تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر*

علی مردانی[1]* (نویسنده مسئول)، امین روسایی[2]

[1] گروه معماری، واحدآبادان، دانشگاه آزاد اسلامی ، آبادان، ایران.
[1] گروه معماری، واحدآبادان، دانشگاه آزاد اسلامی ، آبادان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹)

چکیده

حیاط مرکزی یکی از الگوهای کهن و ارزشمند معماری اقلیمی ایران و به عنوان عنصر کالبدی در سازماندهی ساختار فضای خانه‌های سنتی ابعاد مختلفی از نیازهای زیستی، اجتماعی و فرهنگی را پاسخ داده است. هندسه حیاط مرکزی (شکل و تناسبات) به عنوان اصلی‌ترین شاخصه طراحی همواره بر عملکرد میزان انرژی تابشی جذب شده، شرایط مناسب آسایش حرارتی، و الگوی حرکت جریان هوا تاثیرگذار است. از این رو پژوهش حاضر ارتباط بین تناسبات حیاط و الگوی جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر را مورد ارزیابی قرار داده است. جهت دست یابی به یافته‌های دقیق‌تر در بناهای موجود، خانه‌های نعنایی، رضوان، امین‌زاده، بقال به عنوان نمونه‌های مورد مطالعه در یک دوره تاریخی، با حداقل مداخله در ساختار فضایی آن‌ها انتخاب گردید. روش تحقیق این پژوهش با توجه به ماهیت میان رشته‌ای آن، یک روش ترکیبی است: در مرحله اول پس از مشاهدات اولیه با استفاده از راهبرد تجربی متغیرهای مستقل تاثیرگذار (شکل، تناسبات) حیاط‌ها شناسایی و متغیرهای وابسته (سرعت جریان باد) توسط دستگاه دیجیتال باد سنج اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی دقیق‌تر داده‌ها شبیه سازی این پژوهش با روش دینامیک سیالات محاسباتی CFD و با استفاده از نرم افزارهای Design Modeler و Fluent صورت پذیرفت و جریان هوای داخل حیاط‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، خانه‌هایی که دارای حیاط‌های چهارطرف ساخت با تناسبات طول به عرض ۱/۰۸ و ۱/۲ دارای مطلوب‌ترین شرایط توزیع جریان هوا و حیاط‌های سه طرف ساخت با طول به عرض ۱/۰۱و ۱/۱۳ از نظر توزیع یکنواخت جریان هوا از شرایط نامطلوبی در فصول گرم سال در شهر شوشتر برخوردار هستند. تغییرات صورت گرفته در تناسبات و الگوی هندسی حیاط‌ها بر شرایط کیفیت جریان هوا و شرایط آسایش حرارتی ساکنان تأثیرگذار بوده است.

واژگان کلیدی: الگوی هندسی، حیاط مرکزی، جریان هوا، خانه‌های شوشتر.

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی معماری با عنوان " تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر " است که توسط آقای علی مردانی و آقای امین روسایی باحمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان انجام یافته است.

** *E-Mail: ali_mardani4563@yahoo.com*

مقدمه

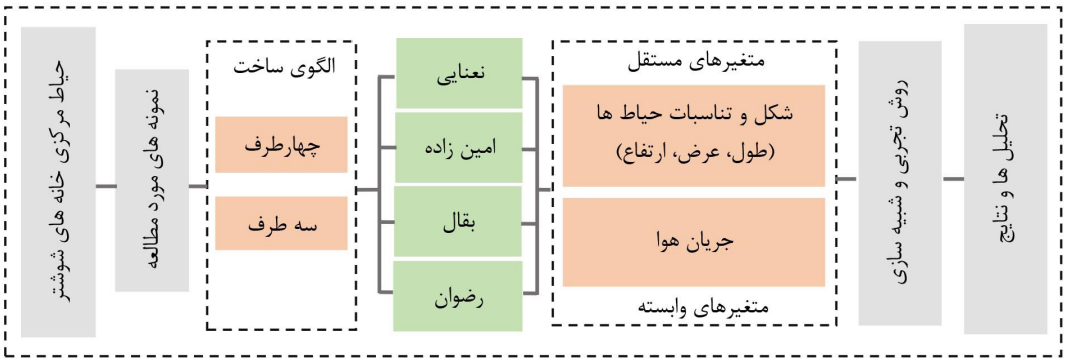
ساختمان‌ها بخش قابل توجهی از کل انرژی مصرفی در کشورهای مختلف را به خود اختصاص داده اند. بنابراین، یافتن راه‌حل‌هایی برای صرفه جویی در انرژی این بخش تأثیر قابل توجهی در مصرف کل انرژی دارد (Kheirkhah & Nasrollahi, 2020). با نگاهی به الگوهای معماری گذشته در شهرهای ایران، صرفه جویی در مصرف انرژی به شیوه‌های گوناگونی مورد توجه قرار گرفته است. در این شهرها فرم ساختمان‌ها و عناصری شاخص در کالبد معماری بناها چه به لحاظ ظاهر و چه به لحاظ نحوه ترکیب فضاهای گوناگون با یکدیگر، زمینه‌ی کاهش مصرف انرژی را فراهم می‌ساخته که کاربرد عمده آنها، رفع نیازهای اقلیمی و تأمین شرایط آسایش محیطی است. معماران گذشته با استفاده از تجربه و مهارت خود با در نظر گرفتن تمامی شرایط، خانه‌ها را به گونه‌ای طراحی می کردند تا بتوانند شرایط محیطی درون بنا را به گونه‌ای متعادل سازند و سطح کیفیت زندگی ساکنان را ارتقاء بخشند (Akbari & Teshnehdel, 2018). یکی از الگوهای ارزشمند معماری سنتی ایران و سازگار با اقلیم، «حیاط مرکزی «است، که به عنوان عنصری تفکیک ناپذیر در معماری ایرانی و یکی از روشهای بهره‌گیری از سامانه‌های ایستا می‌باشد، که با استراتژی‌های مختلف موجب کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌شود. این عنصر به واسطه بهره‌گیری از سامانه‌های سرمایش تبخیری، تهویه عبوری، سرمایش تابشی و سایه اندازی به خنک سازی و کاهش بار سرمایشی ساختمان کمک می کند (سلیقه و سعادت جو، ۱۳۹۹). در این میان مولفه‌های کالبدی حیاط مرکزی اعم از شکل کلی حیاط و تناسبات نقش موثری در بهبود کیفیت جریان هوا در فضاهای داخلی دارد (Sadatjoo & et al, 2016). در خانه‌های مناطق گرم و نیمه مرطوب، با شرایط آب و هوایی سخت استفاده از حیاط یکی از راهکارها به منظور ایجاد سایه و نفوذ حداقل تابش خورشید به داخل ساختمان و استفاده از جریان طبیعی هوا در جهت تعدیل مولفه‌های اقلیمی (درجه حرارت و رطوبت) و ارتقاء سطح آسایش حرارتی و کیفیت هوای محیط ساخته شده مدنظر قرار داده شده است (Mofidi Shemirani & Nikghadam, 2013). در واقع حیاط با تغییر اقلیم به ریز اقلیمی در اطراف ساختمان سبب افزایش جریان هوای درون ساختمان می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه تحقیقات نظام مندی در زمینه بررسی و تحلیل نحوه عملکرد عنصر حیاط مرکزی در مواجهه با شرایط محیطی در خانه‌های شوشتر صورت نگرفته است؛ راهکارهای بکار رفته در معماری تاریخی این شهر می‌تواند الگوهایی تاثیرگذار در طراحی معماری مدرن ارائه دهد. این پژوهش در پی آن است تا نقش الگوی هندسی (ابعاد و تناسبات) حیاط مرکزی در میزان کیفیت جریان هوا را که نقش موثری بر شرایط آسایش حرارتی افراد دارد مورد بررسی قرار دهد. تحلیل‌ها بر روی نمونه‌های مورد مطالعه و با استفاده از راهبرد تجربی و شبیه سازی انجام گرفته و نتایج حاصل از آن ارائه شده است.

