که مساحت حیاط در تمام نمونه‌ها ثابت باشند. همچنین با توجه به ثابت بودن طول اتاق هدف (Target Room) در نمونه‌ها، کمترین وجه ممکن در تعیین ابعاد حیاط، ۵/۵ متر (معادل طول اتاق مذکور) در نظر گرفته شد. از سویی با توجه به ثابت بودن جهت باد در شبیه‌سازی نمونه‌ها، کشیدگی حیاط در نمونه‌ها در دو حالت کشیدگی در راستای باد غالب و کشیدگی در حالت عمود بر باد غالب در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

همانطور که در بخش روش تحقیق گفته شد، در نخستین گام (تصویر ۷) از این پژوهش به اعتبارسنجی نرم‌افزار پرداخته می‌شود. بر همین اساس داده‌های تجربی برداشت‌شده از خانه گلشن در روز ۱۶ خرداد ۱۴۰۲ مربوط به فضای حیاط مرکزی و اتاق پنج‌دردی مستقر در طبقه اول جبهه شمالی خانه با داده‌های حاصل از شبیه‌سازی خانه در محیط CFD مقایسه



تصویر ۱. پلان خانه گلشن در شهر بوشهر. مأخذ: آرشیو نگارندگان.



تصویر ۲. حیاط مرکزی در خانه گلشن. مأخذ: آرشیو نگارندگان.

به ابعاد ۵HWT و ۱۰HWT در بالادست و پایین‌دست، ۵HWT در طرفین و ارتفاع قرار داده شد. با توجه به ابعاد ۱۴×۱۴×۶/۵ متر برای ساختمان مرجع، ابعاد دامنه محاسباتی بررسی‌شده در این پژوهش ۳۴۱/۵×۷۸×۸۳/۵ متر مکعب در نظر گرفته شد. همچنین در تعریف شرایط مرزی از یک الگوی یکنواخت جریان در ورودی دامنه به‌میزان ۳ متر بر ثانیه و فشار استاتیکی صفر در بخش انتهایی دامنه استفاده شد. در ساخت شبکه مش در دامنه محاسباتی از مش شش‌وجهی استفاده شده است که تعداد سلول‌ها در نمونه‌های موردی تحقیق ۱۰۲۵۴۱۲ تا ۱۳۹۸۱۲۵ در نوسان بود (تصویر ۵). در این پژوهش از مدل RANS در حل معادلات استفاده شده است؛ همچنین از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ در شبیه‌سازی و تحلیل نمونه‌های موردی بهره گرفته شده است. در فرمول‌های ۱ تا ۳ سرعت باد (U)، انرژی جنبشی (K) و مدل توربولانسی (E) استفاده‌شده در نرم‌افزار ارائه شده است. در فرمول‌های ۱ تا ۳، y ارتفاع سنجش باد، UABL سرعت اصطکاک، K ثابت فون-کارمن (۰/۰۴ تا ۰/۲۴) و C_M یک مقدار ثابت از مدل $k-\mu$ است.

جدول ۲. مشخصات مربوط به نمونه‌های موردی تحقیق. مأخذ: نگارندگان.

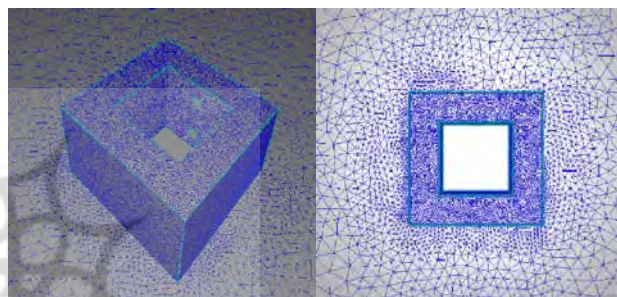
شماره نمونه	طول حیاط	عرض حیاط	ارتفاع بنا	نسبت طول به عرض
نمونه ۱	۵/۵	۶/۱۱	۶/۵	۰/۵
نمونه ۲	۶	۱۰/۷	۶/۵	۰/۶
نمونه ۳	۶/۷	۹/۹	۶/۵	۰/۷
نمونه ۴	۷/۷	۹/۳	۶/۵	۰/۸
نمونه ۵	۷/۵	۸/۶	۶/۵	۰/۹
نمونه ۶	۸	۸	۶/۵	۱
نمونه ۷	۸/۶	۷/۵	۶/۵	۱/۱
نمونه ۸	۹/۳	۷/۱	۶/۵	۱/۳
نمونه ۹	۹/۹	۶/۷	۶/۵	۱/۵
نمونه ۱۰	۱۰/۷	۶	۶/۵	۱/۸
نمونه ۱۱	۱۱/۶	۵/۵	۶/۵	۲/۱



تصویر ۳. برداشت میدانی از سرعت هوا در خانه گلشن. مأخذ: آرشيو نگارندگان.



