بررسی تأثیر تناسبات پلان معماری بر سرعت و دمای جریان باد در تهویه طبیعی بادگیرها؛ مطالعه موردی: شهر کرمان

عاطفه رئیسی*، محسن کشاورز**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

چکیده
تهویه طبیعی یکی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد آسایش حرارتی است. بادگیرها که از عناصر مهم و تاریخی معماری ایران تلقی می‌شوند، به‌عنوان یک سیستم سرمایشی ایستا شناخته شده‌اند. این سیستم‌های خنک‌کننده غیرفعال ساختمانی تهویه مطبوع را به‌وسیله انرژی تجدید پذیر باد فراهم می‌کنند و برای تأمین آسایش افراد در مناطق گرم و خشک استفاده می‌شوند. امروزه باتوجه‌به افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و اهمیت انرژی‌های تجدیدناپذیر، نقش تهویه طبیعی در ساختمان به لحاظ سازگاری ساختمان با محیط‌زیست دارای اهمیت است؛ همچنین باتوجه‌به اهمیت بادگیر در ایجاد تهویه طبیعی، پژوهش حاضر به بررسی این عنصر عملکردی در معماری پرداخته است. بادگیرهای شهر کرمان نمونه‌ای از صرفه‌جویی انرژی توسط ساختمان در اقلیم گرم و خشک به شمار می‌آیند. ازاین‌رو با بررسی و شناخت دقیق، کمّی و عددی از نحوه عملکرد و الگوی رفتار بادگیرها می‌توان به‌عنوان گامی مؤثر در دستیابی به راهکارهای طراحی همساز با اقلیم کمک نمود. پژوهش حاضر با فرض بر اینکه در فضاهایی که تهویه طبیعی در آن‌ها به‌وسیله بادگیر صورت می‌گیرد، می‌توان رابطه معناداری بین تناسبات و فرم فضا بر سرعت و عملکرد جریان باد یافت و به بررسی و مقایسه تطبیقی عملکرد بادگیرها در نمونه‌های انتخاب‌شده که ازنظر فرم و ابعاد و تناسبات متفاوت هستند پرداخته است تا بتوان از فرم بهینه در تهویه طبیعی، در معماری معاصر استفاده کرد. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی – تحلیلی است که در ابتدا به‌وسیله منابع کتابخانه‌ای و عکس‌برداری و سپس برداشت از بناهای موردمطالعه و درنهایت به کمک تحلیل CFD[1] توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان‌دهنده تفاوت در سرعت و عملکرد جریان باد در نمونه‌های موردمطالعه که ازنظر فرم و تناسبات متفاوت هستند، است و پس از انجام محاسبات فرم بهینه‌تر ازنظر عملکرد و رفتار باد مشخص شده است.

کلمات کلیدی: اقلیم گرم و خشک، تناسبات پلان، کرمان، تهویه طبیعی، بادگیر.

* دانشجوی کارشناسی، گروه هنر و معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. atteferaisi@gmail.com
** استادیار، گروه مرمت بناهای تاریخی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

مقدمه

هندسه به نظم بخشیدن به معماری و برقراری روابط آگاهانه میان اجزای بنا با یکدیگر کمک می‌کند تا در عین مرکب بودن، یکپارچگی فضا را به‌عنوان یک ترکیب خلاق و هدفمند میسر سازد. اشراف معمار به علم هندسه و استفاده خلاقانه از آن باعث به وجود آمدن نوعی معماری است که به‌دوراز برداشت‌های سلیقه‌ای، به لحاظ نظم و تناسبات قابل‌درک است (نجفقلی پورکلانتری، اعتصام و حبیب، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد الهام گرفتن از گذشتگان به‌خصوص از معماری سنتی ایران و توجه به هندسه و تناسبات آن از مهم‌ترین راه‌حل‌ها در جهت پاسخ‌گویی به کیفیت معماری معاصر و امروزی باشد.

سابقه سکونت در ایران و پیشینه درخشان در زمینه معماری، لزوم توجه به فن‌های اقلیمی معماری بومی و استفاده از آن با شیوه مدرن را ضروری می‌داند. امروزه افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی براثر استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تأمین آسایش حرارتی، یکی از معضلات این حوزه به شمار می‌رود (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶). این در حالی است که با مطالعه معماری گذشته می‌توان نتیجه گرفت که تأمین تهویه طبیعی در آن زمان با بهره‌گیری حداکثری از نیروهای طبیعی صورت می‌گرفته است.

تهویه طبیعی به معماران کمک می‌کند تا با روش‌های صحیح، هزینه انرژی موردنیاز برای ایجاد شرایط آسایش در ساختمان را به حداقل برسانند و یکی از مؤثرترین عوامل در ایجاد آسایش حرارتی شناخته شده است. این عامل بالاخص در اقلیم گرم و خشک همواره مورد توجه بوده است و معماران راه‌حل‌های متفاوتی را بسته به شرایط اقلیمی منطقه برای آن یافته‌اند (دهقانی محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ صادقی، گرجی مهلبانی و نظیف، ۱۴۰۰؛ پسران و همکاران، ۱۳۹۸؛ Ahmed, kumer & Motter, 2021).

در این پژوهش باتوجه‌به اهمیت وجود بادگیر در تهویه طبیعی ساختمان‌های سنتی و همچنین به منظور به کارگیری و استفاده از علم و هنر ارزشمند معماران گذشته سرزمینمان در این دوره و باتوجه‌به اینکه در معماری مدرن علاوه بر نیازهای اولیه و در نظر گرفتن زیبایی فضا توجه به طرح‌هایی برای جلوگیری از اتلاف انرژی عاملی مهم و تعیین‌کننده به شمار می‌رود، سعی شده است به پژوهش در رابطه با این عنصر معماری پرداخته شود و عملکرد بهینه آن بررسی شود تا بتوان از سازوکار این عنصر جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های امروزی استفاده کرد. باتوجه‌به اینکه استفاده از فرم‌ها و تناسبات هندسی در معماری بر کیفیت و چگونگی درک معنا و مفهوم بنا تأثیرگذار است، به نظر می‌رسد یافتن یک فرم هندسی مطلوب برای دستیابی به تهویه طبیعی بهتر ساختمان‌های امروزی ضروری باشد. هدف کلی این پژوهش، بررسی و مقایسه تطبیقی عملکرد جریان هوا در فرم هندسی فضاهای منتخبی که تهویه طبیعی به‌وسیله بادگیر را دارا هستند و تأثیر فرم هندسی و تناسبات فضا بر جریان و سرعت باد در این فضاها در جهت یافتن فرم بهینه و کارا برای مکان‌های امروزی است.