پرسش‌های پژوهش

- کدام الگوی هندسی حیاط مرکزی در خانه‌های تاریخی شوشتر عملکرد جریان هوای بهتری را نشان می‌دهد؟
- تناسبات حیاط مرکزی خانه‌های شوشتر چه تأثیری بر کیفیت جریان هوا دارد؟

روش تحقیق

مقاله حاضر عنصر کالبدی حیاط در خانه‌های سنتی شوشتر را مورد مطالعه قرار داده است و هدف آن بررسی تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا می‌باشد. از آنجا که «بسیاری از پژوهش‌های معماری بین رشته‌ای بوده و نیازمند روش‌های خاص ترکیبی» هستند (Grote, 2013: 370)، روش تحقیق این پژوهش به‌صورت ترکیبی است. در راستای این پژوهش ۴ مورد از خانه‌های حیاط دار تاریخی شوشتر با الگوی چهار طرف و سه طرف ساخت به عنوان نمونه‌های مطالعاتی انتخاب و با استفاده از راهبرد تجربی متغیرهای مستقل تاثیرگذار (شکل و تناسبات) حیاط‌ها شناسایی و متغیرهای وابسته (سرعت جریان باد) اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش شبیه سازی جریان هوای داخل فضای حیاط‌ها با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی CFD و توسط نرم افزار Fluent (ویرایش ۲۰۲۰) صورت پذیرفت. ابتدا توسط برنامه دیزاین مدلر۱ حجم معماری خانه‌های مورد مطالعه مدل سازی گردید سپس توسط برنامه فلوئنت مشینگ۲ شبکه مش بندی انجام گرفت و از مدل $k-\varepsilon$ استاندارد برای شبیه سازی و تحلیل جریان هوا استفاده شد. در نهایت نتایج تحقیق ارائه گردید. تدابیر مورد استفاده در پژوهش نیز مطالعات کتابخانه‌ای، مشاهده، برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری‌ها و شبیه سازی است (تصویر۱).



تصویر شمارهٔ ۱: دیاگرام مراحل روش تحقیق

پیشینه تحقیق

در دهه اخیر تحقیقات مشـابه بسیاری با موضوع حیاط مرکزی صورت پذیرفت که بسـیاری از پژوهشگران به موضوع خانه‌های حیاط مرکزی ایران پرداخته اند. مروری بر نوشـته‌ها و تحقیقات مختلف نشـان می‌دهد که در این بناها، جریان هوا از طریق تهویه طبیعی که معمولاً به سبب فشار منفی هوا (مکش)، ایجاد می‌شود اتفـاق می‌افتد. همچنین تعامل فاکتورهای مختلف مانند هندسـه حیاط مرکزی، تعیین کننده رفتـار ترمودینامیک و توزیع دما در حیاط مرکزی است (Tablada & et al, 2005). فتاحی و همکاران در مقاله خود " نقش هندسه و نوع فضاهای باز شهری بر آسایش حرارتـی و کیفیت محیطـی در بافت تاریخی کاشـان" را مورد مطالعـه قرار دادند (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۹). زمانی و همکاران با استفاده از شـبیه سازی به تحلیل و بررسی عملکرد خرد اقلیمی حیاط مرکزی در حوزه علمیه معمار باشی تهران پرداختند (زمانی و همـکاران، ۱۳۹۹). خاکسـفیدی و همـکاران در پژوهشـی با استفاده از شبیه ساز سیالات Flow 3D به تدوین گونه بهینه حیاط مرکزی ساختمان‌های مسـکونی زابل در برابر بادهای ۱۲۰ روزه پرداختند (خاکسفیدی و همکاران، ۱۳۹۹). کرمی راد و همکاران نیز در مقاله خود با عنوان"ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره‌ی قاجاریه" نشان داده اند در حیاط خانه‌هایی که دارای کمترین ضریب دید آسمان و مساحت هسـتند علاوه بر اینکه سایه اندازی بیشتری دیده می‌شود، شرایط آسـایش حرارتی بیرونـی بهتری را برای سـاکنین تامین می‌کند (کرمـی‌راد و همکاران، ۱۳۹۸). ملکی و همکاران در پژوهشـی "عملکرد حیاط و خصوصیـات طراحی آن جهت بهبود عملکرد گرمایـی و آسـایش حرارتی در شـرایط آب و هوایی تهران" را بررسـی کردند (ملکی و همـکاران، ۱۳۹۶). تابان و همکاران در مقالـه‌ای با عنـوان "تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسـکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط" به این نتیجه دست یافتند، بناهایی که حیاط آن‌ها دارای نسبت ۱تا ۴/۱ میان طول و عرض (حیاط با فرم مربعی شـکل) و نسبت طول به ارتفاع ۲/۱ تا ۱/۱ (عمق متوسـط) باشد مناسب‌ترین میزان سایه در فصول گرم بر روی کف و جداره‌ها ایجاد خواهد شـد (تابان و همـکاران، ۱۳۹۲). اکبری و تشـنه دل عملکـرد اقلیمی حیاط مرکزی خانه‌های سـنتی کاشان و اردبیل را بر اساس شاخصه‌های سـایه انـدازی تابش آفتـاب با اسـتفاده از شـبیه سـازی مورد تحلیـل و ارزیابی قـرار دادنـد (Akbari & Teshnehdel, 2018). آریانـی و همـکاران مطالعه‌ای در زمینه نقـش حیاط مرکزی در جایجایـی جریان هـوا در فضای خانه‌های اندونـزی انجام دادند (Aryani & et al, 2017). الحفیث و همکاران در مقاله‌ای با بررسی هندسـه و جهت‌گیری حیاط مرکزی خانه‌های بغداد با استفاده از شبیه سازی به این نتایج رسیدن که موثرترین پارامتر در سایه اندازی نسبت عرض حیاط به طول آن است (Al-Hafith & et al, 2017). مطالعات انجام گرفته توسط سـفلایی و همکارانش نشان می‌دهد که حیاط‌های مرکزی سـنتی ایران با توجه به اهمیت جهت‌گیری و ویژگی‌های هندسـی در خصوص پارامترهای فیزیکی و طبیعی به عنوان یک سیسـتم خنـک کننده منفعل موثر طراحی شـده‌اند (Soflaei & et al, 2016). ژو و همکاران، با اسـتفاده از روش CFD بهترین عمکرد حیاط در مناطق سـرد و گـرم چین ارزیابی کردند (Xiaodong & et al, 2018). الحفیـث و همـکاران در مقالـه‌ای با بررسی هندسه و جهت‌گیری حیاط مرکزی با استفاده از شبیه‌سازی به این نتایج رسـیدن که موثرترین پارامتر در سـایه اندازی نسبت عرض حیاط به طول آن است (Al-Hafith & et al, 2019).

مبانی نظری پژوهش

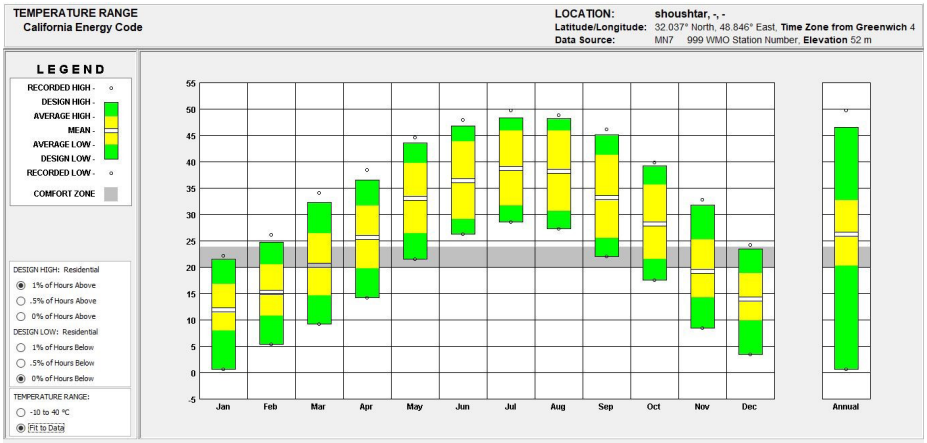
اسـتفاده از منابع و انرژی‌های طبیعی به عنوان یکی از الگوهای سـاخت و سـازماندهی فضایی در خانه‌های سنتی است (حنیف، ۱۳۹۷). با مطالعه بناهای تاریخی ایران، نقش و جایگاه مهم حیاط در سـازماندهی فضاهـای خانه با توجه به اقلیم و شـرایط آب و هوایی نمایان می‌شـود و شـرایط اقلیمی هر منطقه و نحوه تعامل با طبیعت باعـث ایجاد گونه‌های مختلف جانمایی حیاط نسـبت به قرارگیری فضاهای خانه شده اسـت (صالحی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). از دیـدگاه محیطـی، حیاط مرکزی به منزله دسـتگاهی کارآمد و پاسـخده، عـلاوه بر اینکه وظیفه خـود را در حفاظت سـاکنین از شرایط نامسـاعد جوی و محیطی در مناطق گوناگون به خوبی انجام داده اسـت (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷)، به عنوان یکـی از راهکارهـا در افزایش بهره وری انرژی و بهبود شـرایط زندگی در محیط داخلـی و همچنین در مواجهه با تابش و دمای هوا و کنترل آن توسـط جریان باد دارای اهمیت می‌باشد و مانند یک سیسـتم غیر فعال خورشیدی در صرفه جویی مصرف انرژی عمـل می‌نمایـد (Ghazanfari & Kaboli, 2019). تهویـه طبیعی و گـردش هـوا در بنا یکـی از موثرترین راه کارهـا برای تحقق پایداری و توجه به محیط زیسـت است. این پدیده براساس شیوه انتقـال گرما از طریق همرفت، عمل می‌کنـد و با جابه جایی هوا باعث دفع گرما می‌شـود (رهسـپار منفرد و همکاران، ۱۳۹۹). در معمـاری بومی ایران بخصوص در مناطـق گرم همراه با رطوبت، تهویـه طبیعـی یکی از فاکتورهـای مهم در طراحی بنا به شـمار می‌آید. چرا که ضمن تامین آسایش، در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها نیز موثر خواهد بود. اثر بخشـی تهویه طبیعی به شدت به روند طراحی بستگی دارد و قادر است بین ۲۰ تا ۶۰٪ انرژی مورد نیاز سـاختمان را تامین کند (دل افـروز هود و همکاران، ۱۳۹۹). جریـان هوا در بناها علاوه بر اینکـه باعث تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط می‌شود، تأثیر فراوانی بر احساس آسایش حرارتی دارد. در این میان اسـتخراج تناسـبات حیاط و تأثیر آن بر جریان هوا می‌تواند به یافتن رابطه بین طراحی‌های جدید در ساختمان‌ها کمک نماید (پسـران و همـکاران، ۱۳۹۸). در اقلیم‌های گرم در صورتی که نسـبت طول به عرض حیاط‌ها به درستی تعیین شود، ایجاد سـایهٔ بهینه بر روی کف و جداره‌های سـاختمان، از دمای