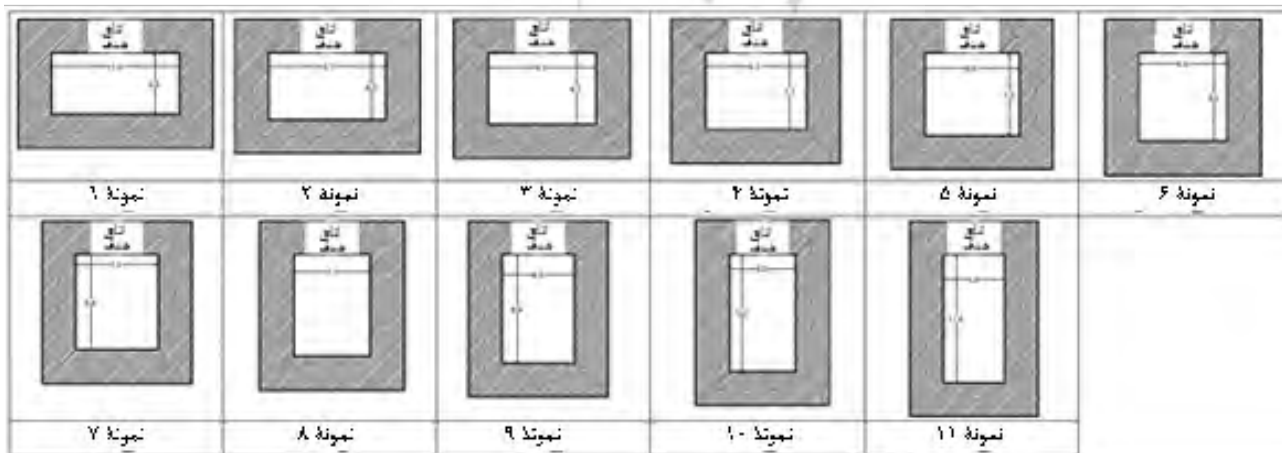
تصویر ۴. بادسنج تستو مدل ۴۰۵۱. مأخذ: آرشيو نگارندگان.



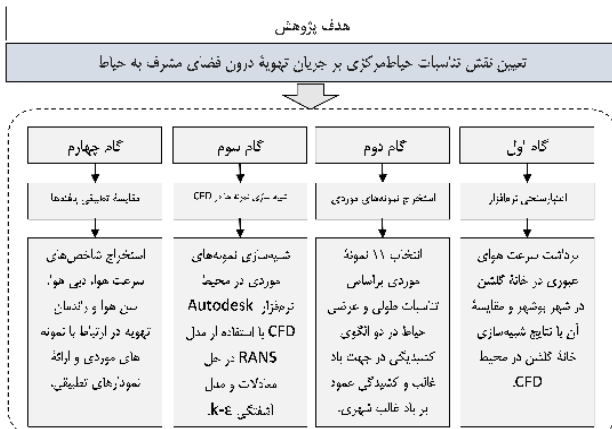
تصویر ۵. الگوی مش در نمونه مینا با ۱۲۸۹۱۲۴ سلول. مأخذ: نگارندگان.

موضوع نشان از دقت شبیه‌سازی و در نتیجه، تأیید نرم‌افزار استفاده‌شده در این پژوهش برای تحلیل نمونه‌های موردی دارد. در ادامه و پس از تأیید اعتبار نرم‌افزار، به تحلیل نمونه‌های موردی پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه در این پژوهش، کیفیت تهویه در فضای داخلی خانه مدنظر است لذا دو متغیر سرعت هوا و بازدهی تهویه به‌عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت تهویه در فضای داخلی تحلیل شده است.