سؤال کلی پژوهش این است که تناسبات پلان فضایی که تهویه طبیعی در آن به‌وسیله بادگیر صورت می‌گیرد، چه تأثیری بر، سرعت و دمای جریان هوای آن فضا دارد؟

پیشینه تحقیق

تهویه در معماری به فرایند پردازش یا جایگزینی هوا در هر مکانی که خواهان فراهم نمودن کیفیت هوای بالا در داخل ساختمان باشد، گفته می‌شود. این می‌تواند

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

شامل تأمین هوای تازه، بیرون کردن دی اکسید کربن و گردوخاک، رطوبت، دود، باکتری‌ها و گرما باشد. در گذشته تمام ساختمان های تاریخی به طور طبیعی تهویه می شدند، سیستم های تهویه طبیعی برای انتقال هوای تازه در ساختمان ها به اختلاف فشار متکی هستند (Walker, 2016). اختلاف فشار می‌تواند ناشی از باد یا اثر شناوری ایجادشده توسط اختلاف دما یا تفاوت در رطوبت باشد. امروزه با افزایش آگاهی از هزینه و آثار زیست‌محیطی، استفاده از انرژی، تهویه طبیعی به روشی جذاب برای کاهش مصرف انرژی و هزینه و ارائه کیفیت قابل‌قبول محیطی داخلی و حفظ آب‌وهوای داخلی سالم، راحت و مولد تبدیل شده است. تهویه طبیعی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای تأسیسات تهویه مطبوع مورداستفاده قرار گیرد و ۱۰ تا ۳۰ درصد در کل مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. طراحی اقلیمی و توجه به مباحث مربوط به معماری پایدار از مهم‌ترین جریان‌های معماری معاصر به‌حساب می‌آید که سابقه چند هزار ساله به‌خصوص در ایران دارد. برای فهم خلأ مطالعاتی پژوهش و نیز درک مفاهیم اولیه و مرتبط با آن، درزمینه موضوع پژوهش، به‌ویژه در بخش تهویه طبیعی، بادگیر و تناسبات پلان، پژوهش‌هایی در سراسر جهان انجام شده است که می‌توان به موارد زیر در هر بخش اشاره کرد. به‌طور طبیعی، ساختمان‌های دارای تهویه به طراحی فرم ساختمان و اجزای پوشش ساختمان برای کنترل شرایط محیطی داخلی بستگی دارند (Edwards, 2000). در مورد فرم و شکل فضاها و تأثیر فرم، ابعاد و شکل بر تهویه نیز پژوهش‌هایی انجام شده است. از جمله یانگ و همکاران (۲۰۲۰) به تجزیه‌وتحلیل زیبایی‌شناسی فضاها که تهویه ساختمانی در آن دیده شده پرداخته‌اند. برخی نتایج این تحقیق قابل‌توجه هستند: اگر نوع خانه مربع باشد (اتاق مربع است و درجه تداخل خط جریان، نما، منظره و نما مسطح باشد)، دیوار جداکننده داخلی مانع سازمان‌دهی جریان هوا می‌شود، بر توزیع جریان هوا تأثیر می‌گذارد و تغییر می‌کند یا اگر نوع خانه باریک و بلند (مستطیل) باشد، بیشتر احتمال دارد تهویه ایجاد کند و سرعت باد و حجم هوا در مسیر جریان هوا بزرگ‌تر است. بااین‌حال، گرداب‌های محلی در برخی مکان‌ها تشکیل می‌شوند که گوشه‌های مرده جریان هوا را تشکیل می‌دهند که منجر به تجمع آلاینده‌ها می‌شود. باتوجه‌به مطالعات انجام‌گرفته، به نظر می‌رسد تناسبات معماری فضایی که تهویه طبیعی آن توسط بادگیر صورت می‌گیرد، باعث افزایش کارایی بادگیری‌ها خواهد شد؛ به‌گونه‌ای که هم کارایی بادگیرها را زنده کند و هم پاسخ‌گوی عملکرد مورد انتظار عصر خود باشد (جدول شماره ۱).

ادبیات موضوع

ازنظر مفهومی؛ هندسه ۲به معنای اندازه و شکل است و استفاده از هندسه در معماری را می‌توان در دو سطح موردبررسی قرارداد. سطح اول شامل اشکال هندسی هستند که عاملی بسیار مهم در وحدت‌بخشی اجزا هستند و در پلان و نماها دیده می‌شوند و سطح دوم نیز مجموعه‌هایی از خطوط غیرآشکاری هستند که در ساختار شکلی طرح به‌راحتی قابل‌دیدن نیستند ولی تأثیر بسزایی در شکل‌گیری سایر فرم‌های بنا دارند (بلیلان و حسن پورلمر ، ۱۳۹۸؛ نجفقلی پورکلانتری و همکاران، ۱۳۹۶). داشتن نظم هندسی مشخص در پلان باعث انسجام اجزا در کل بنا می‌شود. با رعایت هندسه‌ای منطقی در پلان بنا، می‌توان حجم کلی بنا را بهتر درک کرد (سیلوایه و همکاران، ۱۳۹۱).

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

ج ۱. پژوهش‌های انجام‌گرفته

محققین	نتایج
محمودی زرندی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۰	معماری و فرم تیغه‌های بادگیرها در رفتار حرارتی آن نقش دارد. باتوجه‌به اثر برنولی که سرعت سیال با گذر از مقاطع جریان‌های مختلف، متفاوت عمل می‌کند و هرچه سطح مقطع کوچک‌تر باشد، سرعت جریان بیشتر می‌شود، پس تفاوت در تیغه‌ها تفاوت در سرعت جریان را به دنبال خواهد داشت.
Farouk, 2020	سطح مقطع بادگیر بر عملکرد تهویه آن اثرگذار است. با مطالعه مقایسه‌ای که میان استفاده از بادگیر شش ضلعی و مربعی در رابطه با سرعت جریان هوا انجام شده است، نشان داده شده که بادگیرهای شش ضلعی به‌طور متوسط ۱۹ درصد جریان هوای بیشتری نسبت به بادگیرهای مربعی ارائه می‌دهند.
حجازی و همکاران، ۱۳۹۶	بادگیر با ارتفاع بیشتر باعث افزایش دمای هوا و کاهش جریان جرمی واردشده از بادگیر به ساختمان هستند، همچنین سرعت بیشتر باد باعث کاهش دمای هوا و افزایش جریان جرمی می‌شود. این در حالی است که بادگیرهای بلندتر در مقابل زلزله دچار آسیب بیشتری نسبت به بادگیرهای کوتاه‌تر می‌شوند.
جهانگیری و زارع، ۱۳۹۲	با ارائه مدل هذلولی گون برای بادگیرها بیان شده که این مدل درحالی‌که کمترین سطح در برابر باد را دارد، استحکام و مقاومت آن از بادگیرهای پیشین بیشتر بوده و به‌عنوان مدلی کاربردی جهت برجک بادگیرهای نسل جدید پیشنهاد شده است.
صادقی و همکاران، ۱۴۰۰	بهره‌گیری از بادگیر می‌تواند منجر به کاهش دما تا حدود ۹ درجه سانتی‌گراد در اقلیم گرم و خشک شود.
احدی و علیرضایی ورنوسفادرانی ۱۳۹۳،	در عملکرد بهتر بادخورها و بادگیرها، فرم مناسب سقف آن‌ها مؤثر است. به صورتی که ابتدا سقف شیب‌دار و بعدازآن فرم منحنی، کارایی بهتر ازنظر سرعت و حجم تهویه نسبت به سقف‌های مسطح دارند.
Hojati, Saedvandi & De Angelis, 2021	پس از بررسی ساختمان چهار طبقه با بادگیر، نشان داده شده است که بادگیرهای چهار طرفه می‌توانند در طبقات ساختمان، سرعت و حجم جریان مناسب برای تهویه را فراهم کنند. این در حالی است که بادگیرهای یک‌طرفه و دو طرفه نمی‌توانند در هر طبقه به‌طور مؤثر عمل کنند.
مهدوی نژاد و جوانرودی، ۱۳۹۰	در استفاده از دو گونه بادگیر دو طرفه و چهار طرفه، افزایش توان برودتی و کارایی بهینه یکی از مهم‌ترین اصول است. به‌نحوی‌که در بادگیر یزدی این اصل در طول چهار فصل سال حاکم است، درحالی‌که این نسبت در بادگیر کرمانی فقط در طول تابستان صادق است.
Varela-Boydo et al., 2021	تغییر در مقطع و موقعیت دهانه خارجی بادگیرها در عملکرد آن‌ها اثرگذار است. به این منظور یک بادگیر سنتی با ۳۳ تغییر در دهانه خارجی آن به‌وسیله تحلیل CFD موردبررسی قرار گرفت.

