مقایسه راهکارهای جلوگیری از اتلاف انرژی گرم‌خانه‌ها در حمام‌های سنتی کرمان

علی هاشمی*، علی عسگری، سپیده سهرابی*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

در میان الگوهای شناخته‌شده در معماری سنتی ایران، حمام‌ها به جهت جلوگیری از اتلاف حرارت موردنیاز کاربران در حین استحمام حائز توجه‌اند. در این راستا در برداشت‌های مختلف از حمام‌های سنتی، فرضیات متنوعی در خصوص راهکارهای مؤثر در کاهش اتلاف حرارت و ذخیره‌سازی انرژی مطرح شده، لیکن کارکرد این راهکارها با عنایت به تفاوت آب‌وهوایی شهرهای مختلف ایران، بررسی نشده است. بدین ترتیب هدف این پژوهش، مقایسه دقیق‌تر راهکارهای کالبدی شناخته‌شده در این خصوص یعنی «فشردگی در بافت و همسایگی»، «وارد شدن در زمین»، «جرم حرارتی ساختمان» و «احاطه فضای گرم‌خانه در بین فضاهای کنترل‌نشده» در دو حمام شهر کرمان است. این موضوع با روش کمّی و با راهکار شبیه‌سازی انرژی انجام شده است و به جهت استخراج محاسبات از مدل‌سازی حرارتی حمام‌های مورد بحث، می‌تواند از اعتبار محاسباتی بیشتر در مقایسه با تخمین‌های قبلی برخوردار باشد. در روند پژوهش دو حمام «گنجعلی‌خان» و «وکیل کرمان» به‌عنوان نمونه انتخاب شده و با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر و مبتنی بر شواهد حجمی و ساختاری حمام‌های موردبحث، میزان اتلاف حرارت در ماه‌های سرد سال محاسبه شده است. نتیجه این پژوهش نشان می دهد که جرم حرارتی در حمام‌های موردبحث و احاطه فضای گرم‌خانه در بین فضاهای کنترل‌نشده، به ترتیب مؤثرترین راهکارهای جلوگیری از اتلاف حرارت در این ابنیه بوده‌اند. این دو راهکار باتوجه‌به نوع جداره‌ها و میزان مرکزیت گرم‌خانه در بین سایر فضاها، در عین برخورداری از کارکرد متنوع، کارایی مشابهی داشته‌اند. جرم حرارتی جداره‌های حمام‌های گنجعلی‌خان و وکیل کرمان به ترتیب به‌طور میانگین ۳۹ و ۴۴ درصد در کاهش اتلاف حرارت تأثیرگذار بوده‌اند. این مقدار در خصوص استفاده از فضاهای کنترل‌نشده در پیرامون گرم‌خانه، به ترتیب به میزان ۲۳ و ۱۴ درصد است. کارایی این دو راهکار حدوداً دو تا هشت برابر در مقایسه با «قرارگیری حمام در داخل زمین» و «استفاده از بافت فشرده همسایگی» نشان از اهمیت آن‌ها در طراحی داشته است.

کلمات کلیدی: حمام، معماری سنتی، اتلاف حرارتی، طراحی اقلیمی.

* دانشجوی دکتری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
** استادیار، گروه معماری، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ali.asgari@iau.ac.ir
*** کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران.

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

مقدمه

موضوع اتلاف حرارت و استفاده بهینه از انرژی در حال حاضر یکی از بحث‌های حائز اهمیت دانشکده‌های معماری ایران و جهان به شمار می‌رود. توجه به معماری پایدار؛ به‌عنوان یک پاسخ منطقی در موضوع بحران انرژی، توجه به «اقلیم» و «معماری سنتی شهرهای تاریخی» را در پی دارد. درواقع، توجه به گونه‌های متعدد معماری برجای‌مانده از خرد زیست معماران که نسل به نسل توسعه یافته، نه‌تنها از منظر ملی قابل تحسین است، بلکه می‌تواند باعث فهم مناسب‌تر راهکارهای مواجهه با شرایط اقلیمی در معماری معاصر شود. در این میان حمام های سنتی یا گرمابه‌های ایرانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین این ابنیه در تعامل با اقلیم به شمار می‌روند.

باوجوداینکه عوامل متنوعی در تغییرات فرمی و تزیینات به‌کاررفته در حمام های عمومی مؤثر بوده‌اند، ماهیت و استقرار فضایی آن‌ها دارای ساختاری یکنواخت و مشابه بوده که در طی سالیان تغییر کمی داشته است (زارعی، وحیدی و رازانی، ۱۳۹۶: ۲). فقدان کارکرد و استمرار عملکرد این نوع بناها که دارای جنبه های متنوع حائز اهمیتی از حیث تولید، انتقال و نگهداشت انرژی بوده‌اند، باعث شده تا پژوهش‌های کمی در خصوص آن ها صورت پذیرد. آنچه در میان پژوهش‌های مختلف انجام شده در خصوص حمام های سنتی ایران مشاهده می‌شود، حکایت از بیان تخمینی و ارائه فرضیاتی پیرامون محوریت انرژی در حمام بوده که به نظر می‌رسد از تطابق مشاهدات با دانسته های قبلی باستان‌شناسان اروپایی در خصوص حمام‌های تاریخی روم باستان در قرن نوزدهم و بیستم میلادی نشأت گرفته است. به‌بیان‌دیگر، باوجود اهمیت و استقلال هویتی این میراث تاریخی در کشور، میزان تأثیرگذاری هر یک از تخمین‌های بیان‌شده، تاکنون در فضای شبیه‌سازی موردسنجش قرار نگرفته و عواملی همچون اطلاعات کم پیرامون مصالح و فناوری ساخت جداره ها، میزان دقیق نحوه چرخش هوا، بازشوها و تعدد دفعات استفاده از بنا، تعداد بناهای کم باقی‌مانده به نسبت تنوع دوره‌ها و آب‌وهوای مختلف اقلیمی در هر منطقه باعث کاهش اعتبار پژوهش‌های پیرامون این موضوع شده است (Hashemi & Asgari, 2023).

پژوهش حاضر در ذیل این سؤال آغاز می گردد که در جهت کاهش انتقال حرارت ازطریق پوسته در فضای گرم‌خانه چه راهکارهایی به کار گرفته می‌شده و این مهم تا چه میزان در حمام‌های شهر کرمان به‌واسطه نوسان شدید دمایی موردتوجه بوده است؟ این پرسش در ادبیات دقیق تر مقاله بر نقش «جرم حرارتی» و «فضاهای کنترل‌نشده پیرامون گرم‌خانه‌های حمام‌های سنتی» در مقایسه با تأثیرگذاری راهکارهایی همچون «بافت فشرده بیرونی و درونی حمام ها» و «احداث ساختمان در عمق زمین» تأکید می‌نماید. بنابراین، فرضیه اصلی پژوهش، تأکید بر نقش «جرم حرارتی» و «چینش فضاهای کنترل‌نشده در پیرامون گرم‌خانه‌ها» جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی ازطریق پوسته آن‌ها در شرایط آب‌وهوایی شهر کرمان دارد.