دیوارها و لایه‌های هوای اطراف آن کاسته و ایجاد کوران و تهویهٔ طبیعی، سبب کاهش دمای هوا در حیاط و در نتیجه بهبود شرایط حرارتی در فضاهای اطراف می‌گردد (اخوت و زینلیان، ۱۳۹۶).

شهر شوشتر از نظر موقعیت جغرافیایی در منطقه گرم و نیمه مرطوب قرار گرفته است و خصوصیات آب و هوایی (گرما و رطوبت) از مهم‌ترین عوامل شکل‌گیری معماری بومی و ساختمان‌های مسکونی این شهر است. در این راستا به منظور کنترل تابش و رطوبت در فضاهای داخل و خارج بناها از ایجاد خرده اقلیم در جهت آسایش حرارتی در محیط بیرونی، جلوگیری از انتقال حرارت ناشی از تابش بر روی سطوح به فضای داخل ساختمان، سرد شدن سطوح در شب از طریق ایجاد امکان تابش به آسمان صاف و ایجاد امکان برای تهویه عبوری جهت پایین آوردن میانگین دمای روزانه فضای داخل استفاده شده است. آنچه که در بافت شهری و معماری سنتی شوشتر مشهود می‌باشد، این است که با وجود توجه به ایجاد سایه برای جلوگیری از تابش مستقیم بر روی سطوح، ایجاد کوران و تهویه طبیعی برای دفع رطوبت نیز مورد توجه بوده است (تابان و همکاران، ۱۳۹۸). معماری خانه‌های شوشتر نیز به تبعیت از شرایط اقلیمی منطقه به صورت درونگرا است و «فرم بنا در این منطقه به صورت حیاط مرکزی جهت حداکثر استفاده از سایه و کوران هوا شکل گرفته است. در اطراف حیاط مرکزی اتاق‌های با ارتفاع زیاد و پنجره‌های بلند و کشیده، با ایوان‌های وسیع و مرتفع، قرار دارد» (عطاریان و صفرعلی نجار، ۱۳۹۷). حیاط مرکزی در خانه‌های شوشتر به عنوان راهکاری مناسب با ایجاد خرد اقلیم مطلوب آسایش فیزیکی را در فضای مسکونی سنتی این منطقه فراهم آورده و تأثیرات اقلیمی از دو جهت بر روند شکل‌گیری حیاط مرکزی در خانه‌های شوشتر تاثیرگذار بوده اول: این که برای ایجاد شرایط بهتر اقلیمی، در اغلب بناها، جهت‌گیری ساختمان قابل توجه بوده است، دوم: مشخصه معماری سنتی شوشتر ساخت فضاهایی در اطراف حیاط مرکزی برای استراحت و انجام کارهای روز مره است و تمام اتاق‌ها بازشوهایی رو به حیاط دارند که باعث ایجاد تهویه درونی اتاق‌ها می‌شود. «علاوه بر این در نظر گرفتن تناسبات مناسب حیاط‌ها به گونه‌ای که بهترین عملکرد را در برابر شرایط تابش خورشید از نظر نیاز به سایه داشته باشد، از اهمیّت بالایی برخوردار است» (تابان و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین الگوهای عمدهٔ معماری حیاط در خانه‌های شهر شوشتر بیشتر بصورت مستطیل و مربع است که با مفاهیم و اصول هندسی طرح ریزی شده اند و محور بندی از مهم‌ترین ویژگی‌های الگوهای هندسی حیاط‌ها می‌باشد. با این وجود برخی از حیاط‌های ساخته شده در این منطقه، هندسی نیستند و ممکن است شکل نامنظمی داشته باشند (مهدوی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). لذا با توجه به شرایط اقلیمی شهر شوشتر، می‌توان این گونه بیان کرد که اقلیم)تک لایه بودن بنا جهت کوران طبیعی هوا (از خصوصیات بارز محور اصلی خانه‌های شوشتر بوده که سبب شده حیاط به عنوان یک فضا با عملکردهای گوناگون از جمله اقلیمی، زیستی و ارتباطی مطرح گردد. علاوه بر این حیاط مرکزی به عنوان یکی از عناصر کالبدی مهم به گونه‌ای عمل می‌کرده که علاوه بر کنترل تابش شرایط تهویه طبیعی و تأثیر آن بر کاهش رطوبت در فضای داخلی حیاط را به حداقل رسانده و شرایط آسایش را برای ساکان فراهم آورد.

شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شهرستان شوشتر در ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و با مساحت ۳۵۳۸ کیلومتر مربع در شمال استان خوزستان قرار گرفته و دارای تابستان‌های طولانی و به شدت گرم و زمستان‌های نسبتاً معتدل است. میانگین ارتفاع شهرستان شوشتر از سطح دریا ۰۱۵ متر می‌باشد و تحت تأثیر بادهایی چون شمال و جنوب قرار دارد و باد شمال باعث بالا رفتن دمای هوا می‌شود اما باد جنوب درجه حرارت را نسبت به وزش باد شمال یک تا سه درجه کاهش می‌دهد اما به دلیل عبور از روی خلیج فارس مقدار رطوبت نسبی را افزایش می‌دهد و باد نامطلوب غرب است. با توجه به قرارگیری نسبی این شهر در ارتفاع ساختار شهر از رون راسته تبعیت می‌کند (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲). با بررسی در بناهای بافت سنتی شوشتر در می یابیم که جهت غالب بناها ۲۵ تا ۳۵ درجه چرخش نسبت به محور شمال و کشیدگی در راستای

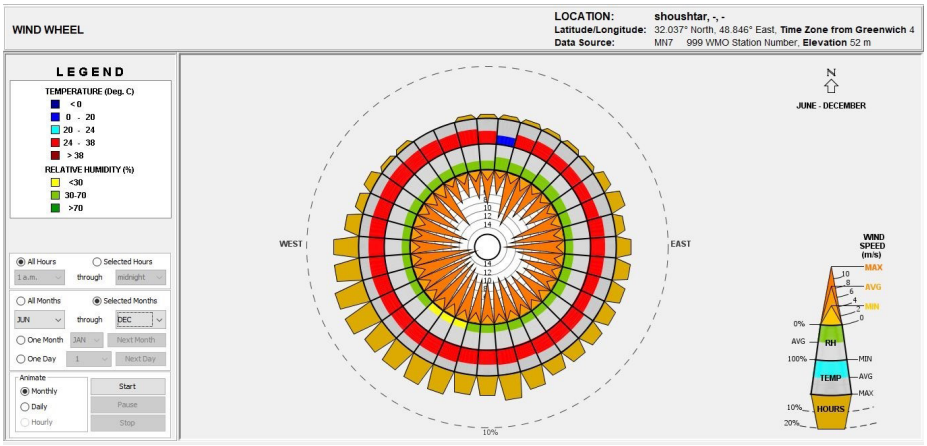


تصویر شمارهٔ ۲: نمودار دما درماه‌های سال در شهر شوشتر نرم افزار کلایمیت کانسالتنت نسخه ٦

شـمال شـرقی- جنوب غربی اسـت (تقی‌زاده و تقوایی، ۱۳۹۸) میانگیـن بالاترین دما در بازه زمانی مربوط بـه اوایل تیر تا مرداد ماه برابر با ۰۴ درجه سـانتی گراد گرم‌ترین و دی و بهمن با ۱۳٫۷ درجه سـانتی گراد سردترین ماه سال می‌باشند (تصویر ۲). به طور متوسط میانگین سالانه دمای هوا در شهرستان شوشتر ۲۶٫۸ درجه سـانتیگراد و به طور متوسـط سالانه رطوبت نسـبی منطقه ۳۸٫۶ درصد اسـت. نمودار جهت وزش بادهای محلی شهر شوشتر در تصویر ۳ نشـان می‌دهد، جهت وزش بـاد غالب در طول غرب و جنوب غربی به سمت شرق با متوسط سرعت ۵/۳ m/s می‌باشد.