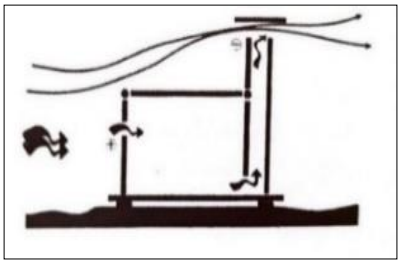
منظور از تهویه طبیعی، استفاده از فرایند جابه‌جایی هوای داخل ساختمان با هوای تازه خارج ساختمان است. بدون بهره گرفتن از دستگاه‌های تأسیساتی و صرف انرژی فسیلی وجود جریان هوا در داخل ساختمان شرط لازم نیل به آسایش است ولی کافی نیست. ازاین‌رو باید: الف) جریان هوا در محل موردنیاز برقرار شود. ب) این جریان سرعتی مناسب برای ایجاد آسایش داشته باشد. اصولاً تهویه ساختمان‌ها به سه منظور تأمین هوای تازه، تأمین آسایش حرارتی و خنک‌سازی توده مصالح ساختمان انجام می‌شود (شاطریان، ۱۳۹۰: ۵۶۴؛ قیابکلو، ۱۳۹۳: ۶۴؛ رازجویان، ۱۳۸۶: ۱۶۰). در معماری سنتی ایران، بارزترین روش مدیریت جریان و دمای هوا در ساختمان‌ها، بادگیرها هستند که بر اساس قوانین تهویه طبیعی، با استفاده از نیروی باد و پدیده دودکشی کار می‌کنند (یحیائیو همکاران، ۱۴۰۰).

بادگیر به‌عنوان یک سیستم سرمایشی، تهویه مطبوع را با استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد فراهم می‌کند و همان‌گونه که از نام آن پیدا است با هدایت جریان باد و بهره‌گیری از انرژی پاک طبیعت، در تعدیل دما و رساندن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش بسزایی داشته است (ابویی، مظفر و ذاکر عاملی، ۱۳۹۱؛ محمودی زرندی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۸۷). به‌طورکلی عملکرد بادگیر در فرایند تهویه طبیعی متأثر از دو پدیده نیروی باد و اثر دودکشی است (تصویر شماره ۱). بادگیر می‌تواند علاوه بر تأمین باد، با خارج کردن حرارت از کالبد ساختمان، فضای داخلی را خنک کند. عملکرد بادگیر در این روش به‌صورت دودکش است، به این صورت که بادگیر هوا را به خارج ساختمان می‌فرستد و به سلامت هوای داخل کمک می‌کند (دهقانی محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمودی زرندی، ۱۳۹۳: ۷۸؛ Calautit & Jimenez-

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

Bekleyen & Likoğlu, 2020 ؛Bescos, 2023).

گونه‌شناسی اشکال بادگیر بر مبنای عوامل و بخش‌های مختلف کاربردی در بادگیرها صورت می‌گیرد و نتایج حاصل از آن می‌تواند به شناخت دقیق‌تری از مقوله بادگیرها کمک کند. به‌طورکلی، بادگیر در ایران با پلان‌های مربع، مستطیل، شش و هشت‌ضلعی و دایره‌ای دیده شده است. بادگیرها نه‌تنها در فرم کلی پلان، بلکه ازلحاظ فرم تیغه‌های داخلی نیز متفاوت‌اند. تیغه‌ها که به دو دسته تیغه‌های اصلی و فرعی تقسیم می‌شود از عناصری خشت و آجر تشکیل‌شده‌اند که ستون بادگیر را به چند ستون کوچک‌تر تقسیم می‌کنند، باتوجه‌به فرم هندسی پلان و نحوه قرارگیری تیغه‌ها می‌توان بادگیرها را به سه دسته (جدول شماره ۲)، تقسیم کرد (بهادری نژاد، ۱۳۸۷: ۲۵۸؛ Jomehzadeh et al, 2020؛ Kheirkhah Sangdeh & Nasrollahi, 2022).



ت ۱. چگونگی خروج و ورود هوا و عملکرد بادگیر (مأخذ: بتل مک کارتی، ۱۳۸۹)

تفاوت نحوه استقرار بادگیرها در پلان بنا به طراحی پلان مربوط می‌شده است. اما احتمالاً تأثیراتی نیز بر عملکرد سرمایشی بادگیر دارد. از اجزای اصلی بنای ایرانی که مرتبط با بادگیر است می‌توان حیاط مرکزی و تالار را نام برد، تالار معمولاً به‌طور مستقیم با بادگیر در ارتباط است. البته گاهی این ارتباط با واسطه فضایی دیگری انجام می‌شود. ازنظر موقعیت قرارگیری بادگیرها می‌توان آن‌ها را به سه گونه تقسیم‌بندی نمود:

۱. قرارگیری بادگیر در پشت تالار مستطیل شکل و در محور تقارن آن- در این‌گونه، محور تقارن بادگیر و تالار و حیاط در امتداد یکدیگر قرارگرفته‌اند. در برخی بناها که ارتفاع تالار به ۵ متر هم می‌رسد، بادگیر به شاه‌نشین، که نیم‌طبقه‌ای واقع در بالای تالار است نیز باد خنک می‌رساند.

۲. قرارگیری بادگیر در گوشه حیاط- در این‌گونه بادگیر ارتباط مستقیمی با تالار ندارد و فقط به‌واسطه فضای حوض‌خانه به آن متصل می‌شود.

۳. قرارگیری بادگیر دریکی از گوشه‌های شمالی تالار- در این نوع سازمان‌دهی، تالار با شکل صلیبی در امتداد محور حیاط قرار گرفته و بادگیر در محور تقارن تالار واقع نشده است (محمودی زرندی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۰؛ بهادری نژاد، ۱۳۸۷).

معرفی بستر تحقیق

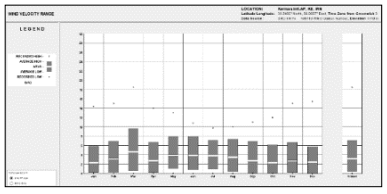
اقلیم گرم و خشک باتوجه‌به نیاز بالا به مصرف انرژی برای تهویه به‌عنوان بستر اقلیمی و شهر کرمان به دلیل ویژگی‌های خاص اقلیمی و بهره‌گیری از چند بادگیر شاخص انتخاب شده است. کرمان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه ۳ دقیقه ۳۶ ثانیه شرقی و در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه ۳۲ دقیقه ۸ ثانیه شمالی در قسمت جنوب شرقی کشور واقع شده است و دارای اقلیمی گرم و خشک است. باتوجه‌به آمار ارائه شده از اداره کل هواشناسی استان کرمان، دمای هوا و بارش شباهت زیادی به سایر شهرهای اقلیم گرم و خشک دارد (هاشمی رفسنجانی و حیدری، ۱۳۹۷). در تصویر شماره ۲ با استفاده از اطلاعات اولیه و نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت، نمودار سرعت باد، گلباد، محدوده دمای هوا شهر کرمان نشان داده شده است. باتوجه‌به نمودارهای به‌دست‌آمده، نمایان است

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

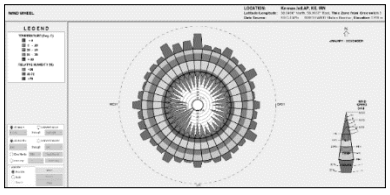
که شدت گرمای هوا در تابستان این شهر، گاه به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و شدت سرمای زمستان در بعضی سال‌ها ۲- درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است.

