

مقایسه راهکارهای جلوگیری از اتلاف انرژی گرمخانه‌ها در حمام‌های سنتی کرمان

علی هاشمی*، علی عسگری**، سپیده شهرابی***

۱۴۰۱/۰۱/۱۴

۱۴۰۲/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

در میان الگوهای شناخته شده 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 شناخته شده در این خصوص یعنی «فسرده‌گی 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 روشن کردن 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 تخمين‌های قبلی برخوردار باشد. در روند پژوهش دو حمام «گنجعلی‌خان» و «وکیل کرمان» به عنوان نمونه انتخاب شده و با کمک نرم افزار دیزاین بیلدر و مبتنی بر شواهد حجمی و ساختاری حمام‌های موردبخت، میزان اتلاف حرارت در ماههای سرد سال محاسبه شده است. نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که جرم حرارتی در حمام‌های موردبخت و احاطه فضای گرمخانه در بین فضاهای کنترل‌نشده، به ترتیب مؤثرترین راهکارهای جلوگیری از اتلاف حرارت در این اینبهی بوده‌اند. این دو راهکار با توجه به نوع جداره‌ها و میزان مرکزیت گرمخانه در بین سایر فضاهای، در عین برخورداری از کارکرد متنوع، کارایی مشابهی داشته‌اند. جرم حرارتی جداره‌های حمام‌های گنجعلی‌خان و وکیل کرمان به ترتیب به طور 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.

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؛ به عنوان 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 بر جای مانده از خرد زیست معماران که نسل به نسل توسعه یافته، نه تنها از منظر ملی قابل تحسین است، بلکه می‌تواند باعث فهم مناسب‌تر راهکارهای مواجهه با شرایط اقلیمی در معماری معاصر شود. در این میان حمام‌های سنتی یا گرمابه‌های ایرانی به عنوان یکی از مهم‌ترین این اینیه در تعامل با اقلیم به شمار می‌روند.

با وجود اینکه عوامل متنوعی در تغییرات فرمی و تزیینات به کاررفته در حمام‌های 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 جنبه‌های متنوع حائز اهمیتی از حیث تولید، انتقال و نگهداری بوده‌اند، باعث شده تا پژوهش‌های کمی در خصوص آن‌ها صورت پذیرد. آنچه در میان پژوهش‌های مختلف انجام شده در خصوص حمام‌های 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 دانسته‌های قبلی باستان‌شناسان اروپایی در خصوص حمام‌های تاریخی روم باستان در قرن نوزدهم و بیستم میلادی نشأت گرفته است. بهیان دیگر، باوجود اهمیت و استقلال هویتی این میراث تاریخی در کشور، میزان

پیشینه تحقیق

در حالی که پژوهش‌های متنوعی پیرامون حمام‌های سنتی ایران در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ شمسی صورت گرفته، بحث پیرامون راهکارهای اقلیمی و چگونگی جلوگیری از اتلاف حرارتی در این باره، بسیار گذرا و به صورت تخمین انجام شده است که عمدۀ راهکارهای مطرح شده پیرامون این موضوع در مبانی نظری این پژوهش مطرح می‌شود. در این میان مصادیق بسیار محدودی با محوریت انرژی پیرامون حمام‌های سنتی ایران صورت

گرفته است.

یکی از این مصادیق، پژوهش «مطالعه تأثیر اقلیم در طراحی و ساخت گرمابه های ایران» بوده که در این مقاله نویسنده‌گان مطرح می‌سازند که اقلیم‌های متنوع در ایران به رغم وجود مشترکات کالبدی بسیار در حمام‌های استی، موجب تأثیرات قابل توجهی نیز گشته است (طبیعی 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 گرم خانه، به کارگیری چفدهای تند، استفاده از تزیینات آهک بری، حجاری و آجرکاری؛ در اقلیم معتمد و مرتبط با احداث عمارت روی کرسی چینی، به کارگیری پوشش شبی دار، تأمین نور هشتی از بدنه، استفاده از چوب و متداول نبودن تزیینات و در اقلیم گرم و مرتبط با احداث حمام‌های کوچک، استفاده از سنگ‌های مرجانی، تزیین نکردن بدنه از دستاوردهای این پژوهش بوده است (طبیعی و همکاران، ۱۳۸۵، ۱۶۴).