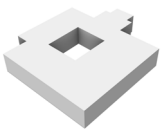
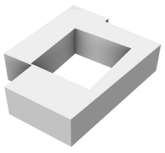
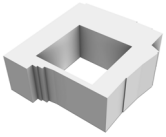
بررسی نمونه‌های موردی

حیاط مرکزی خانه‌های شوشـتر دارای ابعـاد و الگوهای فضایی متفاوت از نظر ساخت می‌باشند. همین امر باعث شده تناسبات میان جداره‌ها نیز تغییر یابد، که احتمالاً می‌توانسته تأثیر مستقیمی بر نحوهٔ ارتباط هندسـه فضای حیاط با جریان هوا داشته باشد. طبق بررسی‌ها صورت گرفته ۵۰ درصد از حیاط خانه‌های این شـهر دارای نسـبت ۱/۰۱ تا ۱/۰۹ (تقریبا مربع شـکل) و ۴۰ درصد دارای نسـبت ۱/۱۱ تا ۱/۶۷ (مسـتطیلی شکل) می‌باشند. لذا با توجّه به این که هدف این پژوهش، بررسی تأثیر هندسه حیاط مرکزی بر جریان هوا است و به دنبال یافتن الگوی بهینه اقلیمی حیاط از نظر شکل، ابعاد و تناسبات در خانه‌های سنتی شوشتر می‌باشد، در این پژوهش ۴ نمونه از خانه‌های تاریخی ارزشمند شوشتر (نعنایی، رضوان، امین‌زاده، بقال) نسبتاً سالم بـا حداقل مداخله در سـاختار فضایی آن‌ها و بر اسـاس الویت‌های زمانی و مکانی انتخاب شـدند. خانه‌های مورد مطالعه متعلّق به دوره تاریخی قاجار می‌باشند. نمونه‌های انتخاب شده همگی به ثبت سازمان میراث فرهنگی رسیده اند و از لحاظ ساختاری، دارای الگوی چهار طرف ساخت و سه طرف ساخت که بیشترین فراوانی الگوی حیاط در خانه‌های شوشـتر تشـکیل داده اند. در ادامه منظور دست یابی به داده‌های تکمیلی تناسـبات حیاط‌ها شـامل طول حیاط (L)، عرض حیاط (W)، نسـبت طول به عرض و ارتفاع جداره‌های مجاور حیاط (L/H) و (W/H) استخراج گردید و در جداول (۱و۲) مشخصات هر یک از نمونه‌ها بر اساس اسناد کتابخانه‌ای و نقشه‌های برداشت شده سازمان میراث فرهنگی ارائه شدند.

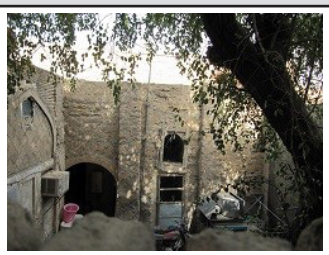
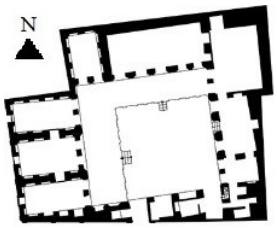
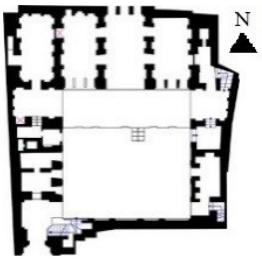


تصویر شمارهٔ ۳: نمودار متوسط سرعت جریان باد در شهر شوشتر

جدول شمارهٔ ۱: مشخصات حیاط مرکزی نمونه‌های موردی خانه‌های شوشتر

نام خانه	الگوی حیاط	طول (L)	عرض (W)	ارتفاع حیاط	تناسبات	نسبت L/H	نسبت W/H
خانه نعنایی		۶/۷	۵/۳	۳/۱۰	۱/۲	۲/۲	۱/۷
رضوان		۱۳/۸۵	۱۲/۷۱	۶/۴۱	۱/۰۸	۲/۱۴	۲
خانه امین زاده		۱۳	۱۲/۸	۸/۶۵	۱/۰۱	۱/۵	۱/۵
بقال		۹/۱۶	۸/۰۹	۵/۶۰	۱/۱۳	۱/۶	۱/۴۶

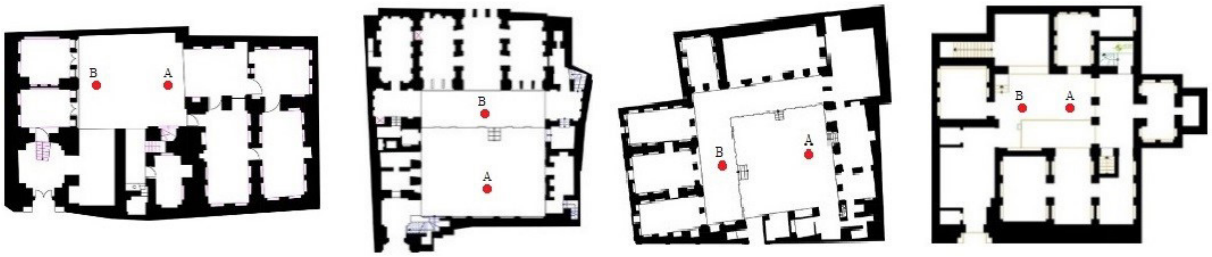
جدول شمارهٔ ۲: مشخصات حیاط مرکزی نمونه‌های موردی خانه‌های شوشتر

نام خانه	دوره	پلان	تصویر حیاط	توضیحات
نعنایی	قاجار			خانه نعنایی از بناهای دوره قاجار است که در محله کوره قرار دارد . این بنا به نام مالک اصلی آن ، آقای نعنایی خوانده می‌شود. خانه به صورت یک حیاط مرکزی است که اتاق‌ها در اطراف آن قرار گرفته اند (سازمان میراث فرهنگی شوشتر، ۱۳۸۹).
رضوان	قاجار			این بنا از آثار دوره قاجاریه و در کوچه اوراضی (قسمت غربی محوطه آبشارها) قرار دارد این خانه دارای ۱۰ اتاق و دارای حیاط کوچکی می باشد که اطراف آن را سکویی فراگرفته که بر روی آن اتاق هایی تعبیه گشته .قسمت شرقی بنا دو طبقه می باشد (سازمان میراث فرهنگی شوشتر، ۱۳۸۹).
امین زاده	قاجار			خانه امین زاده در محله کندال قرار گرفته و از بناهای شاخص در معماری شوشتر است.خانه امین زاده در دوران قاجار توسط شخصی بنام امین زاده ساخته شده است (سازمان میراث فرهنگی شوشتر، ۱۳۸۹).
بقال	قاجار			این خانه که از خانه های ارزشمند بافت قدیم شوشتر می باشد در محله دلدل که از محله های موگهی می باشد واقع است . خانه در ضلع غربی خیابان سنگفرش واقع است به طوری که با عبور از چند کوچه به این خانه با ارزش میرسیم. (سازمان میراث فرهنگی شوشتر، ۱۳۸۹).

