نشریه معماری اقلیم گرم و خشک
سال هفتم، شماره نهم، بهار و تابستان 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)

آرش پسران[۱]، شهاب کریمی نیا*[۲]، الهام ناظمی[۳]، شیرین طغیانی[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری ، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، گروه معماری ، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- استادیار، گروه شهرسازی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

٤- استادیار، گروه شهرسازی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش نهائی: ۱۳۹۸/۰٦/۱۷)

چکیده

حرکت هوا در ساختمان‌ها توسط دیوارها، کف و سقف‌ها محدود می‌گردد و امکان دارد به صورت ناخوشایندی کند گردد؛ کند شدن علاوه بر تحمیل بار انرژی، می‌تواند در مواقع کمبود انرژی، اثرات منفی بر سلامت ساکنین داشته باشد. تهویه طبیعی به معماران کمک می‌کند تا با روشهای صحیح، هزینه انرژی مورد نیاز برای ایجاد شرایط آسایش در ساختمان را به حداقل برسانند. در ساختمان‌های حیاط مرکزی، شکل و تناسبات حیاط بر الگوی حرکت و سرعت باد تاثیرگذار است و اندازه بازشوها نیز بر حجم و سرعت باد ورودی به ساختمان تاثیر می‌گذارد. از این رو پژوهش حاضر با این فرض که می‌توان در خانه‌های مسکونی بومی، رابطه معناداری بین تناسبات بازشوها و حیاط یافت، انجام شده و اقلیم گرم و خشک به عنوان یکی از وابسته‌ترین اقلیم‌ها به تهویه و شیراز به عنوان نمونه‌ای از شهرهای مستقر در این اقلیم انتخاب شده است. بنابراین در جستجوی وجود نسبت‌های تکرار شده در بناهای موجود، نمونه‌های موردی در یک دوره تاریخی، با ویژگی‌های مشابه و حداقل عوامل مداخله‌گر انتخاب گردیده است. روش تحقیق تحلیلی-توصیفی است، که به کمک منابع اسنادی، عکس‌برداری، برداشت میدانی و آنالیز نرم‌افزاری انجام شده است. در نهایت این رابطه در قالب محاسبه جریان حجمی هوا و تناسب حیاط و بازشوها، حیاط و نمای جبهه رو به باد، تناسب حیاط و زیربنا و غیره از نمونه‌های با گونه چهارطرف محدود و دارای حیاط مرکزی استخراج گردیده است. تناسبات بدست آمده دارای الگوی مشخصی در بناهای مورد بررسی بوده و نسبت‌ها با توجه به ویژگی‌های بناها در بازه عددی محدودی قرار گرفته‌اند.

کلید واژه‌ها: الگوی هندسی، تناسبات حیاط و بازشوها، جریان هوا، قاجار.

---

*نویسنده مسئول: Email: sh.kariminia@iaun.ac.ir

این مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری آرش پسران باعنوان «**تحلیل تاثیر تناسبات بازشدگی‌های نما و حیاط بر تهویه طبیعی خانه‌های قاجار شیراز**» است که به راهنمایی دکتر شهاب کریمی‌نیا و دکتر الهام ناظمی و مشاوه دکتر شیرین طغیانی در دانشگاه آزاد واحد نجف آباد به انجام رسیده است.

۱- پرسش پژوهش

مکانیزم سنتی طراحی معماری در شهرهای اقلیم گرم و خشکِ بدون بادگیر چگونه با تهویه طبیعی ارتباط دارد؟

۲- مقدمه

حیاط‌های مرکزی در خانه‌های سنتی به صورت تغییرناپذیری در هنگام ظهر خنک‌تر از دو طرف خیابان‌اند. بر اساس نظرِ مور این دستاورد در سرمایش ایستا تاحدی موفقیت‌آمیز بوده است؛ چرا که از لحاظ بصری عوامل بسیار زیادی را که نمایانگر سرما هستند با هم هماهنگ می‌سازد. با این حال هنگامی که تمامی این تاثیرات در حیاط مرکزی کنار هم آورده می‌شوند، محیطی فراهم می آورد که به شکل شاخصی خوشایندتر از خیابان‌های آن سوی خود است (مور، ۱۳۸۲). در گذشته ساختمان‌ها با استفاده از تمهیدات غیرفعال، بنا می‌شدند، واضح است که علت این تصمیم فقدان هرگونه منبع یا ذخیره انرژی بود. در کشورهای صنعتی اما به هنگام توسعه سریع بعد از جنگ جهانی دوم، از تمهیدات فعال به عنوان وسایل آسان و سریع برطرف سازی نگرانی آسایش در ساختمان‌ها استفاده گردید. درحال حاضر ۸۳ درصد انرژی جهان تنها به‌وسیله ۲۵ درصد جمعیت زمین مصرف می‌شود و فقط ۱۷ درصد انرژی در دسترس ۷۵ درصد باقی مانده جمعیت، قرار می گیرد. عمده این گروه در کشورهای درحال توسعه زندگی می کنند. از طرفی در مناطق گرم و خشک و گرم ومرطوب، بیش از نیمی از بیشینه بار مصرفی انرژی، تنها برای بر آوردن نیازمندی‌های تهویه مطبوع صرف می‌شود، از آنجا که نرخ رشد شهرنشینی در کشورهای درحال توسعه فزاینده است، بنابراین فشاری که برای برآوردن نیازمندی‌های آتی محیط ساختگی به منابع انرژی وارد می‌شود نیز بسیار بالا خواهد بود، مگر آنکه پس از این، تمهیدات نوین و پربازده‌تری به کار گرفته‌شود (کوخ-نیلسن، ۱۳۹۴). همچنین در یک ساختمان اقلیمی دارای تهویه مطبوع درنواحی گرم، ۷۰ تا ۸۰ درصد مصرف انرژی فقط صرف بهره‌برداری از سیستم‌های آسایش درونی می‌شود و ۲۰ تا ۳۰ درصد باقی مانده در تولید مصالح، ساخت و تخریب ساختمان مصرف می‌شود (یارمحمدی و دیگران، ۱۳۹۱: ۳۴). این درحالی است که مطالعات نشان داده، اکثر ساختمان‌های سنتی در شرایط غیرفعال نسبت به ساختمان‌های مدرن، شرایط آسایش بهتری برای ساکنین دارند و انرژی کمتری مصرف می‌کنند (Nematchoua, Tchinda, & Orosa, 2014).

مساله دیگر این که به دلیل عواملی مانند هزینه و زمان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و در بناهای مسکونی کوتاه‌مرتبه، کمتر از مهندس تاسیسات جهت محاسبات مربوط به بازشوها یا حیاط بنا کمک گرفته می‌شود (Omrani, 2017: 6).