در پژوهش دیگری تحت عنوان «تحلیل ویژگی‌های معماری و فضایی حمام‌های قاجاری در اقلیم فارس»، علاوه بر آزمون مجدد دستاوردهای قبلی، با بررسی کالبد حمام‌های استان، مطرح می‌سازد که حمام‌های اقلیم گرم نسبت به سرد، از چهارصد درصد کشیدگی بیشتر در تناسب طول به عرض و کوتاه‌تر بودن ارتفاع گرم خانه در عین بزرگ‌تر بودن نسبت به مساحت سرینه در اقلیم سرد نسبت به سایر پهنه‌ها داشته است. همچنین در این مقاله، فضاهای سرینه 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 سرینه 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 سرینه و گرم خانه به واسطه استقرار در مابین فضاهای کنترل‌نشده، از ارتباط با محیط پیرامونی رها شده و اتلاف حرارتی این موضوع به واسطه نتایج به دست آمده به‌طور میانگین به میزان ۶۶ درصد در سرینه و ۶۷ درصد در گرم خانه، در تعامل با فضاهای دارای اختلاف دمای کمتر قرار می‌گیرند.

هاشمی و عسگری (۲۰۲۳)، در پژوهشی پیرامون حمام‌های 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 به عنوان مؤثرترین راهکار در کاهش اتلاف حرارت در حمام‌های موردنظر 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 «سنگش 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 بی اطلاعی از دما و رطوبت نسبی در گرم خانه و اتاق‌های گرم، سطح حرارتی و فرایند خروج گازهای دودکش داغ وجود شیشه‌های پنجه و پوشش‌ها، به تحقیقی میان رشته‌ای

جهت تحلیل ساختمان اصلی حمام «ایندیریزو» کاتانیا سیسیل^۱ به کمک اسکن لیزری سه بعدی، شبیه سازی دینامیک سیالات^۲ می پردازد. نتایج این پژوهش نشان می دهد، دمای بین ۹۰ تا ۱۲۵ درجه سانتی گراد 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, 2009; Margani & Pettinato, 2017).

با وجود اینکه در ساختار حمام های سنتی ایران پژوهش های انگشت شماری با تدقیق بر اتلاف حرارتی صورت گرفته، گمانه های متعددی در خصوص کارایی راهکارهایی همچون چیدمان پلان، فشرده گی ساختار پلان و بافت پیرامونی، بیان شده است که عموماً سهم کمی در ادبیات حمام دارا هستند. به طوری که این موضوع مابین گفтарهای قالب پژوهش های پیرامون حمام (نگاه به تریینات، هندسه کلی، مناسبات اجتماعی و غیره) به شکل گذرا، آن هم در حد تخمین بیان گردیده اند و تاکنون تجربه شبیه سازی انرژی در خصوص این سخن ها به دلایل ضعف در دستیابی به اطلاعات مستند در خصوص بنایها، تعداد کم نمونه های موجود در یک بستر آب و هوایی و عدم کارکرد کامل حمام با عنایت به تغییر الگوی زندگی صورت نپذیرفته است و این موضوع یکی از جنبه های اصلی بداعتنی پژوهش حاضر در توان محدود خود تلقی می شود.

ادبیات موضوع

حمام های سنتی و یا گرمابه ها به عنوان یکی از اینه مهم در شهر و روستاهای ایران مورد توجه بوده است.

این فضاهای 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 اقلیم های مختلف ایران داشته اند (Ghobadian, 2009: 167). درواقع هر چند که عوامل متعدد مادی و معنوی در کالبد فضایی و یا عملکرد برخی قسمت های حمام های سنتی تأثیرگذار بوده اند، شباهت این اینه به نسبت سایر الگوهای ساختمانی سنتی به هم بیشتر است. به این ترتیب کلیت حمام ها، از اجزای متدالوی همچون گرم خانه، سربینه، میان در، ورودی و ... برخوردارند (طبیعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۲). در این میان، لازم به ذکر است که در فضاهای گرم خانه، کاربران فاقد پوشش لباس بوده اند 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 هشتی هایی متمایز می شده است. این موضوع باعث می شده تا دما و رطوبت هر فضای نسبت به سایر فضاهای مجاور قابل تنظیم باشد. به طور کلی سربینه به عنوان رخت کن، میان در به عنوان فضای واسطه دو فضای مرطوب و خشک در حمام ها و گرم خانه به عنوان فضای استحمام و شستشو، مورد استفاده قرار می گیرند (فخاری تهرانی، ۱۳۸۸: ۱۷۰).