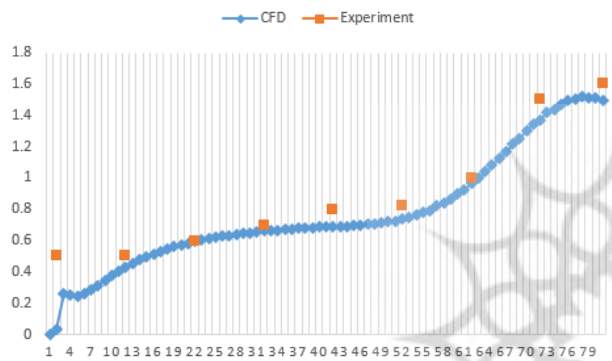
شده است. در این مقایسه متغیر سرعت جریان هوا بررسی شده است که نتایج آن در تصاویر ۸ و ۹ مشخص شده است. همانطور که از تصاویر ۸ و ۹ مشخص است، نتایج تجربی و داده‌های CFD در هر دو فضای بررسی‌شده در این پژوهش انطباق بالایی دارند به‌نحوی که میزان خطای به‌دست آمده از تطبیق نتایج عددی و تجربی در ارتباط با حیاط و اتاق پنج دری، به ترتیب ۷ درصد و ۹ درصد محاسبه شده است. این



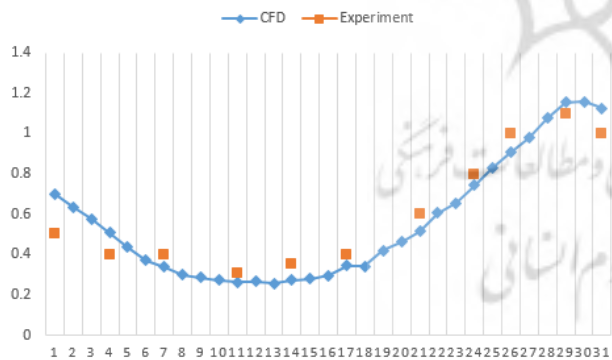
تصویر ۶. تغییرات شکلی تناسبات حیاط در نمونه‌های موردی تحقیق مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۷. نمودار فرایند تحقیق. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۸. تطبیق نتایج برداشت میدانی و داده‌های CFD در ارتباط با شاخص سرعت هوا در حیاط خانه گلشن. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۹. تطبیق نتایج برداشت میدانی و داده‌های CFD در ارتباط با شاخص سرعت هوا در اتاق واقع در جبهه شمالی طبقه اول خانه گلشن. مأخذ: نگارندگان.

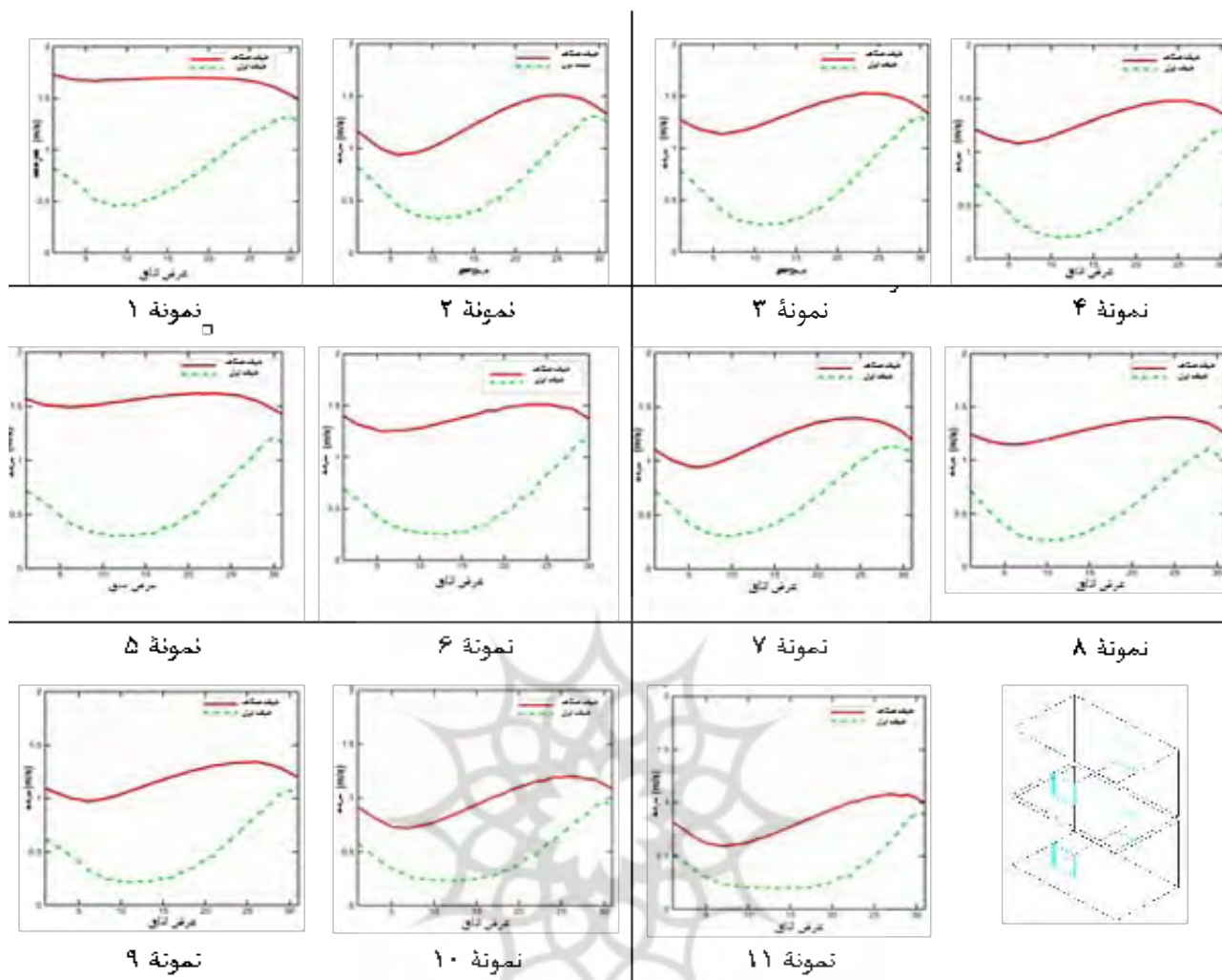
هوای درون اتاق به مدت زمان واقعی تغییر هوای درون اتاق به دست می‌آید (Heidari & Eskandari, 2022). در این ارتباط می‌توان از فرمول های ۴ تا ۶ بهره برد که در آن‌ها، ε مقدار راندمان تهویه در هر فضا است که به صورت درصد بیان می‌شود، T_m حداقل زمان ممکن برای تغییر هوای درون فضا، T_r مدت زمان واقعی تغییر هوای درون فضای مدنظر است، V حجم فضای مدنظر و Q دبی هوای ورودی به آن در زمان تحلیل است.