تهویه طبیعی در معماری بومی گذشته ایران اتفاقی غریب نیست، معماران سنتی به گونه‌ای تجربی به این مهم دست یافته بودند. تاثیر این ساختمان‌ها چه از بعد تعویض هوا و معیار سلامت و چه از جنبه

سرمایش ایستا بر آسایش ساکنین قابل توجه بوده است (وکیلی نژاد، ۱۳۹۱)، (عطروش، ۱۳۹۴). جریان هوا در بنا باعث تبادل حرارت بین بدن و محیط می‌شود و بنابراین تأثیر فراوانی بر احساس آسایش حرارتی دارد (حیدری، ۱۳۸۹، ۳۹). استخراج تناسبات حیاط و بازشوها خصوصا در جبهه رو به باد و کشف رابطه میان آن‌ها می‌تواند به یافتن رابطه بهینه در طراحی‌های جدید کمک نمایند. از اهداف پژوهش می‌توان به ترویج ابزارها و اصول اساسی تهویه، که می‌تواند به هنگام باز-اندیشی در مقوله محیط ساختگی از دیدگاه انرژی به کار افتد، اشاره نمود. همچنین یافتن بهترین ایده-های تشریح شده در بافت قدیم شیراز در ساختمان-هایی که لزوما دارای بهترین طراحی نیست و استخراج روابط موجود در کنترل تهویه طبیعی طرح، از دیگر اهداف تحقیق است. شایان ذکر است که پژوهش در صدد ارائه تدابیر نهایی نیست؛ بلکه با کمک گرفتن از نمونه‌های موجود در گذشته فرضیه را بررسی می‌نماید.

۳- پیشینه تحقیق

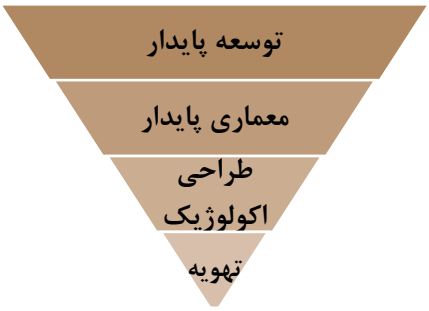
یافتن الگوهای ماندگار معماری سنتی همواره اهمیت ویژه‌ای برای طراحان داشته است. در زمینه اقلیم گرم و خشک و معماری آن (شاطریان، ۱۳۹۴) و (کسمایی، ۱۳۹۲) به تشریح ویژگی‌های اقلیمی و بافت و شناخت عوامل اقلیمی، اقلیم و انسان، اقلیم و ساختمان می‌پردازند. (شیخ بیگلو و محمدی، ۱۳۸۹) و (حیدری، ۱۳۹۱) به بررسی تاثیر نقش اقلیمی باد در طراحی شهری می‌پردازند. (ضرغامی و دیگران، ۱۳۹۴) مطابقت معماری پایدار با خانه‌های سنتی در شهر ایرانی- اسلامی را بررسی کرده و چند پیشنهاد برای طراحی پایدار داده‌اند. (میرسجادی و دیگران، ۱۳۹۵) الگوها و فاکتورهای کالبدی تاثیرگذار درمعماری خانه های تاریخی را ارزیابی کرده و چند راهکار طراحی ارائه داده است. (زارعی و میردهقان، ۱۳۹۵) و (زینلیان و اخوت، ۱۳۹۶) در زمینه ساختار و الگوی حیاط مرکزی در شهر یزد و دزفول مطالعاتی انجام داده‌اند و تناسبات و مصالح حیاط، مورد تطبیق با اقلیم گرم و مرطوب قرار گرفته است (نجفقلی پورکلانتری و دیگران، ۱۳۹۶)، (رضازاده اردبیلی و ثابت فرد، ۱۳۹۲) و (موسویان، ۱۳۹۶) در زمینه هندسه و تناسبات در معماری سنتی ایرانی مطالعه کرده و آن را هویت معماری دانسته و تعاریف و الگوهای معنایی هندسه را مورد بحث قرار داده‌اند. (وکیلی نژاد و دیگران، ۱۳۹۲) مقاله‌ای در رابطه با اصول سرمایش ایستا در عناصر سنتی ارائه داده و عناصر تاثیرگذار را مختصرا توضیح داده‌اند. (Sacht & Lukiantchuki, 2017) شرایط مناسب مکان، زاویه و اندازه بازشوها برای تهویه طبیعی را پیشنهاد داده است. (Hamdani et al., 2017) و (Wang et al., 2017) با شبیه‌سازی رایانه‌ای تهویه طبیعی در بناهای با بازشو در یک طرف بنا، اندازه و نوع بازشو را بسیار موثر دانسته‌اند. همچنین در تابستان و زمستان نحوه تاثیر تهویه طبیعی از طریق بازشوها بررسی شده‌است. این درحالی‌است که هیچکدام از منابع مورد بررسی ارتباط بین این الگوها و تناسبات را با مسایل اقلیمی و در حیطه تهویه طبیعی مورد بررسی قرار نداده‌اند و یا بسیار کلی بحث شده است و یا فقط بخش مستقلی مورد بررسی جزیی و تخصصی

قرار گرفته است.

٤- مبانی نظری

٤-١- تهویه طبیعی

تهویه هوا به عمل جایگزین کردن و یا جابجا کردن هـــوا در یک فضا گفته می‌شود که به منظور تأمین هـــوای تـــازه، خارج کردن هوای گرم و خنک کـــردن فضـا و تأمین آسایش حرارتی انسـان انجـام مـــی‌شـــود (واتسون و لبز، ۱۳۹۶). جایگاه تهویه و توسعه پایدار در (تصویر۱) قابل رویت است.



تصویر ۱- جایگاه تهویه طبیعی در توسعه پایدار(ماخذ: نگارندگان بر مبنای رازجویان، ۱۳۹۳).

اصولا تهویه ساختمان‌ها به سه منظور تامین هوای تازه، تامین آسایش حرارتی و خنک سازی توده مصالح ساختمان انجام می‌شود (قیابکلو، ۹۳ : ۶۴). تهویه طبیعی استفاده از فرایند جابجایی هوا بدون استفاده از تاسیسات مکانیکی و صرف انرژی فسیلی است (رازجویان، ۱۳۹۳: ۱۵۷).

٤-١-١-عواملی از طرح خارجی ساختمان که در تهویه آن تاثیر دارد

الـف- جـهـت و نوع بـازشـــوی پنجره: اساسی‌ترین عامل تعیین‌کننده نحوه عبور هوا از یک ساختمان، جهت وزش باد است (احدی و علیرضایی ورنوســـفادرانی، ۱۳۹۳). نوع و نحوه باز شـــدن پنجره تاثیر فراوانی در شـکل و سـرعت هوا در داخل اتاق دارد (کسمایی، ۱۳۹۲).

ب-موقعیت پنجره: تاثیر جایگاه پنجره روبه باد بر مسیر بادی که در داخل جریان می‌یابد، غیر قابل انکار است همچنین در صورت عدم تقارن جایگاه پنجره در نما باد با انحراف از مسیر اصلی وارد اتاق می‌شود (رازجویان، ۱۳۹۳: ۱۶۵).

ج- اندازه پنجره: توزیع جریان هوا در محیط داخلی و نرخ تغییرات هوا در هر ساعت، بستگی به اندازه بازشو دارد (Sacht & Lukiantchuki, 2017: 8).

د- محل عمودی پنجره: ارتفاع کف پنجره و نوع بازشوی پنجره رو به باد اهمیت بیشتری در تعیین جهت و سرعت حرکت باد در داخل اتاق دارد تا مشخصات محل خروج باد. تغییر ارتفاع کف پنجره ممکن است تا حد زیادی سرعت

جریان هوای داخلی اتاق را تغییر دهد (کسمایی، ۱۳۹۲).

ه-سایه بان و سایر ملحقات پنجره

حضور و موقعیت سایه بان‌ها تاثیر چشمگیری روی جریانات داخلی و خارجی هوا می‌گذارند. عمق، شیب، اندازه و ارتفاع از عوامل سازه‌ای هستندکه شکل جابجایی هوا از طریق پنجره را تغییر می‌دهند (قیابکلو، ۱۳۹۳: ۱۱۰).