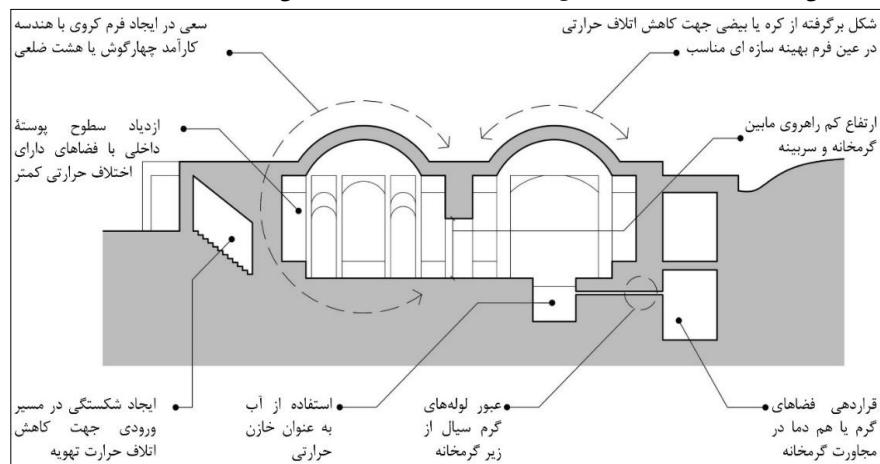
صرف نظر از راهکارهایی همچون عبور لوله های گرم دود از زیر سطح حمام ها یا چگونگی گرم کردن آب که باعث گرمایش کلی فضا و آب خزینه حمام های سنتی می شده اند، راهکارهای مشابه در جهت جلوگیری از اتلاف حرارت در کالبد حمام ها، نمایانگر دانش ساخت فضای فیزیکی متناسب با مدیریت انرژی این اینه است.

کوران هوا با توجه به عدم اطلاع از میزان تغییر این موضوع نسبت به جایه جایی کاربران در بین فضاهای حمام های سنتی و گردش هوای ناشی از آن، به طور کلی چهار راهکار «فسرده‌گی در بافت و همسایگی»، «واردشدن در زمین»، «جرم حرارتی ساختمان» و «احاطه فضای گرم خانه در بین فضاهای کنترل نشده»، به عنوان ترفندهای کاہنده اتلاف حرارت از طریق پوسته در حمام های پوسته در حمام های سنتی مناطق گرم و

خشک، قابل اندازه گیری هستند (تصویر شماره ۱).

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، فشرده‌گی پلان (شهرابی 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



ت ۱. نمایش راهکارهای کلی به کاررفته در حمام های سنتی اقلیم گرم و خشک

ایران (شهرابی و همکاران، ۱۴۰۲)

در این اقلیم که نوسان دمای هوا شدیدتر است، ساختمان با ظرفیت حرارتی زیاد می تواند وضعیت حرارتی با ثبات تری داشته باشد (کسمائی، ۱۳۸۲: ۸۸). راهکار استفاده از فضای کنترل نشده^۳ و یا فضای بدون گرمایش^۴، مرتبط با به کارگیری این فضاهای در چینش پلان است. در واقع این فضاهای بخش هایی از ساختمان اطلاق شده که فاقد پایانه های گرمایشی و سرمایشی هستند (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸: ۱۰). چینش این فضاهای در پیرامون فضاهای اصلی به جهت کمتر بودن اختلاف دمای فضای داخل و فضای کنترل نشده نسبت به اختلاف دمای داخل و خارج

فسرده‌گی در پلان و همسایگی، راهکارهای مشهود در بافت شهرهای سنتی کویری کشور به شمار می روند. این موضوع با کاهش سطوح پیرامونی ساختمان با فضای بیرونی، به واسطه هم دمایی کلی ساختمانها در یک بلوک شهری، می تواند 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 جدارهای سنگین، راهکار دیگری است که به واسطه بهره گیری از نقش خازن حرارتی در کاهش نوسان دمایی، در اقلیم گرم و خشک مورد استفاده قرار می گیرد.

ساختمان، باعث کاهش اتلاف حرارت شده که این موضوع با استفاده از یک ضریب کاهش، در محاسبات انرژی ساختمان لحاظ می‌شود. بهیان دیگر، جداره مابین فضاهای کنترل نشده و کنترل شده، به عنوان یک مانع فیزیکی از یکپارچگی شرایط جلوگیری می‌کند (Nepomuceno, Martins & Pinto, 2022).