تصویر ۱۰. نمودار مقادیر عددی سرعت هوا در حد فاصل دو بازو در دو اتاق طبقه همکف و طبقه اول را در نمونه‌های موردی نمایش می‌دهد؛ همچنین تصویر ۱۱ کانتورهای عرضی سرعت جریان هوا در نمونه‌های موردی را نمایش می‌دهد. همانگونه که از داده‌های تصویر ۱۰ مشخص است، در تمام نمونه‌های موردی، مقادیر عددی سرعت هوا در اتاق مستقر در طبقه اول بیشتر از مقادیر به دست آمده در طبقه همکف است. به عبارتی می‌توان چنین برداشت کرد که در الگوهای حیاط مرکزی، میانگین سرعت هوا در فضاهای موجود در طبقه اول بیشتر از طبقه همکف است. این موضوع می‌تواند دلیل استقرار فضای مهمان (پنج‌دری) در طبقه اول در خانه‌های سنتی شهر بوشهر (مانند خانه گلشن) باشد.

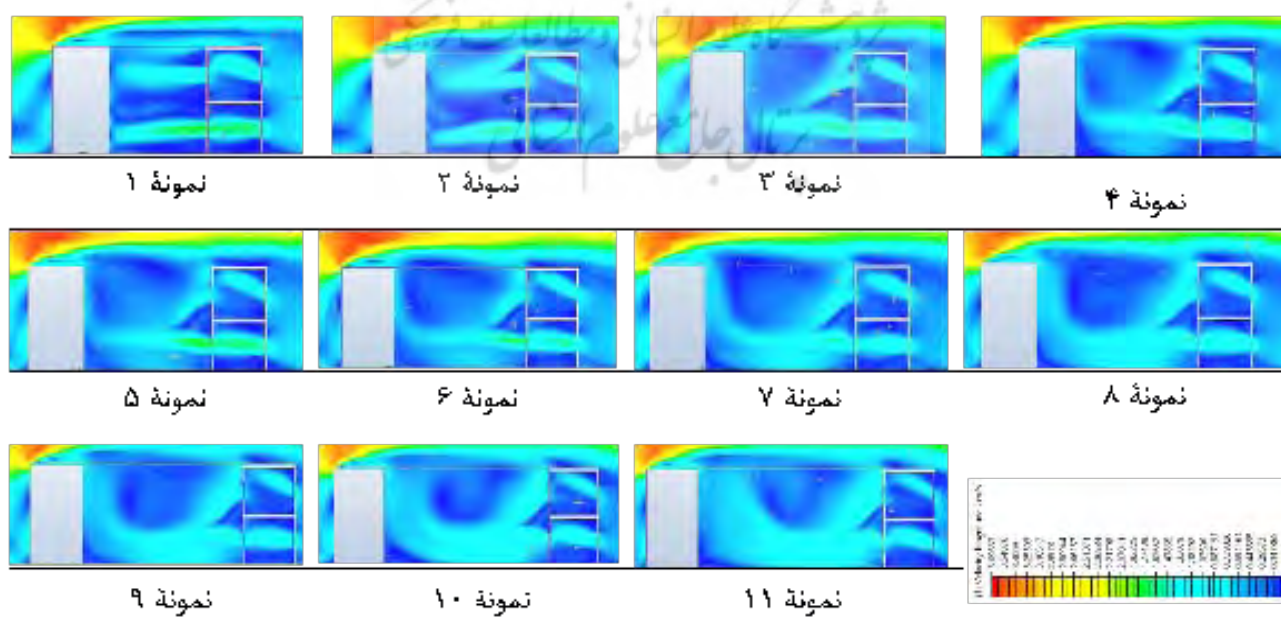
پس از بررسی مقادیر عددی سرعت هوا و الگوی گرافیکی جریان هوا در اتاق‌های بررسی شده در نمونه‌های موردی، به مقایسه مقادیر میانگین به دست آمده برای سرعت هوا در نمونه‌های موردی با توجه به تغییرات تناسبات حیاط در آن‌ها پرداخته می‌شود. این موضوع در نمودار ارائه شده در تصویر ۱۲ نمایش داده شده است. همچنین در تصاویر ۱۳ و ۱۴ به ترتیب مقادیر میانگین سن هوا و دبی هوای ورودی به اتاق در نمونه‌های موردی نمایش داده شده است. به منظور تحلیل بهتر نمونه‌های موردی براساس تغییرات الگوی تناسبات حیاط در این نمودارها، نمونه مرجع در قالب نمونه ۶ نمایش داده شده است. بر این اساس از نمونه ۱ تا نمونه ۱۱ به ترتیب از مقادیر عرض حیاط کاسته و بر طول حیاط اضافه شده است. به بیانی دیگر از نمونه ۱ تا نمونه ۱۱، کشیدگی حیاط از حالت عرضی به حالت طولی در امتداد مسیر وزش باد تغییر کرده است (لازم به ذکر است جهت وزش باد در نمونه‌های مذکور ثابت در نظر گرفته شده است).

همانطور که از تصاویر ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مشخص است، با تغییر در کشیدگی حیاط از عرضی به طولی (نمونه ۱ تا نمونه ۱۱) میانگین سرعت هوای درون اتاق و دبی هوای ورودی به اتاق، کاهش یافته است (تصاویر ۹ و ۱۳)؛ این در حالی است که در ارتباط با میزان سن هوای درون اتاق، تغییرات معنی‌داری مشاهده نشده است. بنابراین می‌توان چنین عنوان کرد که با افزایش کشیدگی حیاط در امتداد جریان باد غالب، میزان دبی هوای ورودی و سرعت هوای درون اتاق کاهش می‌یابد؛ در حالی که اگر کشیدگی حیاط در جهت عمود بر باد غالب باشد، میزان دبی هوای ورودی به اتاق و نیز سرعت هوای درون اتاق افزایش می‌یابد.

پس از بررسی تغییرات سرعت هوا، سن هوا و دبی هوای ورودی به درون اتاق در نمونه‌های موردی، در این بخش به تحلیل بازدهی تهویه در اتاق‌های بررسی شده در هر کدام از نمونه‌های موردی پرداخته می‌شود. بنا بر ادبیات موجود، بازدهی تهویه از تقسیم حداقل زمان ممکن برای تغییر



تصویر ۱۰. مقادیر عددی سرعت هوا در حد فاصل بازشوهای موجود در اتاق‌های طبقه همکف و طبقه اول در نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۱. کانتور سرعت هوا در فضای حیاط و اتاق‌های طبقه همکف و طبقه اول مستقر در جبهه پشت به باد در نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

با توجه به فرمول های ۴ تا ۶، میزان راندمان تهویه برای هر یک از اتاق های موجود در طبقات همکف و طبقات اول نمونه های موردی تحلیل شده است که نتایج آن در تصویر ۱۵ نمایش داده شده است.