و-مصالح: برای استفاده از تهویه، لازم است که متوسط درجه حرارت بهینه در داخل ساختمان تقریبا همان دمای هوا باشد. برای این امر رنگ نمای ساختمان می‌بایست روشن و پوسته خارجی بنا به-خوبی عایق کاری شده باشد تا مقدار جذب حرارت خورشید توسط ساختمان به حد قابل اغماضی کاهش یابد (واتسون دانلد، ۱۳۹۶: ۴۰).

ز- حیاط: وجود حیاط مرکزی در قلب بنا، موجب استفاده بهتر از کوران هوا شده و یک لایه بودن فضاهای بنا را امکان‌پذیر می‌کند. عملکرد حیاط در ارتباط با تهویه طبیعی ابتدا از جریان باد تاثیر پذیر است؛ همچنین فضای سبز باعث اثر سرمایشی به علت تبخیر، تعریق سطح و سایه اندازی بر جداره‌ها می‌گردد (هدایت و طبائیان، ۱۳۹۴: ۴۲).

۲-٤-اهمیت رابطه بازشوها و اندازه حیاط مرکزی در تهویه

معمولا آسایش حرارتی در یک ساختمان سنتی ناشی از ترکیب چندین عامل و عملکرد هماهنگ چندین عنصر ساختمانی با یکدیگر است (وکیلی نژاد و دیگران، ۱۳۹۲: ۱۵۷) در تاثیرگذاری حیاط بر جریان بازشوها باید گفت که ابعاد بازشوها تاثیر زیادی بر وارد شدن جریان تهویه دارد و همچنین حیاط نقش مهمی در سرمایش ایستا و سرعت جریان هوا دارد (آلن، ۱۳۹۵). ساختمان‌های با عمق زیاد حیاط در واقع برای تهویه طبیعی مناسب نیست، اساسا دشواری تهیه هوای تازه به مناطق داخلی‌تر و از جنبه دیگر دشواری تامین روشنایی جایی که نور روز نمی‌تواند به اندازه کافی نفوذ کند، وجود دارد؛ هر دوی این مشکلات را می‌توان با جایگزین کردن قسمت داخلی با یک حیاط باز، دهلیز و غیره حل کرد (Etheridge, 2012: 374).

منظور از حیاط مرکزی، فضایی باز در مرکز، جنب یا پیرامون ساختمان است که فاقد سقف باشد. در واقع حیاط، مرکزی‌ترین فضا در خانه‌های بومی به عنوان مرکز دید، نور و تهویه محسوب می‌شده است. حیاط‌ها با استفاده از نظم و ریتم خاص با فضاهای اطراف خود ارتباط برقرار می‌کردند (مسائلی، ۱۳۹۰). اصل و مایه فضاسازی در این معماری فضای باز است. فضای بازی که با وسواس و دقت تمام طراحی می‌شود. فضای باز محصوری که به تبع گرایش به درون از بیرون بر می‌تابد و با شکل و اندازه منظم و تناسبات فکر شده و نماهای موزون آسمان را قاب می‌گیرد (ربیعی، ۱۳۹۶). در این نوع معماری با قرارگیری کلیه بازشوها رو به فضای نسبتا مرطوب و معتدل حیاط و مسدود نمودن جداره خارجی ساختمان (بجز در ورودی)، ارتباط اقلیمی فضای زیست داخل، با فضای خارج تا حد امکان قطع شده و یک اقلیم کوچک و مناسب برای آسایش انسان در اقلیم گرم و خشک منطقه احداث شده است (قبادیان، ۱۳۹۷).

علاوه بر قانونمند بودن حیاط، اهمیت رابطه بازشوها و اندازه حیاط با بررسی نحوه عملکرد حیاط مرکزی مشخص می‌شود. حیاط مرکزی در سیستم تهویه در سه مرحله عمل می‌کند:

اول؛ هوای خنک شب به سمت حیاط پایین می‌آید و اتاق های اطراف و کالبد بنا را خنک می‌کند و تا اواخر بعدازظهر روز بعد همین‌طور باقی می‌مانند. علاوه برآن حیاط مرکزی گرما را به سرعت از طریق تابش به آسمان شب دفع می‌کند. **دوم؛** خورشید به هنگام نیم روز ابتدا حیاط و سپس ساختمان را رفته رفته گرم می‌کند و جریان‌های هوا به دلیل اختلاف دما ایجاد می‌شود. سقف و دیوارهای ضخیم خشتی (یا دیوارهای عایق‌کاری شده) اجازه نمی‌دهند گرمای خارج سریعا به داخل نفوذ پیدا کند. مدت زمانی که ضخامت دیوار می‌تواند نفوذ گرما را به تاخیر بیاندازد، ۱۲ ساعت است. **سوم؛** کف حیاط مرکزی و فضاهای داخل خانه گرم‌تر می‌شوند و جریان‌های بیشتری از نوع جابه‌جایی در اواخر بعد از ظهر به وجود می‌آیند. سایه ساختمان‌های مجاور، در اواخر بعدازظهر خیابان، حیاط مرکزی و ساختمان را در برابر نور خورشید محافظت می‌کند. وقتی که خورشید غروب می‌کند و حیاط داخلی به سرعت، تابش به آسمان صاف شب را آغاز می‌کند، دمای هوا به سرعت سقوط می‌کند. هوای خنک در این هنگام به سمت حیاط پایین می‌آید و بدین ترتیب، این چرخه کامل می‌شود (پسران، ۱۳۹۰: ۳).

۵- مواد و روش‌ها

تحقیق در قالب مراحل زیر انجام گردیده است:

الف) مطالعات کتابخانه‌ای در رابطه با کلیات موضوع در کتب، اسناد، تصاویر، فایل‌های کامپیوتری، مقالات و غیره.

ب) انتخاب هشت نمونه از خانه‌های نسبتاً سالم و کمتر مورد مداخله قرارگرفته ازبافت قدیم شهر شیراز بر اساس اولویت‌های زمان، مکان، ارزش‌های معماری و هنری و کمترین میزان عوامل مداخله گر تاثیرگذار برتهویه

ج) بررسی جزئیات و تناسبات خارجی تاثیرگذار از منظر ارتباط با مولفه تهویه طبیعی، شامل تناسبات حیاط، بازشوها ارتفاع و غیره و در جستجوی الگوهای معنادار و تکرارشونده در نمونه‌ها

د) تحلیل CFD به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر و محاسبات عددی برای الگوی مشترک در تناسبات بناها

د) در انتها به کمک روش تحلیلی_توصیفی، اطلاعات و یافته‌های تحقیق در قالب جداول و توضیحات طبقه‌بندی شده، مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته‌اند.

٦- نمونه موردی

۱-٦-معرفی بستر نمونه‌ها

اقلیم گرم و خشک با توجه به نیاز بالا به صرف انرژی برای تهویه به عنوان بستر اقلیمی و شهر شیراز به دلیل ویژگی‌های خاص اقلیمی‌اش انتخاب شده است. یکی از دلایل مربوط به تامین نسبی

شرایط آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی شیراز بدون بهره‌گرفتن جدی از بادگیرها است. جهت باد غالب در تمام ماه‌های سال، غرب و شمال غرب است (امیدوار، ۱۳۹۲: ۱۰۳) (جدول ۱).