پیشینه تحقیق

درحالی‌که پژوهش‌های متنوعی پیرامون حمام‌های سنتی ایران در دهه های ۷۰ و ۸۰ شمسی صورت گرفته، بحث پیرامون راهکارهای اقلیمی و چگونگی جلوگیری از اتلاف حرارتی دراین‌باره، بسیار گذرا و به‌صورت تخمین انجام شده است که عمده راهکارهای مطرح شده پیرامون این موضوع در مبانی نظری این پژوهش مطرح می‌شود. در این میان مصادیق بسیار محدودی با محوریت انرژی پیرامون حمام های سنتی ایران صورت

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

گرفته است.

یکی از این مصادیق، پژوهش «مطالعه تأثیر اقلیم در طراحی و ساخت گرمابه های ایران» بوده که در این مقاله نویسندگان مطرح می‌سازند که اقلیم‌های متنوع در ایران به‌رغم وجوه مشترکات کالبدی بسیار در حمام‌های سنتی، موجب تأثیرات قابل‌توجهی نیز گشته است (طبسی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۵۲) و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حمام‌های اقلیم گرم و خشک، با مساحت بیشتر، احداث فضای چال حوض، استفاده از کاشی در تزیینات؛ در اقلیم سرد و کوهستانی، با کوتاه شدن ارتفاع گرم‌خانه، به‌کارگیری چفدهای تند، استفاده از تزیینات آهک‌بری، حجاری و آجرکاری؛ در اقلیم معتدل و مرطوب با احداث عمارت روی کرسی چینی، به‌کارگیری پوشش شیب‌دار، تأمین نور هشتی از بدنه، استفاده از چوب و متداول نبودن تزیینات و در اقلیم گرم و مرطوب با احداث حمام‌های کوچک، استفاده از سنگ های مرجانی، تزیین نکردن بدنه از دستاوردهای این پژوهش بوده است (طبسی و همکاران، ۱۳۸۵، ۱۶۴).

در پژوهش دیگری تحت عنوان «تحلیل ویژگی های معماری و فضایی حمام های قاجاری در اقلیم فارس»، علاوه بر آزمون مجدد دستاورد قبلی، با بررسی کالبد حمام‌های استان، مطرح می‌سازد که حمام‌های اقلیم گرم نسبت به سرد، از چهارصدم درصد کشیدگی بیشتر در تناسب طول به عرض و کوتاه‌تر بودن ارتفاع گرم‌خانه در عین بزرگ‌تر بودن نسبت به مساحت سربینه در اقلیم سرد نسبت به سایر پهنه‌ها داشته است. همچنین در این مقاله، فضاهای سربینه و گرم خانه در حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد مساحت حمام‌ها را در پهنه‌های اقلیمی متفاوت استان فارس اشغال کرده‌اند (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳).

سهرابی و همکاران (۱۴۰۲)، در پژوهشی باهدف مقایسه هندسه داخلی فضاهای گرم خانه و سربینه حمام‌ها در اقلیم گرم و خشک ایران، اعلام می‌دارند که در حمام‌های منطقه گرم و خشک، طرح کالبدی، در ابتدا با پایین رفتن در داخل زمین، سپس با افزایش جرم حرارتی ساختمان، موجب کاهش نوسان حرارتی شده است. این موضوع در ساختار سربینه و گرم‌خانه به‌واسطه استقرار در مابین فضاهای کنترل‌نشده، از ارتباط با محیط پیرامونی رها شده و اتلاف حرارتی این موضوع به‌واسطه نتایج به‌دست‌آمده به‌طور میانگین به میزان ۶۶ درصد در سربینه و ۶۷ درصد در گرم خانه، در تعامل با فضاهای دارای اختلاف دمای کمتر قرار می‌گیرند.

هاشمی و عسگری (۲۰۲۳)، در پژوهشی پیرامون حمام های سنتی شهر کاشان، پس از بررسی کالبد فضایی و شبیه‌سازی چهار حمام «سلطان احمد»، «خان»، «محتشم» و «فین» در شهر کاشان، استفاده از فضاهای کنترل‌نشده را به‌عنوان مؤثرترین راهکار در کاهش اتلاف حرارت در حمام‌های موردبررسی معرفی می‌دارند. در این پژوهش، پژوهشگران مدعی می‌شوند که راهکارهای «پایین رفتن در داخل زمین» و «قرارگیری در بافت فشرده شهری»، به نسبت بسیار کمتری در کنترل حرارت داخلی مؤثر بوده است.

در پژوهش‌های خارجی مرتبط با حمام، می‌توان به پژوهش «سنجش رفتار حرارتی – رطوبتی ساختمان‌های حرارتی رومی، حمام ایندیریزو در کاتانیا سیسیل» در خصوص حمام‌های رومی اشاره کرد. در این پژوهش، باوجود اطلاع از عملکرد بنا، پژوهشگر ضمن تأکید بر عدم قاطعیت در تحلیل به دلیل بی‌اطلاعی از دما و رطوبت نسبی در گرم خانه و اتاق های گرم، سطح حرارتی و فرایند خروج گازهای دودکش داغ و وجود شیشه‌های پنجره و پوشش‌ها، به تحقیقی میان‌رشته‌ای

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]

[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

جهت تحلیل ساختمان اصلی حمام «ایندیریزو» کاتانیا سیسیل[1] به کمک اسکن لیزری سه‌بعدی، شبیه‌سازی دینامیک سیالات[2] می پردازد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، دمای بین ۹۰ تا ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد گازهای درون دودکش های زیر سطح حمام، موجب دمای بین ۳۰ تا ۳۵ درجه و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد می شود. این پژوهش با عنایت به مدل سازی دینامیکی سیالات در درون حمام قدیمی نشان می دهد که رطوبت نسبی و دمای هوا با افزایش ارتفاع گرم خانه به ترتیب کاهش و افزایش می یابد که این مقدار در حدود ۱۰ درجه و ۱۰ درصد است (Gagliano, Liuzzo, Margani & Pettinato, 2017).

باوجوداینکه در ساختار حمام‌های سنتی ایران پژوهش های انگشت‌شماری با تدقیق بر اتلاف حرارتی صورت گرفته، گمانه های متعددی در خصوص کارایی راهکارهایی همچون چیدمان پلان، فشردگی ساختار پلان و بافت پیرامونی، بیان شده است که عموماً سهم کمی در ادبیات حمام دارا هستند. به طوری که این موضوع مابین گفتارهای قالب پژوهش های پیرامون حمام (نگاه به تزیینات، هندسه کلی، مناسبات اجتماعی و غیره) به شکل گذرا، آن‌هم در حد تخمین بیان گردیده‌اند و تاکنون تجربه شبیه‌سازی انرژی در خصوص این سخن ها به دلایل ضعف در دستیابی به اطلاعات مستند در خصوص بناها، تعدد کم نمونه های موجود در یک بستر آب وهوایی و عدم کارکرد کامل حمام با عنایت به تغییر الگوی زندگی صورت نپذیرفته است و این موضوع یکی از جنبه های اصلی بداعت پژوهش حاضر در توان محدود خود تلقی می‌شود.