با توجه به تصویر ۱۵، یافته های زیر قابل ذکر است:

- با افزایش کشیدگی حیاط در امتداد جریان هوای خارج، میزان راندمان تهویه درون فضا افزایش یافته است به نحوی که نمونه ۱۰ و نمونه ۱۱، نسبت به سایر نمونه های موردی دارای بیشترین راندمان تهویه و نمونه ۲ و نمونه ۳، دارای کمترین

$$T_m = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول (۴)}$$

$$T_r = 2(T_m) \quad \text{فرمول (۵)}$$

$$\varepsilon = \frac{T_m}{T_r} \times 100 \quad \text{فرمول (۶)}$$

راندمان تهویه هستند. بنابراین روند افزایش راندمان تهویه با تغییر الگوی کشیدگی حیاط از حالت عمود بر باد به حالت در امتداد باد، در این نمودار به وضوح دیده می شود.

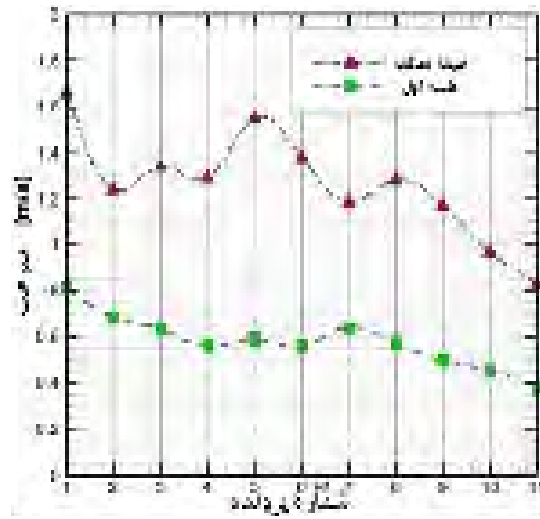
- بر خلاف تفاوت های محسوسی که در مقادیر سرعت، دبی و سن هوا در اتاق های موجود در طبقات همکف و طبقات اول در نمونه های موردی مشاهده شد، این موضوع در ارتباط با راندمان تهویه در نمونه های موردی مشاهده نشده است؛ به عبارتی دیگر، تغییرات راندمان تهویه در اتاق های بررسی شده در طبقه همکف و طبقه اول نمونه های موردی مشابه یکدیگر بوده و تفاوت بسیار کمی میان دو اتاق بررسی شده در نمونه های موردی مشاهده شده است.

بحث و نتیجه گیری

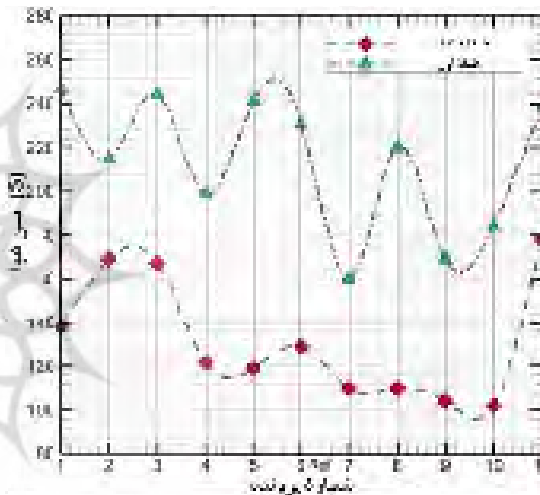
هدف اصلی در این پژوهش، تعیین نقش تناسبات حیاط مرکزی بر جریان تهویه درون فضای مشرف به حیاط است. برای این منظور تعداد ۱۱ نمونه موردی شامل ۵ نمونه با الگوی کشیدگی در امتداد باد غالب، ۵ نمونه با الگوی کشیدگی عمود بر باد غالب و یک الگوی مربع شکل به عنوان الگوی پایه (برگرفته از الگوی مربع شکل خانه گلشن در شهر بوشهر) برای تحلیل انتخاب شد. مهم ترین یافته های تحقیق به شرح زیر قابل ارائه است:

- تفاوت محسوسی میزان سرعت هوا، سن هوا و دبی هوای ورودی به اتاق های موجود در طبقه همکف و طبقه اول نمونه های موردی مشاهده شده است؛ به نحوی که در ارتباط با تمامی شاخص های مذکور، مقادیر به دست آمده در اتاق موجود در طبقه اول بیشتر از مقادیر به دست آمده طبقه همکف است.