جدول ۱- وضعیت جریان هوا در شیراز (ماخذ: اداره کل هواشناسی، ۱۳۹۷)

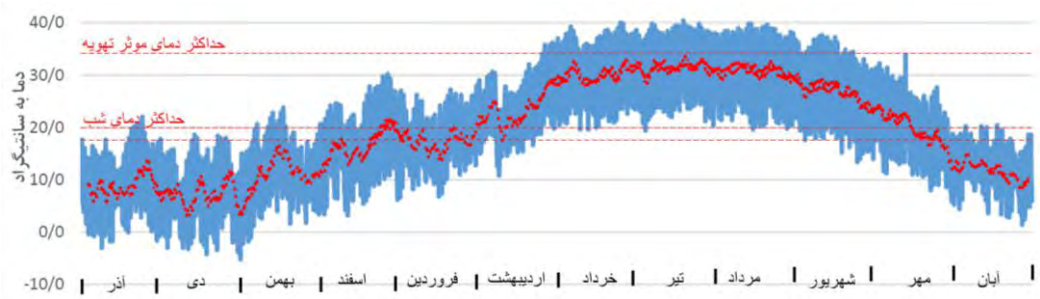
باد ماکزیمم (m/s)		متوسط باد (m/s)	فشار هوا QFF(hpa)	فشار هوا QFE(hpa)
سمت	سرعت			
۲۴۸	۱۳	۲,۴	۱۰۰۷,۵	۸۴۷,۵

۲-٦- مبنای گزینش نمونه‌ها

خانه‌های با ارزش تاریخی مطابق نقشه ارزش‌گذاری و با الگوی ■ شکل، انتخاب و در دسته بناهای درجه یک، دو و سه طبق دسته‌بندی میراث فرهنگی مورد بررسی قرارگرفته‌اند. در انتخاب نمونه‌ها سعی شده‌است آیتم‌های مختلف موثر بر تهویه که در بخش مبانی نظری مورد بررسی قرار گرفتند، حتی الامکان ثابت نگه داشته شود. بناهای انتخاب شده تقریبا دارای مصالح یکسان (جدول ۳)، موقعیت و محل عمودی بازشوها در نما، جهت و نوع بازشوها، سایه‌های موثر برروی پنجره‌ها، و عوامل موثر بر کاهش سرعت باد نیز مشابه‌اند. همچنین بناها در یک محله با بافت نسبتا همگون از نظر ارتفاع، شرایط شهری جریان هوا و وضعیت خرد اقلیم انتخاب شده‌است (تصویر ۳). از عوامل تاثیرگذار مذکور، اندازه بازشوها و حیاط (محوطه ساختمان) به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین سعی شده است که نمونه‌ها علاوه بر داشتن الگوی پلانی مشابه، مساحت‌های نزدیک به هم نیز داشته باشند.

حجم هوای ورودی به بنا به عنوان متغیر در سوی دیگر مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. زمانی جریان هوا به سرمایش کمک می‌کند که دمای بیرون پایین‌تر از داخل ساختمان باشد و در غیر این صورت باید از ورود هوای بیرون ممانعت به عمل آورد. در این راستا دمای شب باید زیر ۲۰ درجه سانتیگراد و با روز حداقل ۱۵ درجه اختلاف داشته باشد. همچنین جریان باد تا زمانی که دما حداکثر تا ۳۶ درجه افزایش یابد، قابلیت سرمایش را خواهد داشت (قیابکلو، ۱۳۹۳: ۶۳). در نتیجه در دوره زمانی مشخصی در طول سال، تهویه طبیعی کاربردی خواهد بود که در (تصویر) نمایش داده شده است و بستر انتخابی شرایط استفاده از تکنیکی مرکب از تهویه طبیعی از یک طرف و یا تهویه مکانیکی در زمان‌های متفاوت از سال و شبانه روز را دارا است، که بخش طبیعی، قابلیت ویژه صرفه‌جویی در مصرف انرژی را دارد.

در رابطه با زاویه ورود هوا به بازشوها نیز به دلیل ساخت بناها مطابق با "رون شهری" (جهت‌گیری عمومی بناها در شهر) و انتخاب نمونه‌ها در یک محدوده، اختلاف جزئی که در زاویه ورود هوا وجود دارد، در راستای تحلیل نسبی، قابل چشم‌پوشی است.



تصویر ۲- دمای موثر تهویه بر اساس اطلاعات دما در هر سه ساعت شهر شیراز، به همراه میانگین روزانه (ماخذ: نگارندگان بر مبنای اداره کل هواشناسی، ۱۳۹۷)

۳-٦- استخراج و تحلیل اطلاعات عددی نمونه‌ها

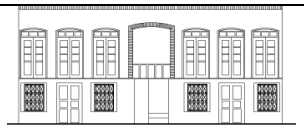
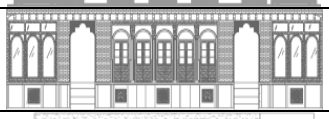
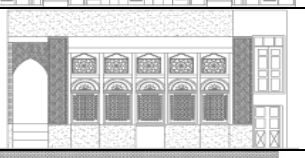
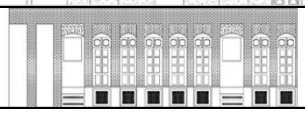
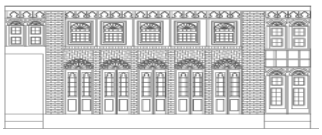
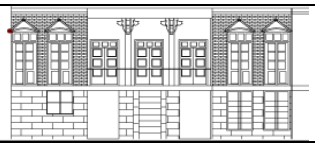
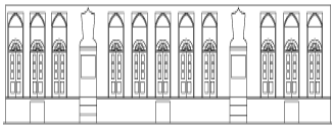
مشخصات بناهای انتخاب شده بر مبنای مولفه‌های (تصویر ۳) و (جدول ۴):

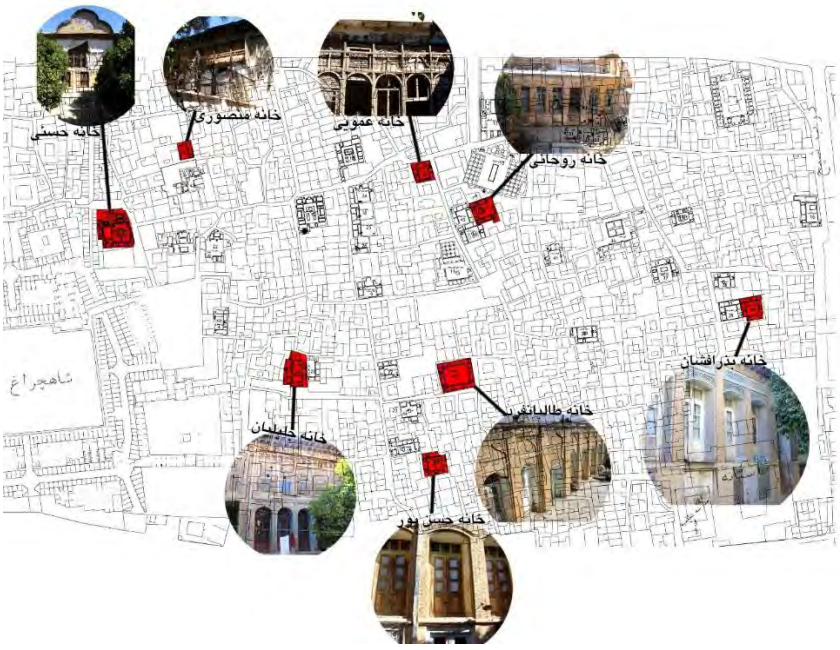
نامبرده به شرح زیر است (جدول ۲)، (جدول ۳)،