ادبیات موضوع

حمام های سنتی و یا گرمابه‌ها به‌عنوان یکی از ابنیه مهم در شهر و روستاهای ایران موردتوجه بوده است.

این فضاها به دلیل توجه به سامانه گرمادهی و جلوگیری از اتلاف حرارت در فضاهای استحمام، ویژگی های نسبتاً مشترکی در نحوه استقرار، ساختار فیزیکی و نحو فضایی در اقلیم‌های مختلف ایران داشته‌اند (Ghobadian, 2009: 167). درواقع هرچند که عوامل متعدد مادی و معنوی در کالبد فضایی و یا عملکرد برخی قسمت‌های حمام‌های سنتی تأثیرگذار بوده‌اند، شباهت این ابنیه به نسبت سایر الگوهای ساختمانی سنتی به هم بیشتر است. به‌این‌ترتیب کلیت حمام ها، از اجزای متداولی همچون گرم خانه، سربینه، میان در، ورودی و ... برخوردارند (طبسی و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۲). در این میان، لازم به ذکر است که در فضاهای گرم‌خانه، کاربران فاقد پوشش لباس بوده‌اند و به همین ترتیب این بخش از حمام ها از حیث تبادل حرارتی و تهویه دارای اهمیت بیشتری است (Hashemi & Asgari, 2023).

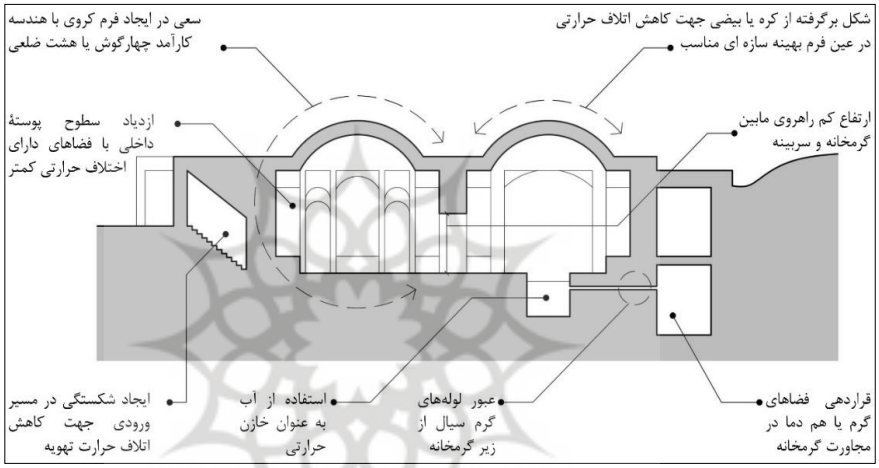
نحو فضای غالب حمام ها بدین صورت بوده که دسترسی به فضاهای سربینه، میان در و گرم خانه، با راهروها و هشتی‌هایی متمایز می‌شده است. این موضوع باعث می‌شده تا دما و رطوبت هر فضا نسبت به سایر فضاهای مجاور قابل تنظیم باشد. به‌طورکلی سربینه به‌عنوان رخت‌کن، میان در به‌عنوان فضای واسط دو فضای مرطوب و خشک در حمام‌ها و گرم‌خانه به‌عنوان فضای استحمام و شست‌وشو، مورداستفاده قرار می‌گیرند (فخاری تهرانی ،۱۳۶۸: ۱۷۰).

صرف نظر از راهکارهایی همچون عبور لوله‌های گرم دود از زیر سطح حمام ها یا چگونگی گرم کردن آب که باعث گرمایش کلی فضا و آب خزینه حمام‌های سنتی می‌شده‌اند، راهکارهای مشابه در جهت جلوگیری از اتلاف حرارت در کالبد حمام ها، نمایانگر دانش ساخت فضای فیزیکی متناسب با مدیریت انرژی این ابنیه است.

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

به طور مثال، کنترل تهویه و کوران هوا با کمک شکستگی مسیرها و کاهش ارتفاع مسیرهای حرکتی، پایین بردن رکتی، پایین بردن کلیت بنا در زمین، فشردگی پلان (سهرابی و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۳)، جرم حرارتی و استقرار فضاهای گرم در مابین فضاهای کنترل نشده، باعث کاهش ارتباط با محیط پیرامونی و کاهش اتلاف حرارتی در اکثر بناهای حمام سنتی بوده است (همان، ۳۳).

با عنایت به غیرقابل محاسبه بودن چگونگی تهویه و کوران هوا باتوجه‌به عدم اطلاع از میزان تغییر این موضوع نسبت به جابه‌جایی کاربران در بین فضاهای حمام‌های سنتی و گردش هوای ناشی از آن، به‌طورکلی چهار راهکار «فشردگی در بافت و همسایگی»، «واردشدن در زمین»، «جرم حرارتی ساختمان» و «احاطه فضای گرم‌خانه در بین فضاهای کنترل‌نشده»، به‌عنوان ترفندهای کاهنده اتلاف حرارت ازطریق پوسته در حمام‌های پوسته در حمام‌های سنتی مناطق گرم و خشک، قابل‌اندازه‌گیری هستند (تصویر شماره ۱).



ت۱. نمایش راهکارهای کلی به‌کاررفته در حمام‌های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران (سهرابی و همکاران، ۱۴۰۲)

فشردگی در پلان و همسایگی، راهکارهایی مشهود در بافت شهرهای سنتی کویری کشور به شمار می‌روند. این موضوع با کاهش سطوح پیرامونی ساختمان با فضای بیرونی، به واسطه هم‌دمایی کلی ساختمان‌ها در یک بلوک شهری، می‌تواند در کاهش اتلاف حرارت ساختمان چه در تابستان و چه در زمستان مؤثر باشد (کسمائی، ۱۳۸۲: ۸۸).

وارد شدن در زمین و بالا بردن جرم حرارتی ساختمان با جداره‌های سنگین، راهکار دیگری است که به واسطه بهره‌گیری از نقش خازن حرارتی در کاهش نوسان دمایی، در اقلیم گرم و خشک مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این اقلیم که نوسان دمای هوا شدیدتر است، ساختمان با ظرفیت حرارتی زیاد می‌تواند وضعیت حرارتی باثبات‌تری داشته باشد (کسمائی، ۱۳۸۲: ۸۸).

راهکار استفاده از فضای کنترل‌نشده[۳] و یا فضای بدون گرمایش[۴]، مرتبط با به‌کارگیری این فضاها در چینش پلان است. درواقع این فضاها به بخش‌هایی از ساختمان اطلاق شده که فاقد پایانه‌های گرمایشی و سرمایشی هستند (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸: ۱۰). چینش این فضاها در پیرامون فضاهای اصلی به جهت کمتر بودن اختلاف دمای فضای داخل و فضای کنترل‌نشده نسبت به اختلاف دمای داخل و خارج

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

ساختمان، باعث کاهش اتلاف حرارت شده که این موضوع با استفاده از یک ضریب کاهش، در محاسبات انرژی ساختمان لحاظ می‌شود. به‌بیان‌دیگر، جداره مابین فضاهای کنترل‌نشده و کنترل‌شده، به‌عنوان یک مانع فیزیکی از یکپارچگی شرایط جلوگیری می‌کند (Nepomuceno, Martins & Pinto, 2022).