ج ۲. دسته‌بندی انواع بادگیرها بر مبنای فرم هندسی پلان و نحوه قرارگیری تیغه‌ها (مأخذ: بهادری نژاد، ۱۳۸۷)

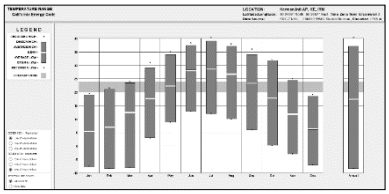
نوع	دسته‌بندی	شکل
بادگیر با پلان مربع	-	
بادگیر با پلان شش و یا هشت‌ضلعی	-	
بادگیر با پلان مستطیل	تیغه‌های ضربدری	
	تیغه‌های عمود بر هم به شکل صلیب	
	تیغه‌های عمود بر هم به شکل H	



الف. نمودار سرعت باد



ب. نمودار گلباد



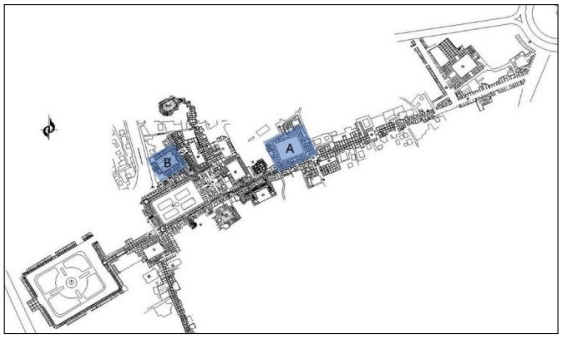
ج. نمودار محدوده دمای هوا

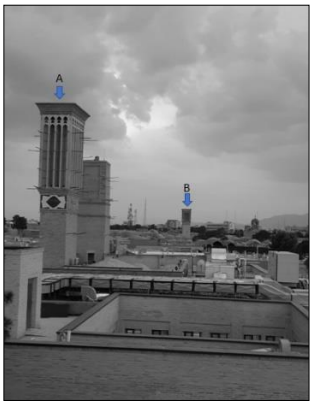
ت ۲. نمودار سرعت باد، گلباد، دمای هوای شهر کرمان (منبع: نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

ازآنجایی‌که مطالعه نمونه‌های موردی به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به اهداف و همچنین روش کار می‌تواند به محقق کمک کند؛ بنابراین، از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند موفقیت هر پروژه تحقیقاتی را تحت تأثیر قرار دهد انتخاب نمونه موردمطالعه است. در این تحقیق برای انتخاب نمونه‌های موردمطالعه، معیارهایی در نظر گرفته شده است. ازجمله دسترسی به نمونه‌ها جهت برداشت یکسان بودن بادگیرهای نمونه‌های موردی ازنظر ارتفاع و پلان و آرایش تیغه‌ها که در هر دو نمونه موردمطالعه بادگیر با پلان مستطیل از نوع تیغه‌های عمود بر هم به شکل صلیب هستند، همچنین یکسان بودن وضعیت بادگیرها ازنظر استقرار آن‌ها در پلان بنا، هر دو نمونه موردمطالعه محور تقارن بادگیر و تالار و حیاط در امتداد یکدیگر قرار گرفته‌اند. درنهایت قرارگیری هر دو نمونه در یک بافت شهری، باتوجه‌به اینکه (Jomehzadeh et al., 2020؛ Sadeghi et al., 2020)، نمی‌توان تأثیر سازه‌های اطراف و بافت شهری را در راندمان تهویه بادگیر نادیده گرفت و در محیط‌های شهری، ساختمان‌ها اغلب نزدیک به هم قرار می‌گیرند، دستگاه‌های تهویه طبیعی به شدت تحت تأثیر سازه‌های اطراف هستند. همچنین هندسه و پیکربندی بافت شهری و موانع بیرونی بر ویژگی‌های جریان باد و رسیدن آن به ساختمان اثرگذار است. به‌منظور شفاف‌تر شدن این موضوع محل قرارگیری دو

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

نمونـه مـوردی نسـبت بـه هـم در یـک بافـت بـرای مدل‌سـازی، قرارگیـری سـاختمان‌هـا در اقلـیم کرمـان، شهری در (تصویر شماره ۳) نشان داده شده است.





ت ۳. پلان بازار کرمان و موقعیت قرارگیری نمونه‌های موردی نسبت به هم A کاروان‌سرای وکیل و B مدرسه ابراهیم‌خان (مأخذ: مرکز اسناد میراث فرهنگی استان کرمان)

مدرسه ابراهیم‌خان

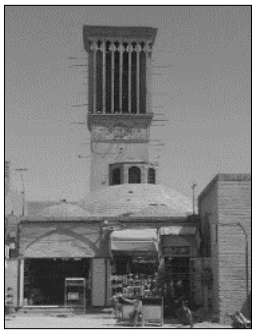
قدیمی‌ترین کتیبه مدرسه ابراهیم‌خان مربوط بـه سـال ۱۲۳۲ قمـری اسـت. سـاختمان مدرسـه دارای اتـاق شاه‌نشین، محراب و غرفه‌های اطراف آن است (تصـویر شماره ۴). ایـن سـاختمان دارای دو اشـکوب و بـادگیر چهار سویه با سقف تخت است (تصویر شـماره ۵) کـه نشان‌دهنده تلاش معماران برای رسیدن به پوشـش‌هـای هرچه تخت‌تر است (پیرنیا، ۱۳۹۸: ۳۵۶).

کاروان‌سرای وکیل

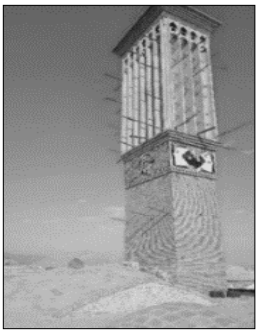
کاروان‌سرای وکیل در جناح شمالی بازار وکیل به عهد ناصرالدین‌شـاه قاجـار تعلـق دارد (تصـویر شـماره ۶). عناصر اصلی طرح عبارت‌اند از: صحنی وسـیع، دالانـی کوتاه در شمال که صـحن را بـه کوچـه سـردار مـرتبط می‌کند، دالانی به موازات ضلع شـرقی صـحن در شـرق آن، حیاط کوچک در شـمال شـرقی بنـا. حجـم بنـا در مقایسه با صحن یکپارچه و وسیع تقسیمات خرد و کثیر دارد. این خردی تقسیمات با عقب‌نشینی طبقـه بـالا دو چندان شده است. در میانـه‌هـای جبهـه‌هـای شـمالی و جنوبی ایوان با دهانه وسیع‌تر و ارتفاع معـادل دو طبقـه قرار گرفته و هر یک از هشتی‌های واقع در ایوان شمالی و جنوبی طاق مدور دارد که حجم بیرونی آن در صحن پیدا است. به‌علاوه بادگیری در ایوان شمالی بر بام دیـده می‌شود که از شاخص‌ترین حجم‌های بنا اسـت و ایـوان شمالی را مشخص‌تر می‌سازد (اقدامی، طحانی و رضایی رحیمی ، ۱۳۹۳)

الف **ب**

ت ۴. اتاق بادگیر مدرسه ابراهیم‌خان (الف) و اتاق متصل به بادگیر مدرسه ابراهیم‌خان (ب)



ت ۵. دورنمای بادگیر مدرسه ابراهیم‌خان



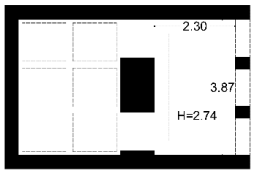
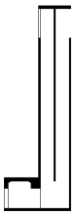
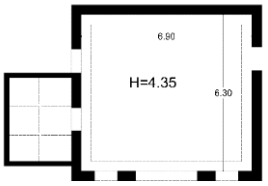
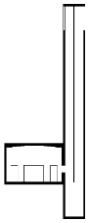
ت ۶. بادگیر کاروان‌سرای وکیل

درنهایت این دو نمونه موردی برداشت و اطلاعات آن برای تحلیل و بررسی ثبت شد (جدول شماره ۳).