جدول ۲- نمایش ارزش بنا و کدگذاری نمونه‌های انتخاب شده (ماخذ: نگارندگان بر مبنای میراث فرهنگی فارس، ۱۳۹۶)

نام بنا	شماره نمونه	ارزش گذاری
خانه حسن پور	۱	۱
خانه حسنی	۲	۱
خانه منصوری	۳	۱
خانه عمویی	۴	۲
خانه روحانی	۵	۲
خانه جلیلیان	۶	۲
خانه بذرافشان	۷	۲
خانه طالبان‌فرد	۸	۳

جدول ۳- ویژگی های کالبدی بناهای انتخابی(ماخذ: نگارندگان)

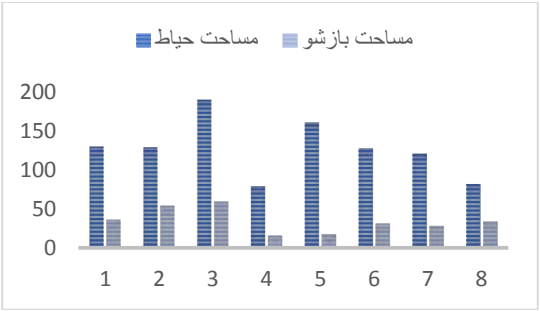
شماره	پر و خالی پلان	ساختار نما	مصالح اصلی
۱			آجر
۲			آجر
۳			آجر
۴			آجر
۵			آجر
۶			آجر
۷			آجر
۸			آجر
تیپ پلان			



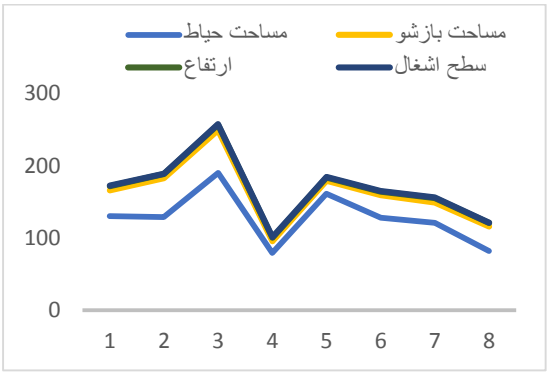
تصویر ۳- مکان‌یابی و چیدمان نمونه‌های انتخابی در محله اسحاق بیگ (ماخذ: نگارندگان)

جدول ۴- اطلاعات و نتایج محاسبات عددی جهت استخراج تناسبات از نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان بر مبنای برداشت میدانی و میراث فرهنگی فارس، ۱۳۹۶)

شماره نمونه	مساحت حیاط	مساحت زمین	سطح اشغال	ارتفاع	مساحت نما	مساحت بازشو	درصد بازشو	نسبت مساحت بازشو به حیاط	بازشو به سطح اشغال
۱	۱۳۰	۴۷۶	٪۷۳	۵/۷	۷۲	۳۶	۵۰٪	۰/۲۸	۴۹/۳۲
۲	۱۲۹	۳۴۰	٪۶۲	۵/۶	۸۹/۶	۵۳/۸	٪۶۰	۰/۴۲	۸۶/۷۷
۳	۱۹۰	۷۱۱	٪۷۳	۷/۶	۱۳۱/۵	۵۹/۲	٪۴۵	۰/۳۱	۸۱/۱۰
۴	۷۹/۴	۲۹۷	٪۷۳	۵/۱۵	۴۴/۳	۱۵/۹	٪۳۶	۰/۲۰	۲۱/۷۸
۵	۱۶۱	۵۵۷	٪۷۱	۴/۵	۷۱/۱	۱۸/۱	٪۲۵	۰/۱۱	۲۵/۴۹
۶	۱۲۸	۴۴۵	٪۷۱	۵/۲	۴۶/۳	۳۱	٪۶۷	۰/۲۴	۴۳/۶۶
۷	۱۲۱	۴۱۸	٪۷۱	۵/۹۵	۷۰/۶	۲۸/۲	٪۴۰	۰/۲۳	۳۹/۷۲
۸	۸۲	۲۱۰	٪۶۱	۴/۶۵	۹۶/۶	۳۳/۸	٪۳۵	۰/۴۱	۵۵/۴۱



تصویر ۴- مقایسه مساحت بازشو و مساحت حیاط در نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۵- مقایسه مساحت بازشو و مساحت حیاط در نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)

در بررسی اولیه نسبت‌ها به کمک نرم افزار اکسل و آنالیزهای اولیه آماری که ارقام به‌دست آمده تاثیرگذار خارجی مانند مساحت بازشو، مساحت حیاط، سطح اشغال و ارتفاع را مورد بررسی قرار داد، وجود ارتباط بین ارقام مشهود و هندسه بین ابعاد به‌دست آمده با تخمین خوبی قابل شناسایی است. (تصویر ۴ و ۵). در نتیجه در بخش بعد، محاسبات مربوط به جریان حجمی هوا جهت مقایسه آن با نسبت‌های موجود انجام شده است.

مقدار جریان حجمی هوا از طریق باد برای بازشوهای یک طرفه (تصویر ۶)، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

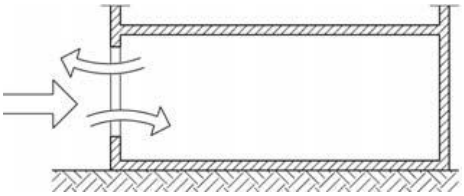
$q=۰/۰۲۵*A*VH$

q= جریان حجمی هوا در اثر باد (m^3/s)

A= مساحت قسمت بازشوی پنجره یا پنجره‌های ورود هوا در یک دیوار (m^2)

VH= سرعت باد در ارتفاع بام برای ساختمان‌های کم ارتفاع و در ارتفاع سقف هر طبقه برای ساختمان‌های بلند (m/s) (قبابکلو، ۱۳۹۳: ۶۴)

لازم به توضیح است که با توجه به عمق کم بناها به دلیل تقسیم زیربنا در چهار طرف آن، عدم وجود خروجی‌های شاخص تهویه در جداره‌های بیرونی بنا و ارتفاع قابل توجه اکثر بازشوها، به نظر می‌رسد که جریان تهویه طبیعی به صورت یک طرفه عمل می‌کند.