روش تحقیق

پژوهش حاضر از سامانه پسااثبات‌گرا بهره گرفته و با رویکرد مدل‌سازی و شبیه‌سازی (کالبدی) اقدام به پردازش ساختار فیزیکی پوسته درونی گرم‌خانه حمام‌های کرمان کرده است.

به‌منظور بازشناسی ویژگی‌های کالبدی حمام‌های کرمان، تعداد دو حمام به‌طور نمونه غیرتصادفی برگزیده شده‌اند (جدول شماره ۱). در مرحله شناسایی، سازمان‌دهی و تحلیل قراین جمع‌آوری‌شده از اسناد حمام‌ها که متأثر از تصاویر و نقشه‌های برداشت‌شده از آن‌ها پیش از تخریب یا امکان مشاهده آثار در زمان نگارش مقاله بوده، اقدام به تجرید فضاهای کالبدی نموده است. منطق نمونه‌گیری در پژوهش بر دلایلی همچون «داشتن اطلاعات کالبدی کامل از موضوع»، «امکان برداشت مجدد در جهت سنجش کیفیت فضا»، «شناخته شدن حمام در ادبیات معماری کرمان» و «سلامت ساختمان از جنبه تغییرات تا زمان مستند نگاری» در گستره اقلیم گرم و خشک کرمان بوده است.

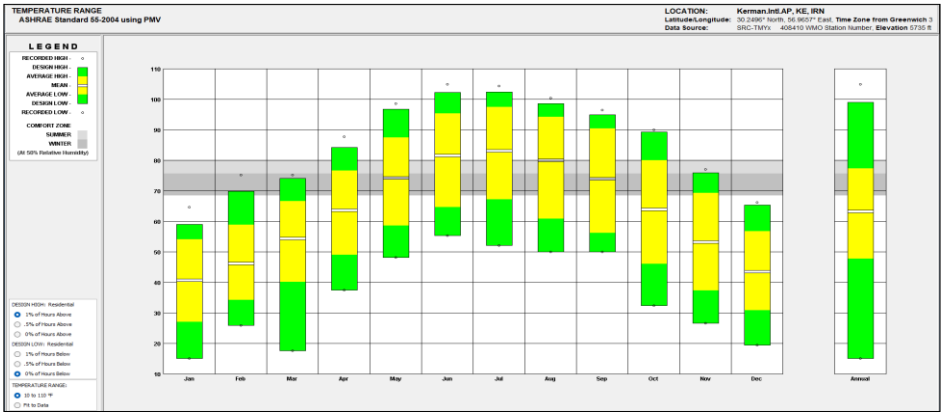
ج ۱. نمونه‌های موردی موردمطالعه در پژوهش

شماره	نام حمام	دوره ساخت	شماره ثبت	تاریخ ثبت	آدرس
۱	گنجعلی‌خان	صفویه	۸۲۹	۱۳۴۷	استان کرمان، شهر کرمان، بازار قدیمی
۲	وکیل	قاجاریه	۱۰۱۱	۱۳۵۳	

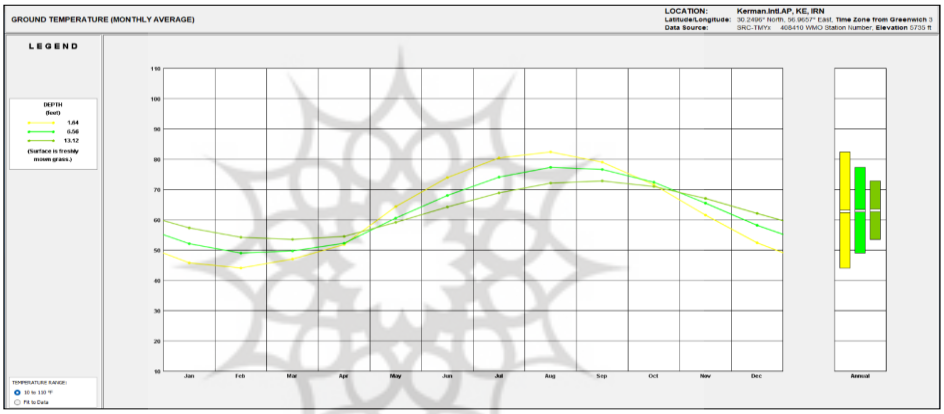
در خصوص بررسی تطبیقی رفتار حرارتی پوسته خارجی حمام‌های منطقه گرم و خشک، مطالعه منطق محاسباتی و شناخت پارامترهای مؤثر بر رفتار حرارتی جداره‌ها، جهت ارزیابی نمونه‌های مطالعه‌شده، ضرورت داشته است. بر این اساس پس از انتخاب نمونه‌های این پژوهش و با استناد به مبانی محاسباتی رفتار پوسته خارجی بنا، عملکرد جداره‌های فضاهای موردبحث در حمام، مورد تحلیل قرارگرفته است. برای این منظور جهت مدل‌سازی فضای کالبدی حمام‌ها، پس از برداشت میدانی سطوح، نمونه‌های انتخابی به شکل تجریدی از حیث «سطوح مجاور و همسایگی»، «فرورفتگی در زمین»، «مصالح به‌کاررفته در بنا»، «گستره سطوح»، «جهت‌گیری راستای بنا نسبت به شمال»، «حجم جداره‌ها (جرم حرارتی)» و «موقعیت قرارگیری گرم‌خانه» در پروتوتایپ‌های دوگانه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر[5]، موردسنجش قرارگرفته‌اند. خاطرنشان می‌گردد که جهت تطابق کارکرد حرارتی پوسته‌ها، در این پژوهش اطلاعات آب‌وهوایی شهر کرمان از پایگاه هواشناسی بین‌المللی لیدی باگ[6] در قالب فایل مرتبط[7] با نرم‌افزار شبیه‌سازی دیزاین بیلدر مستخرج از بازه زمانی سی‌ساله، اخذ شده است (تصاویر شماره ۲ تا ۴).

در این راستا در روند کار، ابتدا هر یک از نمونه‌های موردی از حیث مساحت کلی، ابعاد و راستا به‌مانند آنچه در تصویر شماره ۵ مشاهده می‌شود، خلاصه‌سازی شد. در این حالت، مساحت حمام با مقدار (S)، زاویه راستای کلی نسبت به جهت جغرافیایی شمال با مقدار (a)، طول و عرض بنا به شکلی حدودی در حالتی که مساحت شکل تجریدی با پلان واقعی برابر باشد، به ترتیب با مقادیر (l) و (d) شبیه‌سازی شد.