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

ج ۳. برداشت از نمونه‌های موردمطالعه

نام بنا	پلان اتاق زیر بادگیر	برش بادگیر	موقعیت قرارگیری بادگیر در بنا
مدرسه ابراهیم‌خان			
کاروان‌سرای وکیل			

روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی رفتار و سرعت باد در تناسبات اتاقی که توسط بادگیر تهویه طبیعی در آن صورت می‌گیرد از مدل‌سازی CFD به کمک نرم‌افزار Design Builder Version 7.0.1.004 استفاده شده است. مدل‌سازی شبکه جریان هوای نرم‌افزار انرژی پلاس با استفاده از مقایسه نتایج مدل‌سازی با سری زیادی از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی با کیفیت بالا توسط لابراتواری ملی اواک ریگ اعتبارسنجی شده است و همچنین اعتبارسنجی مدل‌سازی شبکه جریان هوای نرم‌افزار انرژی پلاس با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری‌شده توسط لابراتواری علوم ساختمانی در مرکز انرژی خورشیدی فلوریدا انجام شده است (Lixing, 2007).

نخستین گام در روند این تحقیق، مطالعه کتابخانه‌ای در رابطه با کلیات موضوع در کتب، اسناد، مقالات، تصاویر و سپس انتخاب دو نمونه از کاربری‌های شاخص که تهویه طبیعی در آن‌ها به‌وسیله بادگیر انجام می‌شود از بافت قدیم شهر کرمان بر اساس معیارهای مکان، زمان، نوع بادگیر، ارزش‌های معماری و کمترین میزان عوامل مداخله‌گر تأثیرگذار بر تهویه طبیعی و بررسی جزئیات و تناسبات بادگیر و اجزای آن و نیز تناسبات اتاق که به‌وسیله بادگیر تهویه طبیعی در آن صورت می‌گیرد پرداخته شد و درنهایت اطلاعات آب و هوایی شهر کرمان به‌صورت فایلی با فرمت EPW حاوی سوابق آب و هوایی شهر کرمان به‌عنوان بانک اطلاعات آب و هوایی در قالب موتور انرژی پلاس بر روی نرم‌افزار Design Builder برای شبیه‌سازی مورداستفاده قرار گرفت.

روش تحقیق در این پژوهش از منظر هدف در گروه پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد که در گروه تحقیقات توصیفی است و همچنین روش گردآوری داده‌ها بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و روش تجزیه‌وتحلیل به‌صورت علی و بر اساس نتایج مدل‌سازی است.

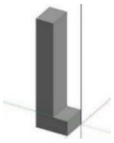
تحلیل جریان هوای اتاق متصل به بادگیر نمونه‌های موردی

شبیه‌سازی این پژوهش به کمک CFD (مکانیک سیالات محاسباتی) انجام شده است. هدف از این شبیه‌سازی تحلیل سرعت‌سنجی جریان هوا در اتاق‌هایی

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

که به‌وسیله بادگیر تهویه طبیعی در آن‌ها صورت می‌گیرد، است. در این بررسی شرایطی به‌عنوان پیش‌فرض مدنظر قرار گرفته شده است که در ذیل آمده است. دو اتاق متصل به بادگیر جهت مدل‌سازی ازلحاظ تناسبت با در نظر گرفتن بادگیرهایی با تناسبات و ارتفاع یکسان (۱۸ متر) انتخاب شده است، همچنین هر دو بادگیر متصل به اتاق موردمطالعه ازنظر گونه‌شناسی بادگیرها بر مبنای استقرار در پلان از نوع بادگیر با پلان مستطیلی با تیغه‌های عمود برهم به شکل صلیب هستند و نیز محل استقرار بادگیرها در پلان نیز یکسان بوده و در هر دو نمونه محور تقارن حیاط، اتاق متصل به بادگیر و بادگیر در امتداد یکدیگر قرار گرفته‌اند، کوچک‌ترین آن‌ها اتاق متصل به بادگیر مدرسه ابراهیم‌خان با مساحت ۸/۹۰ و اتاقک بادگیر به مساحت ۱۱/۲۳ و دارای ۶ تیغه با فرم مستطیلی و بزرگ‌ترین آن‌ها اتاق متصل به بادگیر کاروان‌سرای وکیل با مساحت ۴۳/۴۷ و اتاق بادگیر به مساحت ۷/۷ و دارای ۶ تیغه با فرم مستطیلی و ارتفاع یکسان در نظر گرفته شد. پس از بررسی‌های میدانی و برداشت از مکان‌های مورد تحلیل، اطلاعات آب‌وهوایی شهر کرمان به فرمت EPW تهیه شد و در نرم‌افزار دیزاین بیلدر وارد شد و به‌منظور یکسان بودن شرایط زمانی روز انقلاب تابستانی برای تحلیل هر دو نمونه موردی در نظر گرفته شد (جدول شماره ۴).

ج ۴. نمونه‌های انتخابی

نمونه موردی	اطلاعات موردبررسی	مدل‌سازی در نرم‌افزار
مدرسه ابراهیم‌خان- کرمان	ابعاد اتاق متصل به بادگیر ۲/۳۰ در ۳/۸۷ و ارتفاع ۲/۷۴ متر دارای ۳ در ورودی از حیاط است که به‌وسیله دو در به اتاقک بادگیر متصل شده است.	
کاروان‌سرای وکیل- کرمان	ابعاد اتاق متصل به بادگیر ۶/۳۰ در ۶/۹۰ و ارتفاع ۴/۳۵ متر دارای ۳ در ورودی از حیاط است که به‌وسیله یک بازشو به اتاقک بادگیر متصل شده است.	

باتوجه‌به اینکه بادگیر این قابلیت را دارد باد خنک را از هر جهت گرفته و به داخل اتاق هدایت کند و نیز می‌تواند به‌صورت دودکش عمل کند که در این حالت هوای گرم در اثر اختلاف فشار بین بالا و پایین دودکش، از وجه پشت به باد بادگیر کشیده می‌شود؛ در مواقعی که سرعت باد کم است، تهویه ساختمان به‌وسیله باد خان‌های بادگیر تنها به‌وسیله اثر دودکشی ادامه می‌یابد (بتل مک کارتی، ۱۳۸۹). در این پژوهش به منظور تحلیل سرعت‌سنجی جریان هوا، اثر دودکشی بادگیر در نظر گرفته شد و دمای هوای ورودی از حیاط مجموعه به اتاق متصل به بادگیر ۱۰ درجه و دمای هوای خروجی از دریچه‌های بادگیر ۲۰ درجه برای هر دو اتاق متصل به بادگیر به‌منظور ایجاد شرایط دمایی یکسان در نظر گرفته شد .