آزمون‌های تجربی و و گردآوری داده ها

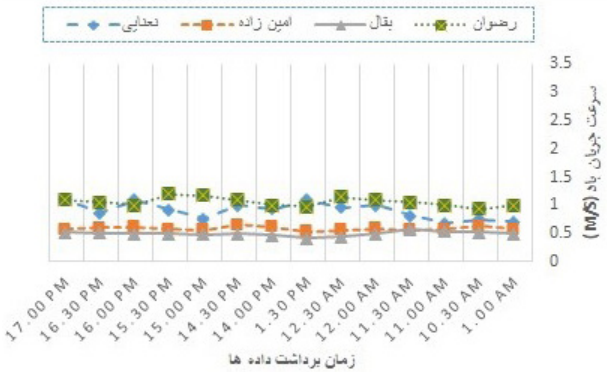
به منظور برداشت داده‌های دقیق پس از انتخاب نمونه‌های موردی با استفاده از روش تجربی نقاطی جهت اندازه‌گیری و برداشت داده‌های مربوط به سرعت جریان هوا در فضای داخلی حیاط‌ها تعیین شد. سپس با استفاده از دستگاه دیجیتالی بادسنج مدل YK-2004AH لوترون[۳] داده‌های مربوط به جریان هوا گردآوری شدند. برداشت داده‌ها در گرم‌ترین روزهای تابستان ۱۳۹۷ در ماه‌های (تیر و مرداد) از ساعت ۱۰ صبح تا ۵ بعدازظهر با فاصله زمانی هر نیم ساعت یک بار انجام گرفته است. نقاط A و B همانطور که در پلان تصویر۸ نشان داده شده است، به ترتیب در ترازهای ۱ متری (ارتفاع سر انسان در حالت نشسته)، ۲ متر (ارتفاع سر انسان در حالت ایستاده) انجام گرفت و نمودار مربوط به داده‌های گردآوری شده توسط نرم افزار اکسل ترسیم شد (تصویر۵-۶).

آزمون‌های تجربی در نمونه‌های مورد مطالعه مطابق تصویر۴ و نتایج نمودارهای ترسیم شده از داده‌ها نشان داد، در نقاط A و B در تراز ارتفاعی ۱ متری کمترین اعداد ثبت شده از نظر سرعت جریان باد مربوط به فضای حیاط خانه‌های بقال و امین زاده است که از وضعیت نسبتا نامطلوبی برخوردار است و نسبت به خانه‌های نعنایی و رضوان در همین تراز ارتفاعی از سرعت کمتری برخوردار می‌باشد (تصویر۵). در تراز ارتفاعی ۱,۵ متری حیاط خانه‌های انتخابی با توجه به نتایج نمودارها اعداد نزدیک

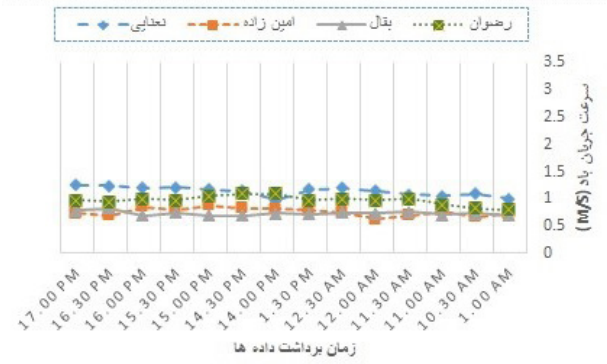


تصویر شمارهٔ ٤: نقاط برداشت داده‌های تجربی جریان هوا در پلان نمونه‌های مورد مطالعه

به هم می‌باشند فقط در بخش‌های نزدیک جداره دیوارهای خانه‌های بقال و امین زاده تغییرات قابل ملاحظه‌ای از نظر کاهش سرعت جریان هوا مشاهده می‌شود (تصویر۶). لازم به ذکر است در تمامی روزهای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا در حیاط نسبت به بام کمتر است. در یک جمع بندی به نظر می‌رسد محصور بودن حیاط از نظر الگوی قرارگیری فضاها در اطراف حیاط و تناسبات (طول، عرض، ارتفاع) تأثیر بسزایی در سرعت و روند جابجایی هوا خواهد داشت.



تصویر شمارهٔ ۵: نمودار سرعت باد برداشت شده در ارتفاع ۱متری از سطح زمین در نمونه‌های مورد مطالعه



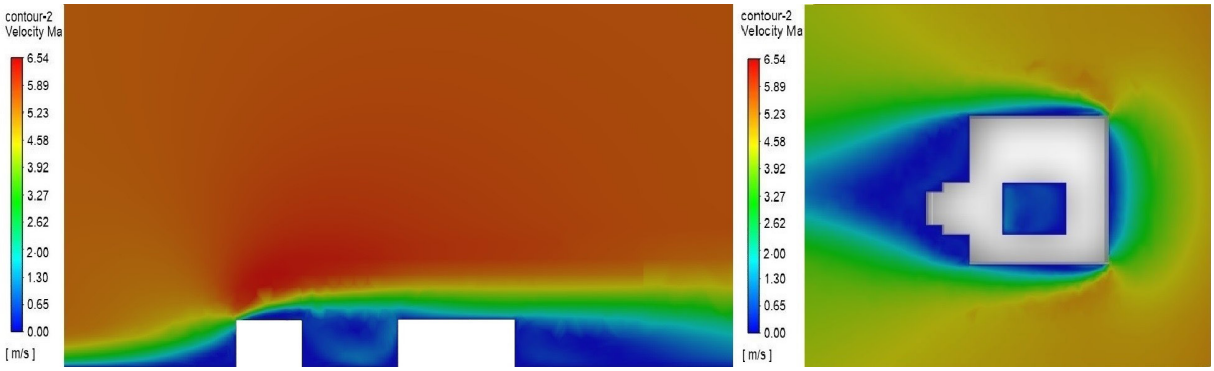
تصویر شمارهٔ ٦: نمودار سرعت باد برداشت شده در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین در نمونه‌های مورد مطالعه

تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه با روش CFD

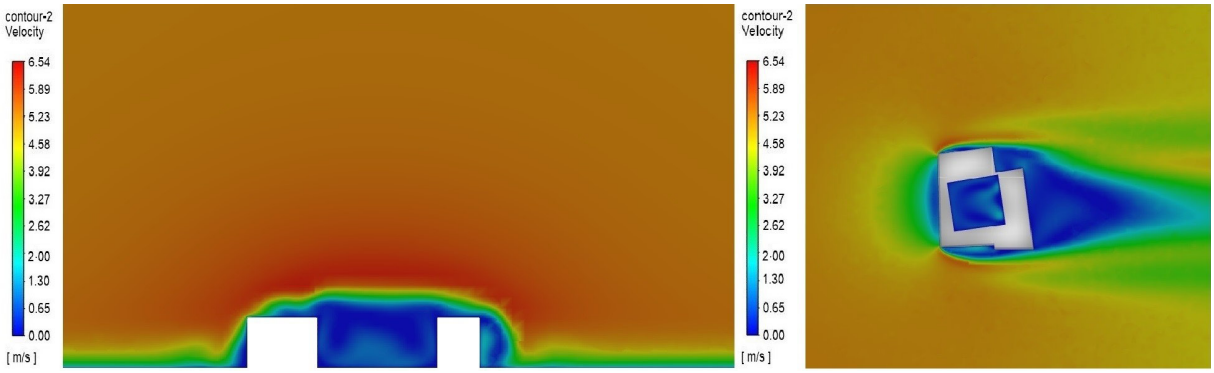
با توجه به اینکه این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هندسه حیاط مرکزی بر کیفیت جریان هوا در خانه‌های شوشتر انجام گرفته است، جهت ارزیابی دقیق داده‌های بدست آمده از راهبرد تجربی و مطابق با ادبیات موضوع جهت اعتبارسنجی و تأیید شرایط وضع موجود از روش (مکانیک سیالات محاسباتی) CFD برای شبیه سازی جریان هوا بر روی نمونه‌های موردی استفاده شده است. به منظور بررسی الگوی جریان باد در داخل فضای حیاط خانه ها، کانتورهای گرافیکی جریان باد به صورت پلان و مقطع در ترازهای ارتفاعی ۱ و ۲ متری از کف تصاویر ۷ تا ۱۰ ارائه شدند، که هدف مقایسه و تحلیل رفتار جریان هوا و دست یابی به الگوی بهینه هندسی حیاط مرکزی در خانه‌های شوشتر است که از نظر تهویه طبیعی عملکرد بهتری دارند. بررسی‌ها نشان داد، تغییر در تناسبات حیاط، رفتار جریان باد در فضاهای پیرامونی آن را به شدت تحت تاثیر قرار میدهد. همانطور که در کنار کانتورهای جریان باد در مقاطع عرضی و پلان شکل‌های ۷ تا ۱۰ مشاهده می‌شود، نمودارهایی قرار دارد که مقدار سرعت جریان هوا در نقاط مختلف فضای حیاط را نشان می‌دهد. مطابق شبیه سازهای صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه، جریان هوا در بخش‌های زیادی از فضای داخلی حیاط‌ها دارای سرعتی در حدود ۰-۲/۵ متر برثانیه به طور متغیر برقرار است. همانطور که در کانتور تصویر۷ مشاهده می‌شود در خانه نعنایی جریان هوا تمرکز بیشتری در بخش میانی کف حیاط تا ارتفاع ۳ متری بام دارد و گردابه‌ای با سرعت ۰٫۸ تا ۱٫۷۰ متر را تشکیل داده اما در نزدیک جداره دیوارهای شمالی و جنوبی در ترازهای ۰٫۵ تا ۱٫۵ متری از کف حیاط سرعت جریان هوا به ۰ تا ۰٫۶۵ متر بر ثانیه می‌رسد، که این شرایط یک اختلاف شاخص از سرعت جریان هوا در فضای داخلی حیاط (محدوده فعالیت ساکنان) به‌وجود آورده است. کانتور شبیه سازی ارائه شده در تصویر ۸ مربوط به خانه رضوان نشان می‌دهد، جریان باد گردابه‌ای بزرگ در فضای میانی و جداره‌های اطراف دیوارهای داخلی حیاط مرکزی در تراز کف تا ارتفاع ۳٫۵ متری را به وجود آورده، که این مقدار از لحاظ عددی ۰٫۹ - ۱٫۳۰ متر بر ثانیه است. در خانهٔ امین زاده مطابق کانتور تصویر۹ بیشترین افت جریان هوا در بخش زیادی از فضای میانه و گوشه دیوارهای حیاط در تراز کف تا روی بام با (رنگ آبی تیره) قابل مشاهده است که سرعت آن به مقدار ۰- ۰٫۶۵متر بر ثانیه می‌رسد و قسمت حداکثری جریان هوا در بخش مرکزی حیاط و جداره دیواره جنوبی از تراز ۱ متر به بالا بصورت گردابه کوچکی با (رنگ آبی روشن) تشکیل شده که سرعت آن از ۱٫۳۰- ۲ متر بر ثانیه متغیر است. دلیل آن الگوی ساخت فضاهای بسته اطراف حیاط است. در واقع توزیع هوا در فضای داخلی حیاط در اثر برخورد با دیواره جنوبی به صورت جریان برگشتی بدون اینکه در ترازهای پایین حیاط جریان داشته باشد، از بخش‌های بالایی حیاط خارج می‌شود. همین امر باعث افزایش دامنه جریان هوا در فضای میانی حیاط در تراز ارتفاعی ۱ متری تا تراز بام و کاهش محسوس فشار سرعت جریان باد در تراز کف حیاط شده است. لازم به ذکر است این شرایط علاوه بر اینکه کاهش کیفیت و عملکرد جریان هوا در محدوده فعالیت ساکنان را در بر دارد، باعث افزایش گرادیان دما می گردد. درکانتور تصویر ۱۰ خانه بقال توزیع جریان باد در کف حیاط تا تراز ۲٫۵ متری با سرعت ۰- ۰٫۶۵ متر بر ثانیه متمرکز است و از تراز ۲٫۵ تا ۵٫۶۰ سرعت جریان هوا در نزدیکی جداره جنوب شرقی و غربی به ۱٫۱- ۱٫۳۰ متر بر ثانیه قابل مشاهده است. بنابراین تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی شبیه سازی‌ها نشان دادند، در خانهٔ نعنایی و رضوان با الگوی چهارطرف ساخت در ترازهای ارتفاع ۱ و ۲ متر سر انسان در حالت (نشسته) و (ایستاده) جریان هوا با سرعت بیشتر و در خانه‌های امین زاده و بقال با الگوی سه طرف ساخت با سرعت کمتری برقرار است. این شرایط تحت تأثیر تناسبات، حیاط و الگوی ساخت فضاهای اطراف حیاط در مقابل جریان هوای ورودی به سمت حیاط به وجود آمده است. برسی‌ها نشان داد، در خانه‌های امین زاده و بقال