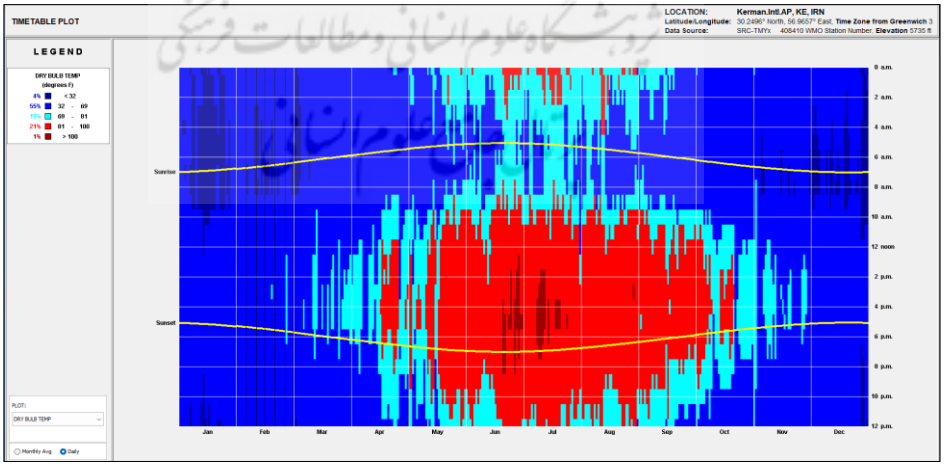
[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]



ت۲. نمودار نوسان دمای خشک در شهر کرمان در مقایسه با شرایط آسایش حرارتی در استاندارد اشری[۸]، استخراج‌شده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی[۹]

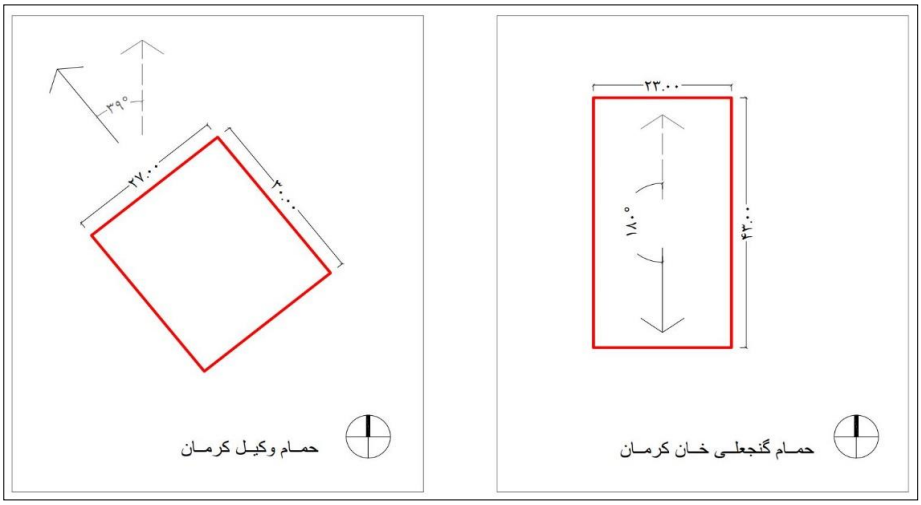


ت۳. نمودار نوسان دمای زمین در شهر کرمان در عمق‌های ۰/۵، ۲ و ۴ متری از سطح زمین، استخراج‌شده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی



ت۴. نمودار نوسان ساعتی دمای خشک در طی سال در شهر کرمان، استخراج‌شده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]



ت ۵. راستای کلی و انحراف از محور شمال در نمونه‌های انتخابی پژوهش

همچنین در بخش‌های مربوط به شرایط گرمایشی[10] نرم‌افزار، گرمایش کلی فضا طبق یافته‌های پژوهش‌های قبلی در خصوص منشأ گرمایش در حمام‌های سنتی و مستندات موجود، ناشی از عبور دود در مسیر دودکش پس از سوختن سوخت‌های فسیلی زغال یا سوخت‌های تجدید پذیر فضولات حیوانی از زیر گربه‌روهای زیر کف حمام (فخاری تهرانی، ۱۳۷۹: ۱۰۲-۱۰۳) در نظر گرفته شد.

اطلاعات فعالیت[11] در نرم‌افزار، طبق گفته‌های مستند به‌طور میانگین از ساعت ۶ صبح تا ۲۱ شب برای هفت روز هفته و بازه دمایی مورد انتظار[12]، ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد داده شد. لازم به ذکر است متوسط پوشش[13] در این بخش نیم کِلو[14] محاسبه شده است.

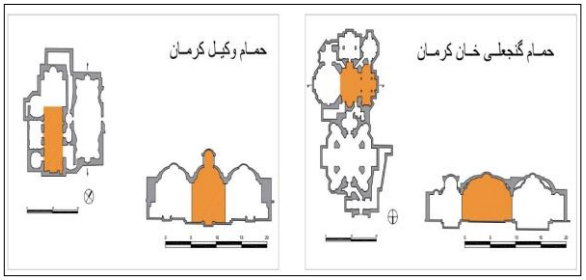
در مرحله شبیه‌سازی، مکعب‌مستطیل تعریف‌شده به نیابت از حجم اصلی، از حیث محیط درگیرشده با فضاهای هم‌جوار (دیوارهای ساختمان‌های همسایه) و عمق میانگین داخل خاک، ترسیم شد. اطلاعات ناشی از ابعاد و مساحت طبق مستندات ارائه‌شده در یافته‌های پژوهش در مدل‌سازی دخالت داده شده است.

ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که مدل‌سازی درنهایت در گام نخست در بازه زمانی کل سال انجام پذیرفت. اما بر پایه مقدار اتلاف صفر در بین ماه‌های آوریل تا سپتامبر، اتلاف حرارتی صرفاً برای ماه‌های نیازمند به گرمایش (شش ماه سرد سال: اکتبر تا مارس[15]) در جداول شماره ۵ و ۶ نشان داده‌شده است.

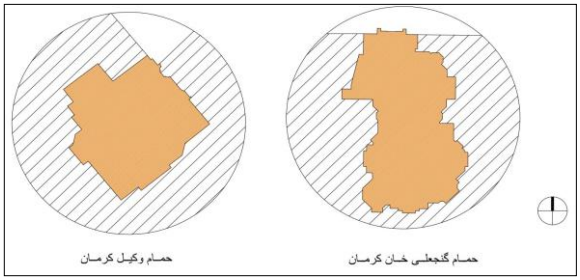
یافته‌ها

همان‌گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شد، در مرحله آغازین، برداشت‌های انجام‌شده از دو حمام تاریخی کرمان به‌عنوان مستندات پایه این پژوهش مورداستفاده قرار گرفت. گرم‌خانه‌های این حمام‌ها که با رنگ در تصویر شماره ۶ مشخص شده، در حالت‌های مستطیل (یا شبه مستطیل) قابل‌شناسایی است. راستاهای کلی پلان‌ها با در نظر گرفتن شمال جغرافیایی در بالای کاغذ در تصویر شماره ۷ نمایش داده شده است. در کلیه حمام‌ها، عموماً ساختار جداره‌های فضای گرم‌خانه در پوشش فضاهای کنترل‌نشده دیگری همچون سربینه، خزینه، هشتی، خلوت، تون، میان در، چال‌حوض و غیره صورت می‌پذیرد. جدول شماره ۲، به درک بهتر فرم سربینه و گرم‌خانه کمک می‌نماید.