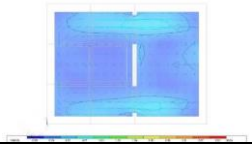
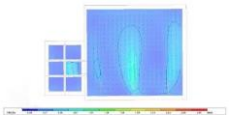
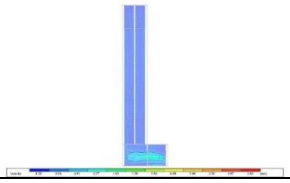
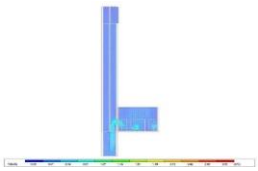
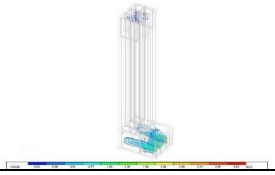
مقایسه سرعت و رفتار جریان هوا در نمونه‌های موردی

جهت دستیابی به‌سرعت و رفتار جریان هوای عبوری در اتاق‌ها پس‌ازاینکه هندسه بادگیر و ساختمان به‌وسیله برداشت‌های انجام‌شده از بنا در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شد و اطلاعات اقلیمی و همچنین میزان هوا و دمای آن برای هر دو نمونه موردی یکسان در نظر گرفته شد، تحلیل‌های CFD از نرم‌افزار تهیه شد.

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

سرعت جریان هوا از درهای ورودی به داخل اتاق در مدرسه ابراهیم‌خان ۰/۵۱ متر بر ثانیه و سرعت جریان هوا از درهای ورودی به داخل اتاق در کاروان‌سرای وکیل ۰/۸۱ است (جدول شماره ۵)، و باتوجه‌به ابعاد و تناسبات اتاق متصل به بادگیر و نیز موقعیت قرارگیری بازشوهای اتاق، به اتاقک بادگیر سرعت جریان هوا ورودی از اتاق به بادگیر در مدرسه ابراهیم‌خان ۰/۷۷ متر بر ثانیه و سرعت جریان هوا ورودی از اتاق به بادگیر در قسمت بازشو در کاروان‌سرای وکیل ۰/۵۴ متر بر ثانیه است.

ج ۵. مقایسه سرعت و رفتار جریان هوای عبوری در اتاق متصل به بادگیر نمونه‌های موردی

مدارک	مدرسه ابراهیم‌خان	کاروان‌سرای وکیل
پلان		
مقطع		
سه‌بعدی		

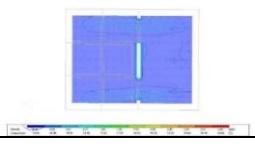
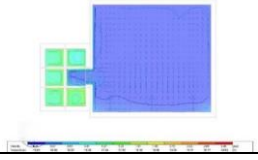
مقایسه توزیع دمای جریان هوا در نمونه‌های موردی

جریان هوا با سرعت ۰/۲۶ متر بر ثانیه و همچنین دمای ۱۶/۰۶ سانتی‌گراد در فضای اتاق متصل به بادگیر مدرسه ابراهیم‌خان جریان دارد و درنهایت این دما در بادگیر به ۲۰/۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این در حالی است که در اتاق متصل به بادگیر کاروان‌سرای وکیل سرعت جریان هوا ۰/۲۷ متر بر ثانیه و همچنین دمای هوا ۱۶/۰۸ سانتی‌گراد است و درنهایت این دما در بادگیر به ۲۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (جداول شماره ۶ و ۷).

ج ۶. دمای هوای ماهانه هر اتاق برحسب سانتی‌گراد (الف) کاروان‌سرای وکیل و (ب) مدرسه ابراهیم‌خان

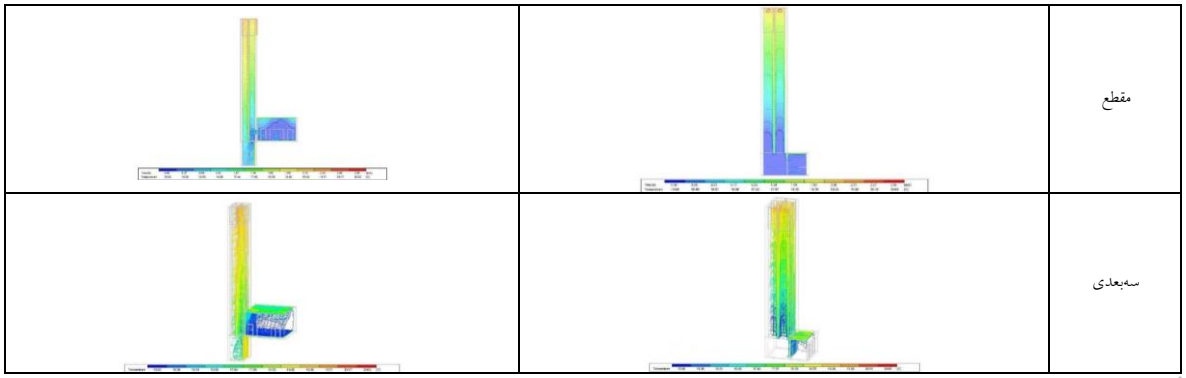
زمان	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
دمای هوا (الف)	۱۷/۸۴	۱۸/۹۰	۲۰/۶۴	۲۲/۶۰	۲۴/۲۶	۲۵/۹۶	۲۶/۴۲	۲۵/۸۷	۲۴/۸۲	۲۲/۸۶	۲۰/۷۷	۱۸/۶۶
دمای هوا (ب)	۱۸/۸۸	۱۹/۹۷	۲۱/۲۴	۲۲/۸۲	۲۴/۰۳	۲۵/۳۵	۲۵/۶۵	۲۵/۳۰	۲۴/۶۳	۲۳/۱۳	۲۱/۵۳	۱۹/۷۹

ج ۷. مقایسه توزیع دمای جریان هوا در اتاق متصل به بادگیر نمونه‌های موردی

مدارک	مدرسه ابراهیم‌خان	کاروان‌سرای وکیل
پلان		

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]



یافته‌ها

جهت شناخت و تحلیل وضعیت تهویه طبیعی بادگیرها و تأثیر تناسبات بر عملکرد مطلوب آن‌ها در تهویه طبیعی، ابتدا بادگیرها از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرارگرفته شدند و جنبه‌های مختلف کالبدی آن‌ها بررسی شد. سپس برای بررسی تأثیر تناسبات و فرم فضای اتاق‌هایی که تهویه طبیعی در آن‌ها توسط بادگیر صورت می‌گیرد، دو نمونه موردی از بافت قدیم شهر کرمان با تناسبات متفاوت اتاق‌ها و همچنین دو حجم متفاوت انتخاب شد. در دو مدل منتخب اثر دودکشی بادگیرها مورد تحلیل قرار گرفته شد و علی‌رغم یکسان بودن ارتفاع و نوع بادگیرها از منظر آرایش تیغه‌ها و همچنین در نظر گرفتن شرایط زمانی و مکانی یکسان و در نظر گرفتن دمای هوای ورودی و خروجی هم‌اندازه در دو نمونه موردی برای تحلیل CFD در نرم‌افزار، اطلاعات متفاوتی از نمونه‌ها به دست آمده است.