در قسمت‌هایی از حیاط که فرد در حالت نشسته و ایستاده قرار دارد با وجود اینکه جریان هوا برقرار است اما شرایط آسایش حرارتی در حد متوسط اســت و در برخی مواقع از ساعات روز به دلیل کاهش سرعت جریان هوا افراد احساس گرما می کنند. این در حالی است، که فضای حیاط در خانه‌های نعنایی و رضوان در شــرایط مناسبی از نظر آسایش حرارتی قرار دارند و جریان هوا در هر دو تراز ارتفاعی با شــرایط مطلوبی برقرار اســت. طبق تحلیل‌های صورت گرفته در حیاط‌های با الگوی هندسی چهار طرف ساخت افزایش طول از ۶/۷ به ۱۳/۸۵متر باعث بهبود جریان هوا در فضای داخلی حیاط شده و ایــن روند با افزایش عرض حیاط بــه ۱۲/۷۱متر به صورت صعودی ادامه می‌یابد. شبیه ســازی‌ها بر روی حیاط‌های با الگوی سه طرف ساخت تصاویر ۷ و ۸ نشان داد، با افزایش طول حیاط از ۹/۱۶ به ۱۳ متر و عرض ۰۹/۸ به ۱۲/۸ متر تغییرات اندکی در افزایش ســرعت جریــان هوا در ترازهای ۱ و ۲ متری حیاط صورت می گیرد، این در حالی اســت که با ادامه روند افزایش طول و عرض حیاط ســرعت جریان در بعضی از قســمت‌های داخل حیاط در ترازهای بالای ۲/۵ متر با شیب مثبت افزایش می‌یابد.

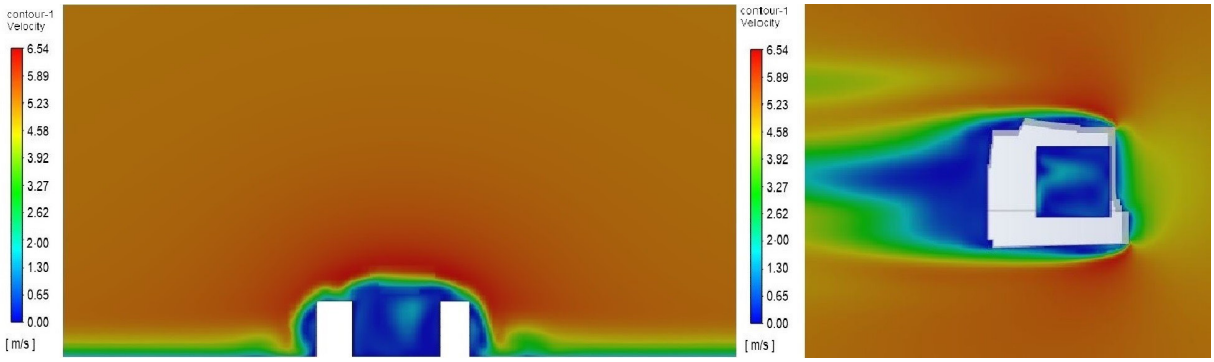
نتایج شبیه سازی‌ها بیانگر آن است، داده‌های کمی بدست آمده از آزمون‌های تجربی و نمودارهای ارائه شده و نتایج حاصل از کانتورهای گرافیکی قابل مقایسه است و اختلاف بسیار اندکی دیده می‌شود. این اختلاف نیز به دلیل خطای آزمون‌ها قابل اغماض می‌باشد. کانتورهای توزیع سرعت جریان باد بیانگر این نکته است، که الگوی جریان هوا در مدل‌های مورد بررســی از روندی نسبتاً متفاوت برخوردار است، که در کانتور تصاویر ۷- ۱۰ در فضای حیاط‌ها خانه‌ها دیده می‌شود. بنابراین طبق تحلیل‌های صــورت گرفته می‌توان گفت حیاط‌های با الگوی چهار طرف ســاخت نســبت به سه طرف ساخت، با بیشترین متوسط ســرعت جریان باد به عنوان گزینه مطلوبی در ماه‌های گرم سال در شهر شوشتر به حساب می‌آیند و تحلیل‌های فوق حاکی از آن است که خانه رضوان با بهره گیری بیشتر از جریان هوا به منظور تهویه طبیعی در ترازهای ارتفاعی سر انسان در حالت (نشسته) و (ایستاده) در



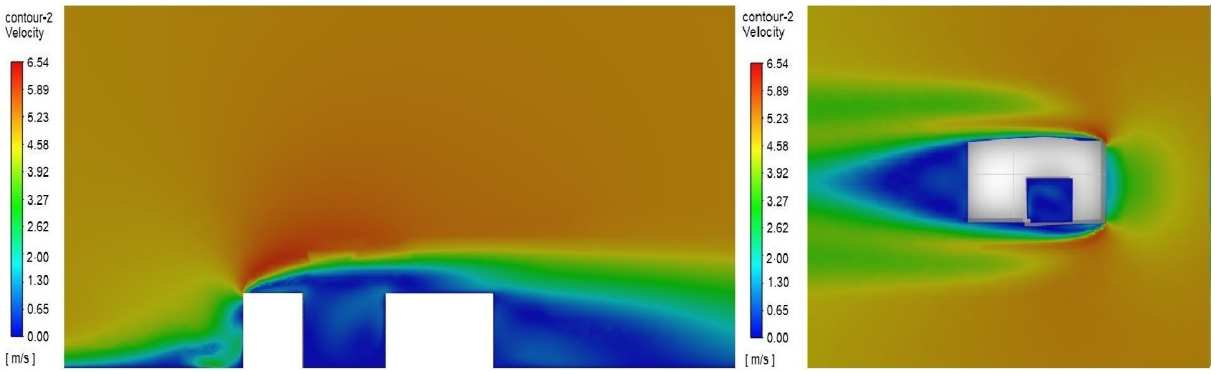
تصویر شمارهٔ ۷: کانتورهای جریان باد خانه نعنایی



تصویر شمارهٔ ۸: کانتورهای جریان باد خانه نعنایی



تصویر شمارهٔ ۹: کانتورهای جریان باد خانه امین زاده



تصویر شمارهٔ ۱۰: کانتورهای جریان باد خانه بقال

فضای داخل حیاط به عنوان مطلوب‌ترین گزینه و خانه بقال با کمترین سرعت متوسط جریان باد به عنوان گزینه ضعیف‌تر از نظر الگوی هندسی حیاط در میان نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشند.