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

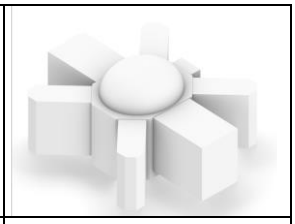
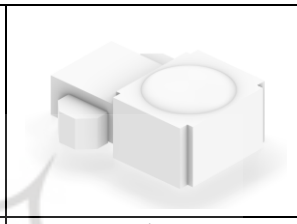
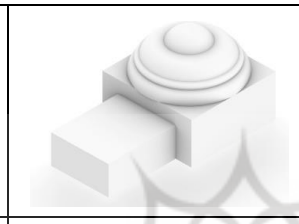
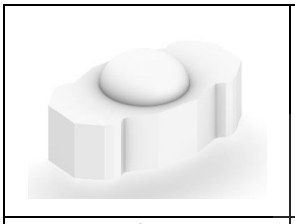


ت۶. نمایش گرم‌خانه در پلان و مقطع حمام‌های کرمان



ت۷. هم‌جواری‌ها با تأکید بر همسایگی و فضاهای تهی در بافت پیرامونی نمونه‌های انتخابی پژوهش

ج ۲. مدل‌سازی پوسته داخلی فضاهای سربینه و گرم‌خانه در حمام‌های منتخب پژوهش

			
مدل‌سازی سربینه	مدل‌سازی گرم‌خانه	مدل‌سازی سربینه	مدل‌سازی گرم‌خانه
حمام گنجعلی‌خان کرمان		حمام وکیل کرمان	

همان‌گونه که از تصاویر نقشه حمام‌ها مشاهده می‌شود، نحو فضا در حمام‌های منتخب پژوهش، دارای الگوی مشابهی بوده است. برداشت ثانویه و بهره‌گیری از بازدید میدانی از حمام‌های مرحله آغازین کمک نموده تا ابعاد فضاها در هر دو حمام به شکل قاعده‌مندی صورت پذیرد. مدل‌سازی آغازین نقشه‌ها این امکان را فراهم نموده که مساحت کل و فضاهای تهی حمام جهت مقایسه اندازه‌گیری شود. بنابراین جهت شبیه‌سازی مدل تلخیص‌شده هر یک از حمام‌ها در نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر، نیاز به برآورد محیط درگیر با همسایگی، عمق میانگین مدفون در خاک و مساحت پیرامونی و راستای کلی از بابت میزان دریافت تابش آفتاب ازطریق بام و متوسط ابعاد گرم‌خانه بوده که این موضوع در جداول شماره ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

ج ۳. ارتفاع و عمق مدفون در زمین حمام‌های کرمان

شماره	نام حمام	ارتفاع حمام (cm)	عمق میانگین مدفون در زمین (cm)	ضخامت میانگین دیوارهای پیرامونی (cm)	نسبت سطوح فضای همسایه بر کل (درصد)	طول متوسط بنا معادل‌سازی شده (m)	عرض متوسط بنا معادل‌سازی شده (m)	طول متوسط گرم‌خانه معادل‌سازی شده (m)	عرض متوسط گرم‌خانه معادل‌سازی شده (m)
۱	گنجعلی‌خان	۵۷۰	۲۹۰	۷۵	۸۹	۴۳	۲۳	۱۸	۷
۲	وکیل	۶۵۰	۲۹۰	۱۰۵	۸۷	۳۰	۲۷	۱۴	۷
میانگین		۶۱۰	۲۹۰	۹۰	۸۸	۳۶/۵	۲۵	۱۶	۷

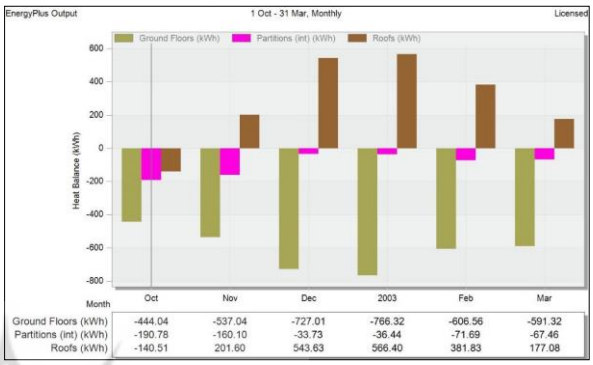
ج ۴. توزیع جدارهای پیرامونی برحسب تناسب مساحت گرم‌خانه بر مساحت فضاهای کنترل‌نشده جانبی حمام‌های کرمان

شماره	نام حمام	مساحت کل بنا (m^2)	مساحت کل جدارها (m^2)	مساحت گرم‌خانه (m^2)	مساحت فضاهای کنترل‌نشده (تهی) (m^2)	مساحت جدارهای محیط بر گرم‌خانه (m^2)	مساحت جدارهای بیرونی (m^2)	طول سطح مجاور همسایگی‌ها (m)	طول محیط پیرامون بنا (m)
۱	گنجعلی‌خان	۹۸۴	۲۳۱	۱۲۵	۶۲۸	۳۳	۱۳۳	۱۵۸	۱۷۸
۲	وکیل	۸۱۷	۱۹۹	۹۸	۵۲۰	۲۳	۱۳۷	۱۱۲	۱۲۹
میانگین		۹۰۰	۲۱۵	۱۱۲	۵۷۴	۲۸	۱۲۹	۱۳۵	۱۰۴

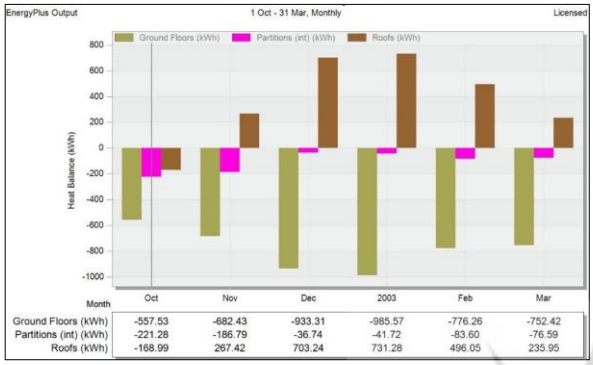
[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

تحلیل یافته‌ها

در شبیه‌سازی اولیه بر روی هر دو حمام با در نظر گرفتن هر چهار راهکار، یعنی «برخورداری از همسایگی و بافت فشرده»، «وارد نمودن بنا در زمین جهت بهره‌گیری از خازن حرارتی زمین»، «جرم حرارتی ساختمان» و «قرار دادن فضای گرم‌خانه در لایه‌ای از فضاهای کنترل‌نشده»، نتایج استخراج‌شده در نرم‌افزار نشان داد (تصاویر شماره ۸ و ۹)، که در هر دو حمام، اتلاف حرارت از جداره‌های حمام‌ها در کمترین حالت قرار دارد.