با بررسی ابعاد و تناسبات نمونه‌های موردی و توجه به رفتار و چرخش جریان هوا در فضا و همچنین باتوجه‌به حجم‌های نمونه‌های موردی (جدول شماره ۲) نشان داده شده که جریان هوا در مدرسه ابراهیم‌خان با حجم مکعب‌مستطیل (نسبت طول به عرض ۱/۶۸) و فرم کشیده و ابعاد و تناسبات کوچک‌تر به‌طور مستقیم صورت گرفته و در ابتدا سرعت ورود جریان هوا از حیاط به فضای اتاق با سرعت (۰/۵۱ متر بر ثانیه) صورت گرفته که این سرعت هنگام عبور جریان هوا از ورودی‌های بین فضای اتاق و بادگیر به‌صورت چشمگیری افزایش یافته است؛ و با بررسی‌های صورت‌گرفته از نتایج به‌دست‌آمده از کاروان‌سرای وکیل با ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر و حجم مکعب (نسبت طول به عرض ۱/۰۹) نشان داده شده که جریان هوا در کاروان‌سرای وکیل با پلان مربعی در فضا اتاق به‌طور بهینه گردش داشته است و باتوجه‌به ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر این فضا سرعت جریان هوای ورودی از حیاط به اتاق بیشتر بوده (۰/۸۱ متر بر ثانیه) این در حالی است که این سرعت در هنگام ورود جریان هوا به اتاقک بادگیر کاهش می‌یابد و به‌طورکلی سرعت جریان هوای ورودی از حیاط به اتاق‌ها در هر دو نمونه موردی در ابتدای ورود افزایش یافته است.

باتوجه‌به در نظر گرفتن حالت اثر دودکشی در عملکرد بادگیرها و به این منظور در نظر گفتن دمای هوای ورودی کمتر نسبت به دمای هوای خروجی برای تحلیل CFD در بادگیرها، دمای اتاق‌های موردبررسی در هر دو نمونه موردی پایین‌تر از دمای هوای درون تیغه‌های بادگیر است و همچنین این دما در همه بخش‌های اتاق در هر دو نمونه موردی یکسان است.

به‌منظور اعتبارسنجی تحلیل وضعیت سرعت و دمای جریان هوا، دو پارامتر دما و سرعت باد در یک روز

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

مشخص برای هر دو نمونه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تجربی نمونه‌ها، دمای هوای بیرونی را ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای هوای اتاق بادگیر در مدرسه ابراهیم‌خان و کاروان‌سرای وکیل با اختلاف ناچیز به ترتیب، ۲۱ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. همچنین سرعت جریان باد از درهای ورودی به اتاق متصل به بادگیر برای مدرسه ابراهیم‌خان و کاروان‌سرای وکیل به ترتیب ۰/۶ و ۰/۷ متر بر ثانیه است. همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از مطالعات انجام‌شده توسط بهادری نژاد (۱۳۸۷) اعتبارسنجی شده است. نتایج به‌دست‌آمده در مورد یک بادگیر در شرایطی که هوای بیرون دارای حداکثر و حداقل دمای ۳۵/۷ و ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است، نشان می‌دهد دمای هوای ورودی به ساختمان از یک بادگیر سنتی برای سرعت‌های باد ۵ و ۱۰ متر بر ثانیه، تقریباً برابر با دمای هوای بیرون است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند با افزایش سرعت باد، جریان جرمی هوای ورودی به ساختمان افزایش می‌یابد و با دو برابر شدن این سرعت، جریان جرمی نیز تقریباً دو برابر می‌شود.

نتیجه

باتوجه‌به اینکه در دو نمونه موردی بررسی‌شده تنها تناسبات و فرم فضای اتاق‌های متصل به بادگیر متفاوت هستند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت فرم فضا و ابعاد و تناسبات اتاق‌هایی که تهویه طبیعی در آن‌ها به‌وسیله بادگیر صورت می‌گیرد در سرعت جریان باد و رفتار حرارتی آن نقش دارد. نتایج حاصل از تحلیل CFD کاروان‌سرای وکیل با ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر و همچنین حجم مکعب و مدرسه ابراهیم‌خان با ابعاد و تناسبات کوچک‌تر با فرم کشیده‌تر و حجم مکعب‌مستطیلی نشان می‌دهد سرعت جریان هوای ورودی به فضایی دارای ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر بیشتر است و این در حالی است که سرعت برای ورود هوا از اتاق به ساختار بادگیر در فضای با ابعاد و تناسبات کوچک‌تر، بیشتر نشان داده شده است و نیز توزیع جریان هوا و درجه حرارت آن در فضا با ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر به اندازه ناچیز بیشتر است. باتوجه‌به متفاوت بودن فرم و حجم نمونه‌های موردی و نتایجی که از نحوه حرکت و مسیر چرخش باد در اتاق‌های متصل به بادگیر به‌وسیله نرم‌افزار به دست آمده، نتایج نشان می‌دهند که فرم و حجم فضا بر مسیر چرخش باد تأثیرگذار است و عملکرد رفتار باد در فضایی با فرم و حجم مکعب و پلان مربع (کاروان‌سرای وکیل) بهتر است و گردش باد در تمام فضای اتاق متصل به بادگیر به‌خوبی دیده شده است. این در حالی است که در فضایی با تناسبات کشیده و حجم مکعب‌مستطیل جریان باد مستقیم از ورودی به اتاقک بادگیر است.

باتوجه‌به تحلیل نمونه‌های موردی و نتایجی که از تأثیر تناسبات و حجم آن‌ها بر عملکرد بادگیر به دست‌آمده، چنین دریافت شد که می‌توان از تناسباتی که در اتاق‌هایی که تهویه طبیعی در آن‌ها به‌وسیله بادگیر صورت می‌گیرد و باعث عملکرد بهتر تهویه طبیعی شد، در طراحی بناهای معماری معاصر و سیستم‌های تهویه طبیعی امروزی نیز استفاده کرد، به این منظور:

۱. استفاده از حجم مکعب و نسبت طول به عرض مساوی در پلان فضاهایی که گردش هوا در آن‌ها دارای اهمیت است و تهویه هوا به‌صورت طبیعی در آن‌ها صورت می‌گیرد، باعث عملکرد بهتر در تهویه خواهد شد.

۲. برای طراحی فضاهایی که سرعت جریان باد دارای اهمیت است، فضاها با ابعاد و تناسبات بزرگ‌تر عملکرد مطلوب‌تری دارند.

با بررسی‌های دقیق‌تر و نتایجی که از مدل‌سازی و

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

تحلیل در نرم‌افزارهای تحلیل CFD به دست آمده، واضح است که سیستم‌های تهویه طبیعی همچون بادگیرها نکات قابل‌توجه بسیاری دارند که پژوهش‌های بیشتری در این زمینه را طلب می‌کند تا بدین‌وسیله بتوان از علم و هنر ارزشمند معماران گذشته سرزمینمان در خلق آثار معماری امروز استفاده کرد.