نتیجه گیری

کیفیت و الگوی جریان هوا در فضاهای داخلی علاوه بر شرایط اقلیمی منطقه تحت تأثیر پارامترهای متعددی قرار دارد که هندسه بنا یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آن می‌باشد. حیاط مرکزی به عنوان یکی از عناصر کالبدی معماری موجب استفاده بهتر از کوران هوا شده و یک لایه بودن فضاهای بنا را امکان پذیر می کند و مولفه‌های کالبدی (شکل و تناسبات) آن نقش تأثیرگذاری در بهبود سرمایش ایستا ساختمان دارد. پژوهش حاضر تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر کیفیت جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر را مورد مطالعه قرار داده و جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر با استفاده از روش تجربی و روش CFD به تجزیه و تحلیل نمونه‌های موردی پرداخته است.

بررسی‌ها نشان داد، خانه‌های حیاط مرکزی ساخته شده در شهر شوشتر با فرم مربع بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده اند و جهت غالب آن‌ها شمال شرقی- جنوب غربی است، که بر تابش دریافتی و تهویه طبیعی حیاط‌ها تأثیرگذار بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی‌ها می‌توان به اختلاف مقدار سرعت جریان هوا در فضای داخلی حیاط‌های با الگوهای متفاوت از نظر ساخت اشاره کرد. در واقع می‌توان گفت تغییرات صورت گرفته در تناسبات طول و عرض حیاط‌ها بر اساس نمونه‌های مورد مطالعه تأثیر بسزایی بر شرایط توزیع یکنواخت سرعت جریان هوا و کیفیت آن در ترازهای ارتفاعی داخل حیاط دارد. نتایج شبیه سازی در این پژوهش نشان داد، خانه‌های حیاط مرکزی چهار طرف ساخت دارای تناسبات طول به عرض ۱/۰۸ و ۱/۲ از نظر توزیع جریان هوا عملکرد بهتری داشته و همین امر موجب شده گرادیان دما در فضای داخل حیاط کاهش یابد. اما حیاط‌های سه طرف ساخت با تناسبات ۱/۰۱و ۱/۱۳ در ماه‌های گرم شوشتر در توزیع یکنواخت جریان هوا و شرایط آسایش دمایی دارای عملکرد نامطلوبی می‌باشند که این شرایط ارتباط مستقیم با تناسبات هندسی و جداره‌های حیاط‌ها دارد. طبق برآیند شبیه سازی‌ها مشخص شد، نزدیک‌تر شدن تناسبات حیاط‌های چهار طرف ساخت به نسبت طول به عرض ۱ با ایجاد بیشترین سطح سایه و جریان هوای مطلوب می‌تواند تأثیر بهتری از نظر عملکردی در تأمین شرایط آسایش حرارتی، کاهش دما و بیشترین پتانسیل سرمایش ایستا در ترازهای ارتفاعی افراد در فضای حیاط مرکزی خانه‌های شهر شوشتر داشته باشد و می‌شود به عنوان الگوی مطلوب از نظر ساخت به آن اشاره کرد. بر این اساس می‌توان گفت، تغییرات در ساختار تناسبات هندسی حیاط‌ها می‌تواند بر کاهش یا بهبود کیفیت شرایط آسایش حرارتی و سرمایش ایستا در محیط داخلی تأثیر مهمی داشته باشد. در آخر می‌شود این چنین نتیجه گرفت، که بهره‌گیری از حیاط مرکزی با هدف ارتقاء کیفیت جریان هوا و بهبود شرایط آسایش حرارتی ساکنان از نظر سرمایش ایستا در مواقعی تأثیرگذار است که تناسبات هندسی حیاط‌ها با توجه به راستای محور مطلوب اقلیمی منطقه شکل گرفته باشد. لذا با توجه به اینکه حیاط مرکزی به عنوان یکی از راهکارهای غیرفعال در معماری بومی مناطق ایران جهت بهبود شرایط محیط داخلی از نظر سرمایش و گرمایش است، ایجاد تغییرات در ساختار کالبدی آن میتواند مولفه‌های الگوی هندسی جریان هوا، سایه اندازی را از نظر کیفی به طور قابل ملاحظه‌ای ارتقا بخشد. از این رو مطالعه دقیق‌تر حیاط‌ها از نظر تناسبات با استفاده از شبیه سازی‌ها میتواند به معماران معاصر در طراح‌های جدید به منظور دستیابی به الگوهای شکلی مناسب جهت استفاده بهتر از جریان هوا و ارتقاء شرایط آسایش حرارتی مؤثر واقع شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Design Modeler
2- Fluent Meshing
3- Lutron

فهرست منابع و مراجع

۱. اخوت، هانیه و نفیسه زنلیان (۱۳۹۶)، «ساختارشناسی حیاط در خانه‌های قجری اقلیم گرم و خشک و گرم و مرطوب با تمرکز بر گونه حیاط مرکزی مطالعهٔ موردی: خانه‌های یزد و دزفول»، **فصلنامه شهر ایرانی اسلامی**، (۸) ۳۰، ۲۹-۱۵.

۲. پسران، آرش؛ شهاب کریمی‌نیا؛ الهام ناظمی و شیرین طغیانی (۱۳۹۸)، «ارزیابی وجود مکانیزم طراحی منطبق بر تهویه طبیعی در معماری سنتی شهرهای اقلیم گرموخشک بدون بادگیر (نمونه موردی: فضای بیرونی بناهای چهارطرفه قاجاری شیراز)، **نشریه معماری اقلیم گرم و خشک**، (۷)۹، ۱۰۱-۱۱۹.