ت۸. مقایسه اتلاف حرارت ازطریق زمین، بام و جداره‌ها در حمام گنجعلی‌خان - خروجی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر



ت ۹. مقایسه اتلاف حرارت ازطریق زمین، بام و جداره‌ها در حمام وکیل - خروجی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر

جهت یافتن سهم هر یک از راهکارها در بحث جلوگیری از اتلاف حرارت حمام، شرایط مدل‌سازی به‌صورت مرحله‌به‌مرحله با حذف هر راهکار و محاسبه اتلاف حرارت در ماه‌های سرد کرمان (ماه‌های میلادی اکتبر تا مارس) صورت گرفته که نتایج آن در جداول شماره ۵ و ۶ قابل‌مشاهده است.

برای مقایسه بهتر تأثیرگذاری هر یک از راهکارهای اشاره‌شده در جداول شماره ۵ و ۶، سهم مداخله هر یک، از جهت کاهش اتلاف حرارت از پوسته به نسبت کل، به‌صورت درصد، به‌طور مجزا برای هر یک از حمام‌های گنجعلی‌خان و وکیل کرمان در جدول شماره ۷ ارائه شده است.

ج ۵. محاسبه میزان اتلاف حرارت برحسب وات از پوسته در گرم‌خانه حمام گنجعلی‌خان کرمان

اتلاف حرارت (بر حسب وات) / ماه سال	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس
بدون راهکار	۳/۲۳۴۳	۵/۱۲۷۴	۱/۲۹۱	۴/۳۳۲	۹/۴۰۶	۸/۱۰۰۴
برخورداری از جرم حرارتی	۷/۱۶۰۵	۶/۹۹۳	۶/۲۴۲	۳/۱۶۲	۹/۳۴۴	۲/۷۸۴
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده	۷/۱۴۳۷	۳/۸۶۴	۶/۱۵۶	۷/۱۰۳	۱/۲۵۳	۴/۶۶۴
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین	۴۶/۱۳۷۲	۵۶/۸۱۴	۶/۱۲۹	۷/۸۴	۵/۲۲۰	۹/۶۱۹
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین و همسایگی	۵/۱۳۰۶	۲/۷۶۵	۵/۱۰۵	۳/۶۸	۳/۱۸۹	۹/۵۷۵

ج ۶. محاسبه میزان اتلاف حرارت برحسب وات از پوسته در گرم‌خانه وکیل کرمان

اتلاف حرارت (بر حسب وات) / ماه سال	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس
بدون راهکار	۲/۲۸۴۹	۹/۱۵۳۸	۶/۳۴۷	۸/۳۹۲	۵/۴۸۳	۱/۱۲۱۸
برخورداری از جرم حرارتی	۱/۱۵۳۵	۳/۹۰۹	۶/۲۰۷	۸/۱۶۹	۳/۲۸۵	۸/۶۸۶
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده	۴/۱۴۳۶	۱/۸۳۴	۷/۱۶۱	۶/۱۳۳	۸/۲۳۷	۶/۶۲۱
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین	۲/۱۴۰۴	۹۳/۸۰۹	۹/۱۴۷	۹/۱۲۲	۱/۲۲۳	۸/۶۰۰
برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین و همسایگی	۱/۱۳۷۱	۹/۷۸۵	۶/۱۳۴	۹/۱۱۲	۵/۲۰۸	۳/۵۸۰

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

ج ۷. سهم هر یک از راهکارهای مورد مقایسه در حمام‌های کرمان در کاهش اتلاف حرارت از پوسته

نام حمام	راهکار	سهم راهکار در ماه‌های میلادی (درصد)						میانگین
		اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	
گنجعلی‌خان	جرم حرارتی دیوارها	۳۷/۰۸	۳۱/۹۱	۳۷/۰۳	۵۵/۹۶	۳۵/۸۱	۳۶/۱۰	۳۸/۹۸
	فضای کنترل‌نشده	۱۰/۵۱	۱۳/۰۴	۳۵/۷۰	۳۶/۵۴	۲۶/۶۵	۱۵/۳۳	۲۲/۹۶
	ورود به زمین	۴/۴۹	۵/۷۲	۱۶/۹۲	۱۷/۷۷	۱۲/۸۵	۶/۶۴	۱۰/۷۳
	همسایگی	۴/۸۱	۶/۰۶	۱۸/۶۰	۱۹/۳۶	۱۴/۱۵	۷/۱۰	۱۱/۶۸
وکیل	جرم حرارتی دیوارها	۴۶/۱۲	۴۰/۹۱	۴۰/۲۸	۵۶/۷۷	۴۰/۹۹	۴۳/۶۲	۴۴/۷۸
	فضای کنترل‌نشده	۶/۴۳	۸/۲۷	۲۲/۱۱	۲۱/۳۲	۱۶/۶۵	۹/۴۹	۱۴/۰۵
	ورود به زمین	۲/۲۴	۲/۹۰	۸/۵۳	۸/۰۱	۶/۱۸	۳/۳۵	۵/۲۰
	همسایگی	۲/۳۶	۲/۹۷	۸/۹۹	۸/۱۴	۶/۵۴	۳/۴۱	۵/۴۰

نتیجه

چنانچه پیش‌ازاین در مرور پیشینه پژوهش پیرامون حمام‌های سنتی اشاره شد، موضوع مدیریت حرارت و اتلاف حرارت در حمام‌های سنتی تاکنون به‌صورت شبیه‌سازی موردتوجه نبوده است. این مسئله باعث شده کلیه راهکارهای مطرح‌شده در خصوص اتلاف حرارت، نه‌تنها صرفاً به‌صورت تخمینی مطرح شود، بلکه به کل حمام‌های کشور نیز تعمیم داده شود. درحالی‌که در کنار تفاوت اقلیمی و آب‌وهوایی هر یک از حمام‌ها و طرح متنوع آن‌ها، بررسی صحت این گفتارها، نیازمند تحقیق موردی جداگانه در خصوص حمام‌های شناخته‌شده هر پهنه آب‌وهوایی و یا شهرهای تاریخی ایران است. به‌طور مثال باوجوداینکه دو راهکار «پایین رفتن در داخل زمین» و «قرارگیری در بافت فشرده شهری»، مکرراً در مقالات قدیمی پیرامون حمام مطرح شده بود، در بررسی انجام‌شده در دو حمام شهر کرمان در اقلیم گرم و خشک ایران، مشاهده شد که راهکارهای «استفاده از جرم حرارتی مصالح» و «فضاهای کنترل‌نشده پیرامون فضای گرم» اهمیت و کارایی بیشتری در جلوگیری از اتلاف حرارتی حمام‌ها داشته‌اند.