پی‌نوشت

1. Computational Fluid Dynamics
2. Geometry

فهرست منابع

- ابویی، رضا؛ مظفر، فرهنگ؛ ذاکر عاملی، لیلا. (۱۳۹۱). پیدایش بادگیر در خانه‌های دشت یزد - اردکان. *مرمت و معماری ایران (مرمت آثار و بافت‌های تاریخی فرهنگی)*، ۲(۳). ۱۵-۲۸
- احدی، امین اله؛ 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).
- بلیلان، لیدا؛ حسن پورلمر، سعید. (۱۳۹۸). الگوهای هندسی و تناسبات طلایی، زبان مشترک معماری و هنر در روستای تاریخی ابیانه. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۷(۹)، ۶۸-۴۵.
- بهادری‌نژاد، مهدی. (۱۳۸۷). *بادگیر، شاهکار مهندسی ایران*. تهران: نشر یزدا.
- اقدامی، حامد؛ طحانی، اسدالله؛ رضایی رحیمی، محمد. (۱۳۹۳). تبیین کاروان‌سراهای دوران اسلامی (مطالعه موردی کاروان‌سرای گنجعلی‌خان و وکیل کرمان). *اولین همایش ملی عمران، معماری و توسعه پایدار*: https://civilica.com/doc/332020/
- پسران، آرش؛ کریمی نیا، شهاب؛ ناظمی، الهام؛ طغیانی، شیرین. (۱۳۹۸). ارزیابی وجود مکانیسم طراحی منطبق بر تهویه طبیعی در معماری سنتی شهرهای اقلیم گرم و خشک بدون بادگیر (نمونه موردی: فضای بیرونی بناهای چهار طرفه قاجاری شیراز). *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۷(۹)، ۱۱۹-۱۰۱.
- پیرنیا، محمد کریم. (۱۳۹۸). *سبک‌شناسی معماری ایرانی*. تهران: گل جام. چاپ بیست و یکم.
- سیلوایه، سونیا؛ دانشجو، خسرو؛ فرمهین فراهانی، سعید. (۱۳۹۱). هندسه در معماری ایرانی پیش از اسلام و تجلی آن در معماری معاصر ایران. *نقش‌جهان*. ۳(۱). ۶۵-۵۵.
- بتل مک کارتی، مهندسین مشاور. (۱۳۸۹). *باد خان ملاحظات کالبدی باد در ساختمان*. ترجمه: احمدی‌نژاد، محمد. اصفهان: خاک.
- رازجویان، محمود. (۱۳۸۶). *آسایش در پناه باد*. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- جهانگیری، میلاد؛ زارع، عبدالرضا. (۱۳۹۲). مطالعه سازه‌های بادگیر و بهینه‌سازی مقطع بادگیر تحت اثر انرژی تجدید پذیر باد به‌عنوان یک سیستم تهویه مطبوع در معماری قدیمی ایران. *نشریه مباحث برگزیده در انرژی*. ۱(۱). ۳۹-۳۱.
- حجازی، مهرداد؛ حجازی، بینا؛ حجازی، صبا. (۱۳۹۶). معماری، عملکرد سرمایشی و رفتار لرزه‌ای بادگیر. *مسکن و محیط روستا*، -(۱۵۸).۳۴-۲۱.
- دهقانی محمدآبادی، حسین؛ یزدان فر، سید عباس؛ دهقان، علی‌اکبر؛ دهقانی محمدآبادی، ابوالفضل. (۱۳۹۵). تحلیل عددی عملکرد بادگیر چهار جهته متصل به تالار و حیاط مرکزی در زوایای مختلف برخورد باد. *مهندسی مکانیک مدرس*، ۱۶(۱۲)، ۱۲۵-۱۳۴.
- شاطریان، رضا. (۱۳۹۰). *اقلیم و معماری*. تهران: انتشارات سیمای دانش.
- صادقی، نگار؛ گرجی مهلبانی، یوسف؛ نظیف، حمیدرضا. (۱۴۰۰). بررسی عددی عملکرد حرارتی بادگیر در ایجاد تهویه طبیعی در اقلیم گرم و خشک. *انرژی‌های تجدید پذیر و نو*، ۸ (۱)، ۴۰-۳۳.
- قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۳). *مبانی فیزیکی ساختمان ۴ (سرمایش غیرفعال)*. تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- محمودی زرندی، مهناز.(۱۳۹۳). *بادگیر، نماد معماری ایران*. تهران: نشر یزدا.
- محمودی زرندی، مهناز؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۸۷). تحلیلی بر گونه شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی. *هنرهای زیبا*، -(۳۶)، ۳۶-۲۷.
- محمودی زرندی، مهناز، مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۹۰). بررسی چگونگی تأثیرگذاری پلان معماری بادگیرها در کاهش دمای محیط. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۳(۱

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]

(مسلسل ۴۸))، ۹۱-۸۳.

- معماریان، غلامحسین؛ محمدمرادی، اصغر؛ حسینعلی پور، سید مصطفی؛ حیدری، ابوالفضل؛ دودی، سعیده. (۱۳۹۶). تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه‌نوی سیستان به کمک CFD. *مسکن و محیط روستا*، ۳۶ (۱۵۷)، ۳۶-۲۱.

- مهدوی نژاد، جواد؛ جوانرودی، کاوان. (۱۳۹۰). مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه‌ی بادگیر یزدی و کرمانی. *نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی*.۳(۴) ۷۹-۶۹.

- نجفقلی پورکلانتری، نسیم؛ اعتصام، ایرج؛ حبیب، فرح. (۱۳۹۶). بررسی هندسه و تناسبات طلائی در معماری ایران (نمونه مطالعاتی: خانه‌های سنتی شهر تبریز). *مدیریت شهری*، ۱۶(۴۶). ۴۹۱-۴۷۷.

- هاشمی رفسنجانی، لیلی السادات؛ حیدری، شاهین. (۱۳۹۷). ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک مطالعه موردی: استان کرمان. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۶(۷). ۶۵-۴۳.

- یحیائی، مهدی؛ مفیدی شمیرانی، مجید؛ احمدی، وحید.(۱۴۰۰). مکان‌یابی پهنه‌های بالقوه جهت استقرار بادگیر در مناطق گرم و خشک کشور به‌منظور تهویه طبیعی ساختمان. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۶(۲). ۱۰۰-۱۱۳.

- Ahmed, T., kumer, P., Motter, L. (2021). Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 138.

- Bekleyen. A., Likoğlu, Y. (2020). An INVESTIGATION on the thermal effects of windcatchers. Journal of Building Engineering.

- Calautit, J., Li, J., Jimenez-Bescos, C. (2023). Experiment and numerical investigation of a novel flap fin louver windcatcher for multi-directional natural ventilation and passive technology integration, Building and Environment.

-Edwards, C. (2000). Design Rules of Thumb for Naturally Ventilated Office Buildings in Canada. Master of Advance Studies in Architecture Thesis, University of British Columbi, Vancouver.

- Farouk, M. (2020). Comparative study of hexagon & square windcatchers using CFD simulations. Journal of Building Engineering.31.

- Yang, Xu., Chang-Bing, Ch., Zheng-Qun, C. (2022). "Analysis on Indoor Ventilation Environment of House Type Based on Architectural Aesthetics", Complexity, Article ID 5382999, 14. https://doi.org/10.1155/2022/5382999.

- Hojati, A., Saedvandi, M., & De Angelis, E. (2021). Analysis of Performance of Three Wind-catchers for Ventilation of Contemporary Houses in Isfahan- Hot and Arid Climate - hot and dry climate of Isfahan. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 11(3), 16-32.

-Jomehzadeh, F., Hussen, H., Calautit, J. Nejat, P. (2020). Natural ventilation by windcatcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. Energy & Buildings 226.

- Kheirkhah Sangdeh. P, Nasrollahi.N.(2022). Windcatchers and their applications in contemporary architecture. Energy and Built Environment .3. 56-72.

- Lixing, G. (2007). Airflow Network Modeling in EnergyPlus, Conference Proceedings 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition on September 3-6, in Beijing, China.

- Sadeghi, M., Wood, G., Samali, B., de Dear, R. (2020). Effects of urban context on the indoor thermal comfort performance of windcatchers in a residential setting. Energy & Buildings .219.

- Varela-Boydo, C.A., moya, S.L, Watkins, R. (2021). Analysis of traditional windcatchers and the effects produced by changing the size, shape, and position of the outlet opening. Journal of Building Engineering .33.

- Walker, A. (2016). Natural Ventilation. National Renewable Energy Laboratory. https://www.wbdg.org/resources/natural-ventilation

DOI: 10.22034/42.183.33

[Downloaded from jhre.ir on 2024-05-13]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.47]