تصویر۶- تهویه یکطرفه (refrence: Larsen & Heiselberg)

سرعت باد در بافت نمونه‌های انتخابی:

$$v_h = v_m \times \left(\frac{\delta_m}{H_m}\right)^{a_m} \times \left(\frac{H}{\delta}\right)^{a}$$

v_m = سرعت باد مرجع

δ = ارتفاع گرادیان باد در ارتفاع مورد نظر

δ_m = ارتفاع گرادیان باد در منطقه مرجع

H = ارتفاع مورد نظر

H_m = ارتفاع مرجع اندازه‌گیری(ایستگاه هواشناسی)

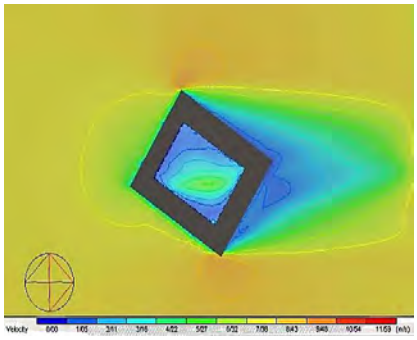
a = ضریب بافت برای منطقه مورد نظر

a_m = ضریب بافت برای منطقه مرجع (قیابکلو، ۱۳۹۳: ۶۷)

جدول ۵- وضعیت وزش باد و دما از سال ۱۳۵۰-۱۳۹۶برای ماه‌های سال (ماخذ: نگارندگان بر مبنای اداره کل هواشناسی، ۱۳۹۷)

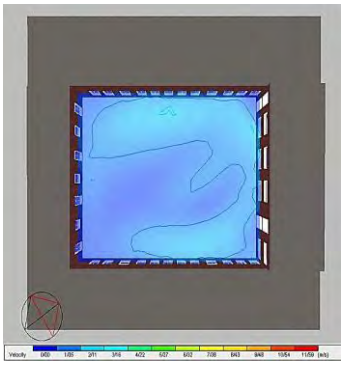
ماه	ماکزیمم باد (m/s)	میانگین باد(m/s)	میانگین دما(^oC)
فروردین	۱۱	۱/۶	۱۵
اردیبهشت	۱۳	۱/۲	۲۱
خرداد	۱۴	۲/۶	۲۶
تیر	۱۵	۲/۸	۲۹
مرداد	۱۴	۳/۲	۲۹
شهریور	۱۳	۲/۳	۲۶
مهر	۱۲	۲/۳	۲۱
آبان	۱۲	۲/۳	۱۵
آذر	۱۱	۲/۷	۹
دی	۱۲	۱/۳	۶
بهمن	۱۱	۲/۱	۷
اسفند	۱۲	۴/۱	۱۱
معدل	۱۲	۲/۲	۱۸

با توجه به در نظر گرفتن جبهه رو به باد برای استخراج تناسبات عددی در بخش قبل، زاویه نسبتا مشابه وزش باد غالب شهری و عدم ارتباط داخلی جبهه‌های مختلف، محاسبات فرمولی تهویه برای همان جبهه اصلی، مورد توجه قرار گرفته است. همچنین با کمرنگ فرض کردن تفاوت اثر سرمایش تبخیری با توجه به ساختار بسیار مشابه پلان‌ها از نظر استفاده از گیاه، آب و مکان و یادآوری استواری ساختار این پژوهش بر تناسبات عددی، امکان مقایسه ساده‌تر با تخمین خوبی به‌دست آمده است.



تصویر ۷- کانتور سرعت در شبیه سازی CFD نرم افزار دیزاین بیلدر- خانه طالبان‌فرد (ماخذ: نگارندگان)

جهت راستی آزمایی محاسبات عددی، شبیه‌سازی CFD در نرم افزار دیزاین بیلدر با توجه به شرایط بناهای موجود، نیز انجام گردید (تصویر ۷ و ۸). به نظر می‌رسد که در بناهای انتخابی با توجه به سرعت جریان هوا پیش از رسیدن به بازشوها شرایط یکنواختی وجود دارد و روش محاسبه را تایید می‌کند. هرچند تفاوت‌های مختصری در برخی بازشوها، به ویژه در لبه‌ها دیده می‌شود (تصویر ۸). البته باید در نظر داشت که در کل جبهه رو به باد، بازشوها به دلیل ارتباط داخلی‌شان، در محاسبات دبی و در مجموع با یکدیگر عمل می‌کنند و این مورد تفاوت معناداری در تناسبات ایجاد نمی‌کند.

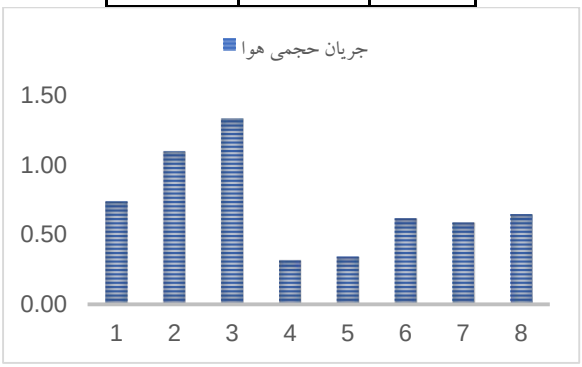


تصویر ۸- خروجی کانتور سرعت از محاسبات CFD در نرم‌افزار دیزاین بیلدر- حیاط خانه طالبان فرد (ماخذ: نگارندگان)

به ترتیب δ ۴۶۰، δ_m ۲۷۰، H_m ۱۰، a ۰/۳۳ و a_m برابر با ۰/۱۴ در نظر گرفته شده‌اند. و با جاگذاری اعداد مستخرج از بناها از (جدول ۴) و (جدول ۵). نتایج به شرح زیر بدست آمده است (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج محاسبات سرعت و جریان حجمی هوا (ماخذ: نگارندگان)

شماره	v_h	q
۱	۰/۸۲	۰/۷۴
۲	۰/۸۱	۱/۱۰
۳	۰/۹۰	۱/۳۳
۴	۰/۷۹	۰/۳۲
۵	۰/۷۶	۰/۳۴
۶	۰/۸۰	۰/۶۲
۷	۰/۸۳	۰/۵۹
۸	۰/۷۷	۰/۶۵



تصویر ۹- مقایسه جریان حجمی بازشوهای روبه باد نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)

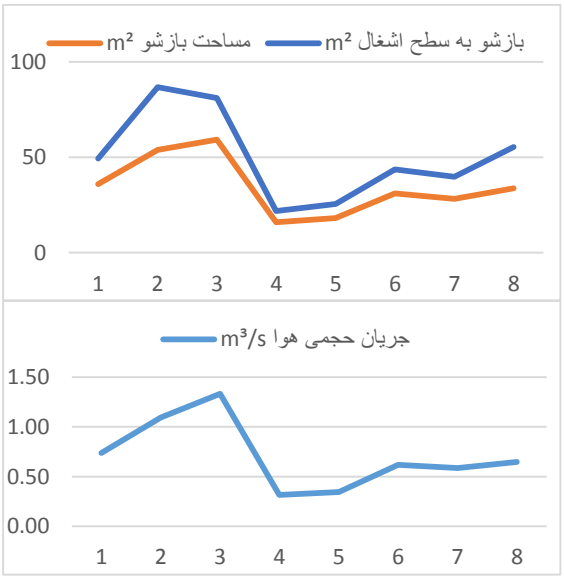
در مقایسه اولیه دبی ورودی بازشوهای بناها، اعداد به‌دست آمده دارای تنوع بوده و میزان ثابتی برای آن بدست نیامده است (تصویر ۹). در مرحله بعد به کمک اطلاعات عددی و تناسبات بدست آمده در (جدول ۴) و مقایسه آن با میزان به‌دست‌آمده برای دبی هوای عبوری از بازشوها، میزان معناداری ارتباط مولفه‌های موثر بر جریان حجمی هوا بر اساس ضریب همبستگی آنها مورد بررسی قرار گرفت که در (جدول ۷) نتایج آورده شده است. همچنین با به‌دست آوردن نسبت بین دبی و سایر داده‌ها و توجه به میزان انحراف معیار آنها در نمونه‌های مختلف سعی در بررسی معناداری این نسبت‌ها بوده است (جدول ۸)، (تصویر ۱۰) و (تصویر ۱۱).