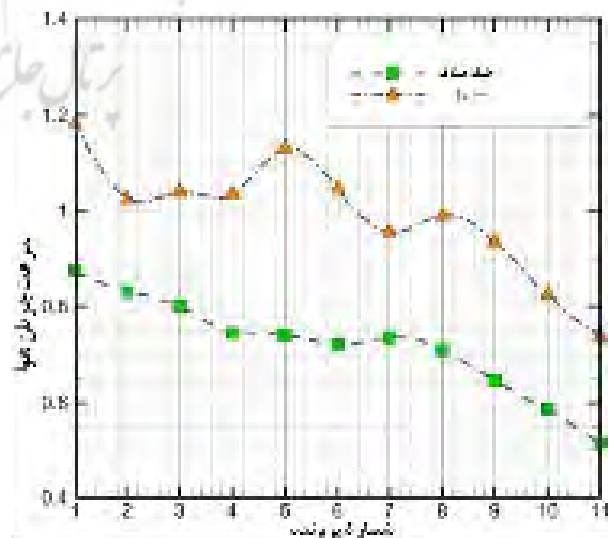
- در ارتباط با شاخص راندمان تهویه، تفاوت محسوسی در مقادیر به دست آمده در طبقه همکف و طبقه اول مشاهده نشده است.



تصویر ۱۲. تغییرات میانگین سرعت هوا در اتاق های طبقه همکف و طبقه اول در نمونه های موردی. مأخذ: نگارندگان.



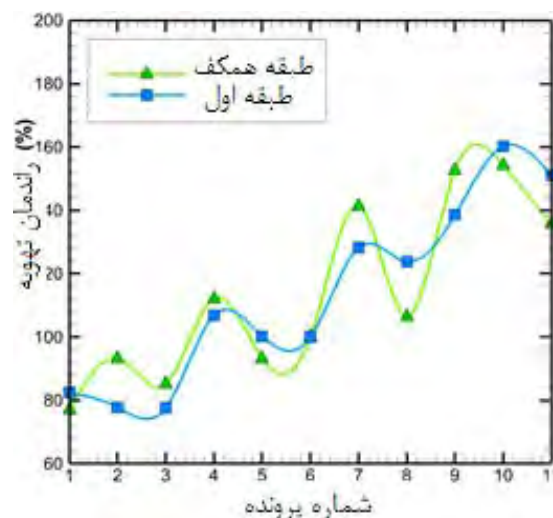
تصویر ۱۳. تغییرات میانگین سن هوا در اتاق های طبقه همکف و طبقه اول در نمونه های موردی. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۴. تغییرات دبی هوا در اتاق های طبقه همکف و طبقه اول در نمونه های موردی. مأخذ: نگارندگان.

فهرست منابع

- خاکسفیدی، سعیده؛ وثیق، بهزاد و تابان، محسن. (۱۳۹۹). طراحی بهینه حیاط مرکزی در ساختمان های مسکونی در برابر باد ۱۲۰ روزه زابل براساس تحلیل CFD. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۷(۱)، ۱۹۷-۲۱۲. <https://sid.ir/paper/407839/fa>
- رهایی، امید. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کالبدی حیاطهای مرکزی بر الگوی جریان هوای داخل آنها در خانه های دوران قاجار اصفهان با روش CFD (مورد پژوهی: خانه لباف). *معماری و شهرسازی پایدار*، ۹ (۲)، ۲۵-۴۶. <https://doi.org/10.22061/jjsaud.2021.6012.1597>
- شاعری، جلیل؛ یعقوبی، محمود؛ علی آبادی، محمد و وکیلی نژاد، رزا. (۱۳۹۶). بررسی دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد در ساختمان های سنتی مسکونی بوشهر در فصل گرما (نمونه موردی عمارت گلشن و عمارت دهدشتی). *نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۲(۴)، ۹۳-۱۰۵. <https://doi.org/10.22059/jfaup.2018.229533.671660>
- مردانی، علی و روسایی، امین. (۱۴۰۰). تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه های سنتی شوشتر. *مطالعات شهر ایرانی اسلامی*، ۱۲(۴۳)، ۷۱-۸۰. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.222.80-71.8639.1399.10.40.5.9>
- نیکقدم، نیلوفر. (۱۳۹۴). استخراج الگوهای اقلیمی فضاهای عملکردی در خانه های بومی بندر بوشهر با به کارگیری نظریه داده بنیاد. *باغ نظر*، ۱۲(۳۲)، ۷۷-۹۰. <https://sid.ir/paper/125636/fa>
- نیکقدم، نیلوفر. (۱۳۹۵). تأثیر باد و آفتاب در تعدیل شرایط گرمایی خانه های بوشهر. *نشریه علمی-پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۲(۱۲)، ۲۹-۴۶. <https://doi.org/10.30475/isau.2017.62028.46-29>
- Abro, R. S. (1994). Recognition of passive cooling techniques. *Renewable Energy*, 5(5-8), 1143-1146. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90142-2](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90142-2)
- Fathy, H., Shearer, W., & Sultan, A. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. University of Chicago Press.
- Heidari, A. A., & Eskandari, H. (2022). Impact of inlet and outlet opening height variation on the air quality and ventilation efficiency in the on-top wind catcher buildings: A CFD simulation. *Science and Technology for the Built Environment*, 28(10), 1420-1438. <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2089592>
- Lopez-Cabeza, V. P., Rivera-Gomez, C., Roa-Fernandez, J., Hernandez-Valencia, M., & Herrera-Limones, R. (2023). Effect of thermal inertia and natural ventilation on user comfort in courtyards under warm summer conditions. *Building and Environment*, 228, 109812. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109812>
- Moonen, P., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2011). Evaluation of the ventilation potential of courtyards and urban street canyons using RANS and LES. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.05.001>