۳. تابان، محسن؛ محمد مهرکی‌زاده و سارا نجاریان (۱۳۹۸)، «شناخت عناصر سایه انداز در مسکن سنتی دزفول»، **معماری و شهرسازی آرمانشهر**، ۲۷، ۴۱-۲۵.
۴. تابان، محسن؛ محمدرضا پورجعفر؛ محمدرضا بمانیان و شاهین حیدری (۱۳۹۲)، «تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط»، **فصلنامه باغ نظر**، ۲۷ (۱۰)، ۴۸-۳۹.
۵. تقی‌زاده، علیرضا و ویدا تقوایی (۱۳۹۸)، «محوربندی فضایی، سیر تجلی وحدت در کثرت در معماری خانه‌های سنتی شوشتر (مطالعه موردی: خانه امین زاده و خانه گازر)»، **هویت شهر**، ۴۰ (۱۳)، ۱۰۸-۹۱.
۶. حنیف، احسان(۱۳۹۹)، «مفهوم سکونت و تاثیر آن بر حیاط خانه‌های ایرانی: مطالعه موردی خانه‌های کاشان دوره قاجار»، **نشریه علمی اندیشه معماری**، شماره (۲)، ۳۱-۴۴.
۷. خاک‌سفیدی، سعیده؛ بهزاد وثیق و محسن تابان (۱۳۹۹)، «طراحی بهینه‌ی حیاط مرکزی در ساختمان‌های مسکونی در برابر باد ۱۲۰ روزه زابل براساس تحلیل CFD»، **نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی**، سال هفتم، شماره (۱)، ۱۹-۲۱۲.
۸. رهسپار منفرد، رضا؛ سعید کاردار و ایرج شهروز تهرانی (۱۳۹۹)، «بررسی اصول طراحی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب با رویکرد تهویه طبیعی (نمونه موردی: تحلیل بازشو شبیه سازی شده در بنای مسکونی در شهر آمل)»، **علوم و تکنولوژی محیط زیست**، دوره بیست و دوم، شماره (۱۲)، ۱۴۶-۱۳۳.
۹. زمانی، زهرا؛ شاهین حیدری و پیروز حناچی (۱۳۹۹)، «بررسی عملکرد خرد اقلیمی حیاط مرکزی در اقلیم تهران (نمونه موردی: حوزه علمیه معرباشی)، **علوم و تکنولوژی محیط زیست**، دوره بیست و دوم، شماره (۵)، ۱-۱۴.
۱۰. سلیقه، الهام و پریا سعادت‌جو (۱۳۹۹)، «بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی بر سرمایش ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی:ساختمان‌های یک مرتبه شهربندرعباس)»، **نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی**، ۱۰ (۲)، ۱۵۲-۱۳۷.
۱۱. صالحی‌پور، علی؛ ایرج اعتصام؛ سیدمجید مفیدی شمیرانی (۱۳۹۹)، «بازشناسی ساختار فضای باز و تعامل آن با جداره‌های شفاف در خانه‌های تاریخی شهر اردبیل»، **دو فصلنامه اندیشه معماری**، ۸ (۴)، ۲۰۲- ۲۲۰.
۱۲. عطاریان، کوروش و بهناز صفرعلی نجار (۱۳۹۷)، «تبیین معیارهای پایداری اقلیمی در ابنیه سکونتی اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی: خانه‌های سنتی اهواز)»، **نقش جهان- مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی**، ۸ (۳)، ۱۷۰-۱۶۱.
۱۳. فتاحی، کارن؛ نازنین نصر اللهی؛ مریم انصاری منش؛ جمال خداکرمی و علی عمرانی‌پور (۱۳۹۹)، «بررسی نقش هندسه و نوع فضای باز شهری بر آسایش حرارتی و کیفیت محیطی (مطالعه موردی بافت تاریخی کاشان)»، **فصلنامه مطالعات شهری**، ۸ (۲)، ۸۵-۹۷.
۱۴. کرمی‌راد، سینا؛ بهاره بنازاده؛ هانی زارعی و ابراهیم قزلباش (۱۳۹۸)، «ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره‌ی قاجاریه»، **پژوهش‌های باستان شناسی ایران**، ۲ (۹)، ۲۰۲-۱۸۳.
۱۵. لطفی، کورش؛ منیژه ظهوریان پردل و میترا مکاری (۱۳۹۲)، «تأثیر اقلیم بر معماری و شهرسازی جدید و قدیم شهر شوشتر»، **فصلنامه جغرافیا برنامه‌ریزی منطقه‌ای**، ۴ (۱۲)، ۱۳۰-۱۲۱.
۱۶. ملکی، سیدمحمدرضا؛ بهروز محمدکاری و مهدی معرفت (۱۳۹۶)، «بررسی عملکرد حیاط و خصیصه‌های طراحی آن برای بهبود عملکرد گرمایی و آسایش حرارتی در شرایط آب و هوایی تهران»، **مهندسی مکانیک مدرس**، ۱۷ (۴)، ۳۸۰-۳۶۹.
۱۷. مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ مجید منصورپور و مصطفی مسعودی‌نژاد (۱۳۹۵)، «جایگاه اقلیم در ترکیب بندی بناهای معاصر (مطالعه موردی: خانه‌های دوران قاجار در شهر دزفول)»، **هویت شهر**، ۱۰ (۲)، ۷۴-۶۱.
۱۸. مرادی، ساسان، متین، مهرداد، فیاض، ریما، دهباشی شریف، مزین(۱۳۹۷)، «گونه شناسی خانه های سنتی حیاط دار تبریز بر اساس معیارهای کالبدی موثر بر عملکرد اقلیمی حیاط مرکزی»، **مدیریت شهری**، شماره(۵۱)، ۱۰۵- ۸۷.
۱۹. هود، سیده دل افروز؛ مهناز محمودی زرندی و سعید کامیابی (۱۳۹۹)، «دستیابی به اصول طراحی نماهای دو پوسته با تاکید بر ایجاد تهویه دودکشی در اقلیم گرم و مرطوب»، **فصلنامه علمی و پژوهشی نقش جهان**، شماره۲ (۱۰) ، ۱-۱۱.

20. Al-Hafith O, Satish B.K, Pieter De. (2017). "The Impact of Courtyard parameters on its shading level An experimental study in Baghdad, Iraq". **9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings**, SEB-17, 5-7 July, Chania, Crete, Greece.
21. Akbari H, Teshnehdel S. (2018). "Climatic Compatibility of Courtyard Houses, Based on Shad-ing- sunlit Index; Case Studies: Traditional Houses in Kashan & Ardabil Cities". **Armanshahr Architecture & Urban Development**, 11 (24): 1-13.
22. Aryani S M, Sasongko S, Sulistyono I B, Nur Hidayati N. . (2017), "Courtyard Placement for Maintaining Air Movement of Natural Ventilation inside a Transformed House", **Advances in Economics**, Business and Management Research (AEBMR), Volume 41,
23. Ghazanfari, F., Kaboli, M, H. (2019), "Energy consumption of atria; the case of a commer-cial-office center in the semi-arid climate of Tehran", **Energy Equipment and Systems**, 7 (3), 211-234.
24. Grote, L.V.D. (2013), **Research Methods in Architecture**, (A. R. Eynifar,Trans), Tehran Uni-versity Press, Tehran, Iran.
25. Kheirkhah,P, Nasrollahi,N. (2020). "Windcatchers and their applications in contemporary archi-tecture". **Energy and Built Environment**, 2 - 18.
26. Mofidi Shemirani, S.M. Nikghadam, N. (2013), "Architectural Objectives in Tropical Climates (Comparing Climatic Patterns in Vernacular Houses of Bandar-e-Lenge and Dezful)". **Interna-tional Journal of Architecture and Urban Development**, 3 (3) : 57-64.
27. Saadatjoo, P. Mahdavinejad, J. Njaf Khosravani, SH. Kaveh, N. (2016), "Effect of Courtyard Propor-tion on Neural Ventilation Efficiency", **International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering**, 3 (5): 92-97.
28. Tablada A, Blocken B, Carmeliet,J.Troyer ,F.D.Verschure, H. (2005), "The influence of court-yard geometry on air flow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations. Confer-ence on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon". **The 22ndConference on Pas-sive and Low Energy Architecture**, Beirut, Lebanon.
29. Soflaei F, Shokouhian M, Mofidi Shemirani S.M. (2016), "Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate)", **International Journal of Sus-tainable Built Environment**, 5, 99–113.
30. Xiaodong Xu, Fenlan Luo, WeiWang, Tianzhen Hong, and Xiuzhang Fu. (2018), "Performance-Based Evaluation of Courtyard Design in China's Cold-Winter Hot-Summer Climate Regions", **Sustainability**, 10, 3950.

The pattern effect of central courtyard geometric on the air flow in traditional houses of Shushtar

Ali Mardan *(Corresponding Author)
Department of Architecture, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran.
* E-Mail: *vafaei@kashanu. ac. ir*

Amin Roasaei *(Corresponding Author)
Department of Architecture, Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran.
* E-Mail: *vafaei@kashanu. ac. ir*

Vol. 11, No. 43: Spring 2021

Abstract:
The central courtyard is one of the ancient and valuable models of Iranian climatic architecture and as a physical element in organizing the structure of the space of traditional houses has responded to various dimensions of biological, social and cultural needs. The geometry of the central courtyard (shape and proportions) as the main design feature always affects the performance of the amount of radiated energy absorbed, suitable thermal comfort conditions, and the pattern of air flow movement. Therefore, the present study has evaluated the relationship between yard proportions and airflow pattern in traditional Shushtar houses. In order to achieve more accurate findings in the existing buildings, Nanaee, Rezvan, Aminzadeh, and Baghal houses were selected as the studied samples in a historical period, with minimal intervention in their spatial structure. The research method of this research is a hybrid method due to its interdisciplinary nature. Firstly, the initial observations, using the experimental strategy, the independent variables (shape, proportions) of the yards are identified and the dependent variables (wind flow velocity) have been measured by using digital anemometer device. Secondly, Anemometers are measured. In order to study the data more accurately, the simulation of this research is performed by CFD computational fluid dynamics method by using Design Modeler and Fluent software. Finally, the air flow inside the yards is analyzed. The results show that houses with four-sided construction yards with length to widths of 1.08 and 1.2 have the most favorable air flow distribution conditions and three-sided construction yards with lengths of 1.01 and 1.13 width in terms of uniform air flow distribution suffer .They enjoy unfavorable conditions in the hot seasons of the year in Shushtar. Changes in the proportions and geometric pattern of the yards have affected the air quality conditions and thermal comfort conditions of the residents.

Keywords: Geometric pattern, Central courtyard, Air flow, Shushtar houses.