جدول ۷- مولفه‌های موثر بر جریان حجمی هوا و ضریب همبستگی (ماخذ: نگارندگان)

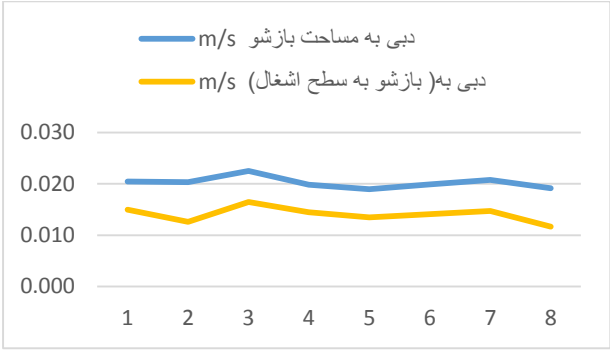
مولفه موثر	ضریب همبستگی
ارتفاع	۰/۷۹
مساحت بازشو	۰/۹۹
نسبت مساحت بازشو به حیاط	۰/۶۶
نسبت مساحت بازشو به سطح اشغال	۰/۹۶

جدول ۸- نسبت‌های جریان حجمی هوا بر مولفه‌های تاثیر گذار در تناسبات خارجی نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)

شماره	دبی بر مساحت بازشو	دبی بر "مساحت بازشو به حیاط"	دبی بر "بازشو به سطح اشغال"
۱	۰/۰۲	۲/۶۶	۰/۰۱۵
۲	۰/۰۲	۲/۶۳	۰/۰۱۳
۳	۰/۰۲۳	۴/۲۸	۰/۰۱۶
۴	۰/۰۲	۱/۵۷	۰/۰۱۴
۵	۰/۰۱۹	۳/۰۵	۰/۰۱۳
۶	۰/۰۲	۲/۵۴	۰/۰۱۴
۷	۰/۰۲۱	۲/۵۱	۰/۰۱۵
۸	۰/۰۱۹	۱/۵۷	۰/۰۱۲
انحراف معیار	۰/۰۰۱	۰/۸۶	۰/۰۰۱



تصویر ۱۰- مقایسه تغییرات جریان حجمی هوا و مولفه‌های تاثیرگذار در تناسبات خارجی نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)



تصویر ۱۱- مقایسه تغییرات نسبت جریان حجمی هوا بر مساحت بازشو و بازشو به سطح اشغال به عنوان نمونه (ماخذ: نگارندگان)

۷-جمع بندی و نتیجه‌گیری

یافتن بهترین ایده‌های تشریح شده در بافت قدیم شیراز در ساختمان‌هایی که لزوما دارای بهترین طراحی نیست از دغدغه های فکری این پژوهش بوده است چرا که در گذشته، حیاط‌های مرکزی همواره در اقلیم‌های مختلف نقش اقلیمی خود را به خوبی ایفا می‌کرده‌اند و هر کدام با توجه به موقعیت اقلیمی خود بسیار دقیق طراحی شده بودند. گواه این مدعا وجود حداقل بادگیرها در بافت قدیم شیراز است در حالی که تهویه و کوران مناسب در محدوده منطقه آسایش، در این بناها به گونه‌ای تامین شده که کمترین سیستم سرمایشی فعال لازم است. کشف تناسبات لازم برای طراحی این گونه حیاط‌ها می‌تواند راهنمای طراحان معاصر در جهت استفاده هر چه بهتر از کوران و تهویه طبیعی باشد. پس از پیدا کردن مولفه‌های هندسی موثر بر تهویه و بررسی و استخراج داده‌های نمونه‌های موردی به کمک محاسبات و شبیه‌سازی رایانه‌ای، نتایج به شرح زیر است:

در نمونه‌های انتخاب شده در رابطه با برخی مولفه‌های تاثیرگذار در هندسه خارجی بنا (حیاط و نما) و میزان تهویه طبیعی، همبستگی و معناداری نسبت‌ها مشاهده شد. با توجه به بررسی ضریب همبستگی و انحراف معیار به ترتیب مولفه‌ها براساس معناداری به شرح زیر است:

۱-مساحت بازشو؛ با میزان ضریب همبستگی ۰/۹۹ و انحراف معیار ۰/۰۰۱ مساحت بازشو و در نتیجه هندسه و تناسبات بازشوها بیشترین نسبت معنادار را با تهویه طبیعی دارد.

۲- نسبت مساحت بازشو به سطح اشغال؛ با ضریب همبستگی ۰/۹۶ و انحراف معیار ۰/۰۰۱ مقام دوم نسبت معناداری با تهویه طبیعی را دارا است؛که نشان می‌دهد، هندسه پر و خالی کلی بناها در پلان و نما و نسبت‌های آن نیز با تهویه هماهنگ بوده است. لازم به توضیح است که سایر نسبت‌ها به دلیل عدم معناداری یا تکراری بودن نتایج آورده نشده است.

در انتها با دقت در اطلاعات آماری می‌توان نتیجه گرفت که در برخی مولفه‌های هندسه خارجی بناهای بررسی شده با الگوی چهار طرفه، طراحی معماری از جنبه هندسی و عددی به صورت معناداری در راستای تامین نیازهای تهویه طبیعی گام

برداشته است و فرض این پژوهش ثابت می‌شود. بنابراین هرچند بادگیری در کار نبوده، طراحی هندسی بر بهینه‌سازی تهویه طبیعی نیز استوار بوده است. پس نسبت‌های به‌دست آمده در این مقاله می‌تواند مستقیما در طراحی معماری بناهای امروزی با ساختار مرکزی و ارتفاع کم یا جهت بهسازی و بازسازی مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که این الگو و نسبت‌ها در پروسه طراحی معماری می‌تواند بدون نیاز به محاسبات تاسیساتی برای تهویه طبیعی (که معمولا امروزه در خانه‌های مسکونی از قلم افتاده و نیاز به زمان و هزینه دارد) توسط مهندس معمار و نه لزوما مهندس تاسیسات به سادگی و سرعت و به موازات سایر نیازهای طراحی معماری استفاده شود. پس در این روش درعین افزایش سرعت طراحی به دلیل استفاده از نسبت‌ها، بخش از دست رفته در طراحی‌های عرف شهر شیراز می‌تواند احیا گردد. این پژوهش بیشتر سعی در معرفی و راستی آزمایی روش مذکور داشته است. هرچند در ادامه این پژوهش، بررسی تعداد بیشتر نمونه‌ها و سایر انواع ساختارهای خانه و در نهایت یافتن راه حل‌های جدید دیگر در طراحی سریع معماری که منطبق بر تهویه طبیعی و براساس الگوهای موجود در بناهای سنتی است، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- احدی، امین اله و علیرضایی ورنوسفادرانی، بابک. (۱۳۹۳). بررسی فرم مناسب سقف و سودمندی استفاده از بادخور و بادگیر در تهویه طبیعی مسکن چابهار. مسکن و محیط روستا. ۳۳ (۱۴۸)، ۳۳-۴۴.

- الن، ادوارد. (۱۳۹۵). ساختمان‌ها چگونه عمل می‌کنند، ترجمه: کتایون تقی زاده و محمود گلابچی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- امیدوار، کمال و امیدی، زهرا. (۱۳۹۲). تحلیل پدیده گردو غباردر جنوب و مرکز استان فارس. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی. ۱ (۱)، ۸۵-۱۱۲.