تصویر ۱۵. مقادیر راندمان تهویه برای هر کدام از اتاق های موجود در طبقات همکف و طبقات اول نمونه های موردی. مأخذ: نگارندگان.

مهم ترین یافته تحقیق، ارتباط میان راندمان تهویه و کشیدگی حیاط در امتداد باد غالب شهری است. به این معنی که با افزایش کشیدگی حیاط مرکزی در امتداد باد غالب شهری، راندمان تهویه در فضای داخلی مستقر در محور اصلی حیاط افزایش می یابد. به نظر می رسد علت این موضوع، هدایت بهتر جریان هوا به فضای مدنظر به واسطه کشیدگی حیاط در امتداد باد غالب شهری باشد. زیرا در چنین حالتی، حیاط مانند یک کریدور حرکتی برای عبور جریان هوا است و باعث ایجاد کوران در امتداد حیاط می شود؛ این موضوع باعث هدایت بهتر جریان هوا به سمت بازشوی اتاق مدنظر، شده است و با توجه به کم بودن سطح جداره مقابل باد، بخش زیادی از هوای عبوری در قالب دبی هوا وارد اتاق می شود. بنابراین با افزایش دبی هوای ورودی، راندمان تهویه درون اتاق افزایش می یابد. در مقابل، در نمونه های موردی با کشیدگی در جهت عمود بر باد، جریان هوای عبوری از حیاط با سطح بیشتری از جداره مقابل آن برخورد کرده و بخش زیادی از انرژی جنبشی آن بر اثر برخورد با این جداره صلب دمپ می شود. این موضوع باعث کاهش دبی هوای ورودی به اتاق و در نهایت باعث کاهش راندمان تهویه در نمونه های موردی با کشیدگی عمود بر باد غالب شهری می شود.

لازم به ذکر است پژوهش های آتی می توانند از دو جنبه بررسی شوند:

- ۱- کاربرد شبیه سازی در ساختمان های جنوب ایران و جمع آوری داده ها برای سایر خانه های حیاط مرکزی در منطقه.
- ۲- لزوم حل نه تنها مشکلات فنی و همچنین اجتماعی-فرهنگی در حفظ شکل مسکن حیاط در منطقه گرم و مرطوب جنوب ایران برای استفاده بیشتر ساکنان این منطقه.

org/10.1016/j.jweia.2010.12.012

- Nosek, S., Klukova, Z., Jakubcova, M., & Janour, Z. (2022). The effect of courtyard buildings on the ventilation of street canyons: A wind-tunnel study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 220, 104885. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104885>
- Sharples, S., & Bensalem, R. J. S. E. (2001). Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: A wind tunnel study. *Solar Energy*, 70(3), 237-244. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00092-X)
- Soflaei, F., Shokouhian, M., & Shemirani, S. M. M. (2016). Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 225-238. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002>

org/10.1016/j.foar.2016.02.002

- Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A., & Sailor, D. J. (2014). Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*, 103, 108-124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033>
- Zamani, Z., Heidari, S., & Hanachi, P. (2018). Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 580-595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.055>
- Zhu, J., Feng, J., Lu, J., Chen, Y., Li, W., Lian, P., & Zhao, X. (2023). A review of the influence of courtyard geometry and orientation on microclimate. *Building and Environment*, 236, 110269. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110269>



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:
عبدلی، سید سجاد؛ شهابزاده، مرجان و اسکندری، حمید. (۱۴۰۳). تأثیر تناسب و کشیدگی حیاط بر بازدهی تهویه فضای داخل در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم و مرطوب. *باغ نظر*، ۲۱(۱۳۶)، ۳۹-۴۸.

DOI:10.22034/bagh.2024.457619.5605
https://www.bagh-sj.com/article_204860.html?lang=fa