نتایج پژوهش در راستای پرسش اصلی مقاله نشان داد، به‌طور میانگین در حمام‌های انتخاب‌شده در شهر کرمان، جرم حرارتی جداره‌ها، باتوجه‌به نوسان بالای دمای روز و شب، اصلی‌ترین راهکار در خصوص کاهش اتلاف حرارت بوده است، به‌طوری‌که این موضوع در ماه ژانویه (۱۱ دی تا ۱۲ بهمن)، اتلاف حرارتی ساختار حمام سنتی را با حداکثر کارایی به نسبت سایر ماه‌های سال، به کمتر از نصف میزان عدم حضور کاهش می‌دهد. همچنین در خصوص راهکار «احاطه فضای گرم با فضاهای کنترل‌نشده»، فضاهای هم‌جوار با گرم‌خانه، باعث کاهش اتلاف حرارت به میزان چشمگیر شده‌اند. مقدار کارایی این راهکار در ماه‌های دسامبر (۱۰ آذر تا ۱۰ دی) و ژانویه (۱۱ دی تا ۱۲ بهمن) حداکثر بوده و به حدود ۳۵ درصد در حمام گنجعلی‌خان و ۲۲ درصد در حمام وکیل کرمان رسیده است. لازم به ذکر است که اهمیت راهکار «فضاهای کنترل‌نشده پیرامون فضای گرم» در مقایسه با راهکارهای «پایین رفتن در داخل زمین» و «قرارگیری در بافت فشرده شهری» بیان‌شده در پیشینه پژوهش‌های پیرامون حمام‌های سنتی ایران در دهه ۷۰ تا ۹۰ شمسی، بیش از دو برابر بوده است.

همان‌گونه که در جداول برداشت‌شده از حمام‌های گنجعلی‌خان و وکیل کرمان اشاره شد، ارتفاع متوسط فضاها در حمام وکیل به نسبت حمام گنجعلی‌خان بیشتر است، به‌طوری‌که باوجود مساحت بیشتر حمام گنجعلی‌خان، حجم فضایی هر دو گرم‌خانه نسبتاً یکسان است. این موضوع در کنار مرزبندی کمتر فضای

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]

گرم‌خانه با فضاهای هم‌جوار در حمام وکیل به نسبت حمام گنجعلی‌خان باعث شده که انرژی موردنیاز برای گرم کردن و گرم ماندن فضا برای این حمام بیشتر باشد. این موضوع که تأثیر مستقیم بر کاهش عملکرد فضای کنترل‌نشده داشته، باعث شده است که کارایی این راهکار به‌طور میانگین در طول سال در حمام گنجعلی‌خان حدود ۲۳ درصد و در حمام وکیل حدود ۱۴ درصد باشد. همچنین ضخامت متوسط دیوارهای پیرامونی در حمام وکیل ۱۰۵ سانتی‌متر و در حمام گنجعلی‌خان ۷۵ سانتی‌متر بوده است که این موضوع به‌واسطه جرم حرارتی بیشتر جداره‌ها، در تأثیرگذاری این راهکار در حمام وکیل مشهود است. به‌طوری‌که جرم حرارتی در حمام وکیل به‌طور میانگین در طول سال باعث کاهش حدود ۴۴ درصد اتلاف حرارتی بوده و این مقدار در حمام گنجعلی‌خان به حدود ۳۹ درصد کاهش می‌یابد.

پی‌نوشت

1. “Indirizzo” Baths of Catania - Sicily
2. CFD: Computational fluid dynamics
3. Unconditioned Space
4. Unheated Space
5. DesignBuilder v7.01.004 – 2022
6. https://www.ladybug.tools/epwmap/
7. EPW: EnergyPlus Weather File
8. ASHRAE Standard 55 Handbook of Fundamentals Comfort Model up through 2005
9. Climate Consultant 6.0 Beta – 2015
10. HVAC
11. Activity
12. Environmental Control Heating Set Point Temperature
13. Clothing
14. Clo - Clothing and Thermal Insulation

۱۵. خوانش ماه‌های میلادی: نوامبر (۱۰ آبان تا ۹ آذر)، دسامبر (۱۰ آذر تا ۱۰ دی)، ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن)، فوریه (۱۲ بهمن تا ۹ اسفند) و مارس (۱۰ اسفند تا ۹ فروردین)

فهرست منابع

– حاجی قاسمی، کامبیز. (۱۳۸۳). *گنج‌نامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران*، ج. ۱۸ حمام‌ها. مدیر اجرایی زند حریرچی، بهنام قلیچ‌خانی؛ نویسنده متون حمیدرضا خویی؛ مترجم کلود کرباسی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی، مرکز اسناد و تحقیقات: روزنه.

– زارعی، هانی؛ وحیدی، فاطمه؛ رازانی، مهدی. (۱۳۹۶). تحلیل ویژگی‌های معماری و فضایی حمام‌های قاجاری در اقلیم فارس. *معماری اقلیم گرم و خشک*، ۵ (۵)، ۱۹-۱.

– سهرابی، سپیده؛ عسگری، علی؛ غفاری، ثمین. (۱۴۰۲). عملکرد حرارتی هندسه داخلی گرمخانه و سربینه حمام‌ها در اقلیم گرم و خشک ایران. *مطالعات میان‌رشته‌ای معماری ایران*، ۲(۳)، ۳۷-۲۱.

– طبسی، محسن؛ انصاری، مجتبی؛ طاووسی، محمود؛ فخار تهرانی، فرهاد. (۱۳۸۶). بازشناسی ویژگی های کالبدی گرمابه های ایران در دوره صفوی، *هنرهای زیبا*. ۹ (۲۹): ۵۸-۴۹.

– طبسی، محسن؛ انصاری، مجتبی؛ طاووسی، محمود؛ فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۸۵). مطالعه تأثیر اقلیم در طراحی و ساخت گرمابه‌های ایران. *صفه*. ۱۵ (۴۴)، ۱۶۶- ۱۵۲.

– فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۶۸). *حمام‌ها*. تهران: نشر جهاد دانشگاهی.

– فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۷۹). حمام‌ها در نظرگاه زمان. *صفحه*. ۱۰ (۳۰). ۱۰۵-۹۴.

– کسمائی، مرتضی. (۱۳۸۲). *اقلیم و معماری*، اصفهان: نشر خاک.

– مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۸). *فصل نوزدهم مقررات ملی ساختمان*. چاپ سوم، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

- Gagliano, A., Liuzzo, M., Margani, G., & Pettinato, W. (2017). Thermo-hygrometric behaviour of roman thermal buildings: the “Indirizzo” baths of Catania (Sicily). Energy and Buildings, 138, 704-715.

- Ghobadian, V. (2009). "Sustainable Traditional Buildings of Iran: A Climatic Analysis". Dubai: Islamic Azad University

- Hashemi, A., & Asgari, A. (2023). Analyzing the Causes of using Unconditioned Space in the Thermal Shell of the Apodyterium of Kashan Bathhouses. The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar, 20(125), 65-78.

- Nepomuceno, M. C., Martins, A. M., & Pinto, H. A. (2022). A Comparison between On-Site Measured and Estimated Based Adjustment Factor Values Used to Calculate Heat Losses to Unconditioned Spaces in Dwellings. Buildings, 12(2), 146.

DOI: 10.22034/42.183.63

[Downloaded from jhre.ir on 2024-07-03]
[DOI: DOI: 10.22034/42.183.63]