- پسران، آرش و پورمحمد، سها. (۱۳۹۰). حیاط مرکزی شهری (بازیابی ارزشهای حیاط مرکزی جهت حفظ انرژی و سرمایش ایستا). همایش ملی معماری در بستر فرهنگ، سقز.

- حیدری، شاهین، غفاری جباری، شهلا. (۱۳۸۹). تعیین محدودهٔ زمانی آسایش حرارتی برای شهر تبریز. مهندسی مکانیک مدرس. ۱۰ (۴)، ۳۷-۴۴.

- حیدری، شاهین. (۱۳۹۱). برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری، مطالعه موردی اقلیم گرم و خشک ایران. معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا). ۱۷ (۲)، ۳۷-۴۲.

- رازجویان، محمود. (۱۳۹۳). آسایش در پناه باد. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

- ربیعی، هادی. (۱۳۹۶). جستارهایی در چیستی معماری اسلامی. چاپ دوم. تهران: انتشارات آثار هنری متن.

- رضازاده اردبیلی، مجتبی و ثابت فرد، مجتبی. (۱۳۹۲). بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی مطالعه موردی: قصر خورشید و هندسه پنهان آن. معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا). ۱۸ (۱):۲۹-۴۹.

- زارعی، محمدابراهیم و میردهقان، سیدفضل اله. (۱۳۹۵). نقش الگوی حیاط مرکزی در تعدیل شرایط سخت اقلیم گرم و خشک منطقه یزد. مطالعات شهر ایرانی اسلامی. ۶ (۲۳)، ۵-۱۸.

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

- شاطریان، رضا. (۱۳۹۴). اقلیم و معماری. تهران: انتشارات سیمای دانش.

- ضرغامی، اسماعیل؛ خاکی، علی و سادات، سیده اشرف. (۱۳۹۴). بررسی تطبیقی معماری پایدار و مطابقت آن با معماری بومی خانه های سنتی در شهر ایرانی- اسلامی. معماری و شهرسازی پایدار. ۳ (۱)، ۱۵-۳۰.

- عطروش، علی و فیاض، ریما. (۱۳۹۴). تأثیر ارسی‌ها بر جریان هوا در فضای داخلی مطالعه موردی: خانه زینت الملک شیراز. معماری و شهرسازی ایران. ۶ (۹)، ۱۹-۲۶.

- فارس, اداره کل هواشناسی. ۱۳۹۷. ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شیراز. ۲۰ ۳. http://www.farsmet.ir/amar.

- فهیمی فر، اصغر. (۱۳۸۸). جستاری در زیبایی شناسی هنر اسلامی. پژوهش در فرهنگ و هنر. ۱ (۲)، ۷۳-۸۲.

- قبادیان، وحید، (۱۳۹۷). بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران. تهران: دانشگاه تهران.

- قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۳). مبانی فیزیک ساختمان ۴ (سرمایش غیرفعال). تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

- کسمایی، مرتضی. (۱۳۹۲). اقلیم و معماری. اصفهان: نشرخاک.

- کوخ- نیلسن، هالگر. (۱۳۹۴). تهویه طبیعی راهنمای طراحی اقلیمی مناطق گرم، ترجمه: محمد احمدی نژاد. اصفهان: نشر خاک.

- مسائلی، صدیقه. (۱۳۹۰). مسکن خرمشهر از الگوی بومی تا ضوابط طراحی. فصلنامه هنرهای زیبا. ۳ (۴۵)، ۶۳-۷۶

- مور، فولر. (۱۳۸۵). سیستم های کنترل محیط زیست (تنظیم شرایط محیطی در ساختمان) گرمایش، سرمایش، روشنایی، ترجمه: محمدعلی کلی نژاد و رحمان آذری. تبریز: انتشارات دانشگاه هنر اسلامی.

- موسویان، سمیه. (۱۳۹۶). جایگاه هندسه مقدس در بازشناسی هویت معماری سنتی ایران. مطالعات ملی. ۱۸ (۴)، ۹۹- ۱۱۸.

- میرسجادی، سیدامیر و فرکیش، هیرو. (۱۳۹۵). ارزیابی الگوها و شناخت فاکتورهای کالبدی تاثیرگذار در معماری خانه های تاریخی نیشابور جهت دست یابی به راهکارهای طراحی و الگوی ساخت منازل در بافت مسکونی سنتی. پژوهش‌های معماری اسلامی. ۴ (۴)، ۷۲-۹۲.

- نجفقلی پورکلانتری، نسیم؛ اعتصام ایرج و حبیب، فرح. (۱۳۹۶). تجلی هندسه و تناسبات در بناهای سنتی معماری ایران در محدوده جغرافیایی آذربایجان. جغرافیایی سرزمین. ۱۴ (۵۴)، ۱۱۵-۱۳۰.

- واتسون، دانلد و لبز، کنت. (۱۳۹۶). طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان، ترجمه وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- وکیلی نژاد، رزا، مفیدی شمیرانی، سید مجید و مهدیزاده سراج، فاطمه. (۱۳۹۱). پیشنهاد روشی برای پهنه بندی اقلیمی ایران بر مبنای پتانسیل تهویه طبیعی (مطالعه موردی: شهر یزد). نشریه پژوهش های اقلیم‌شناسی.۳ (۱۲)، ۱۳-۲۲.

- وکیلی نژاد، رزا؛ هدی زاده سراج، فاطمه و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۹۲). اصول سامانه های سرمایش ایستا در عناصر معماری سنتی ایران. (۵):۱۴۷-۱۵۹.

- هدایت، اعظم و طبائیان، سیده مرضیه. (۱۳۹۴). بررسی عناصر شکل دهنده و دلایل وجودی آن‌ها در خانه های سنتی تاریخی بوشهر. معماری اقلیم گرم و خشک. ۳ (۳): ۳۵-۵۲.

- یارمحمدی، هومن و دیگران. (۱۳۹۳). بررسی کیفی و کمی انواع سیستمهای برودتی رایج در بناهای مسکونی روستایی، مطالعه موردی :روستای خور. فصلنامه مسکن و محیط روستا. ۳۱ (۱۳۹)، ۳۳-۵۰.

- Etheridge, D. (2012). Natural ventilation of buildings: theory, measurement and design. Chichester: John Wiley & Sons.

- Hamdani, M., Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., Belarbi, R., & Cherier, M. K. (2017). The Study Natural Ventilation by Using Buildings Windows: Case Study in a Hot Dry Climate, Ghardaïa, Algeria. Energy Procedia, 139: 475-480.
- Larsen, T. S., Heiselberg, p.(2008). Single-sided natural ventilation driven by wind pressure and temperature difference. Energy and buildings. 40(6): 1031-1040.
- Nematchoua, M. K., Tchinda, R., & Orosa, J. a. (2014). Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in cameroon: a questionnaire-based statistical stud. Applied Energy. 114:.687–699.
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., & Drogemuller, R. (2017). Natural ventilation in multi-story buildings: Design process and review of evaluation tools. Building and environment. 116: 182-194.
- Sacht, H., & Lukiantchuki, M. A. (2017) Windows Size and the Performance of Natural Ventilation. Procedia Engineering. 196: 972-979.
- Wang, J., Shugang W., Tengfei, Z., & Francine, B. (2017). Assessment of Single-Sided Natural Ventilation Driven by Buoyancy Forces through Variable Window. Energy and buildings. 139: 762-79.