روش تحقیق

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

به منظور بازشناسی ویژگی‌های کالبدی حمام‌های

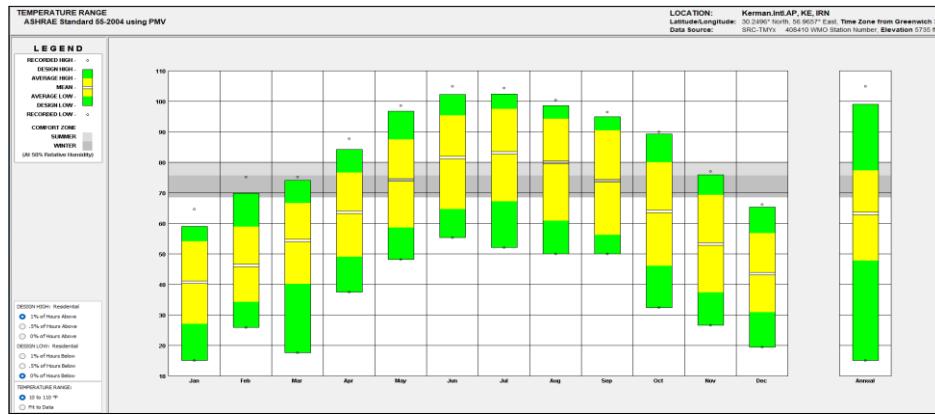
ج. ۱. نمونه‌های مورد مطالعه در پژوهش

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

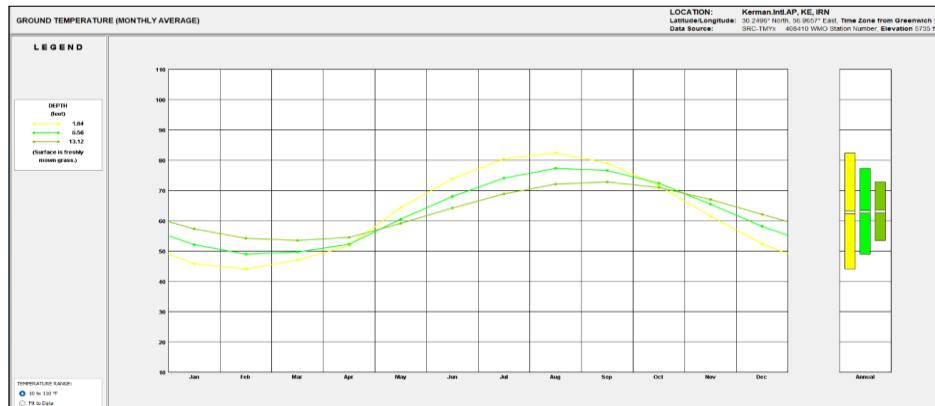
نرم افزار دیزاین بیلدر^۵، مورد سنجش قرار گرفته‌اند. خاطرنشان می‌گردد که جهت تطابق کارکرد حرارتی پوسته‌ها، در این پژوهش اطلاعات آب و هوایی شهر کرمان از پایگاه هواشناسی بین‌المللی لیدی باگ^۶ در قالب فایل مرتبط^۷ با نرم افزار شبیه‌سازی دیزاین بیلدر مستخرج از بازه زمانی سی‌ساله، اخذ شده است (تصاویر شماره ۲ تا ۴).

در این راستا در روند کار، ابتدا هر یک از نمونه‌های موردی از حیث مساحت کلی، ابعاد و راستا به مانند آنچه در تصویر شماره ۵ مشاهده می‌شود، خلاصه سازی 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 (I) و (d) شبیه‌سازی شد.

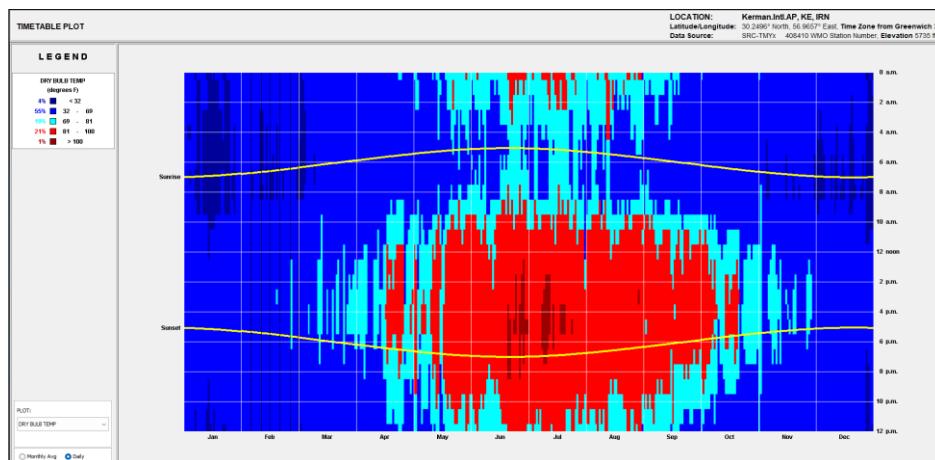
در خصوص بررسی تطبیقی رفتار حرارتی پوسته خارجی حمام‌های منطقه گرم و خشک، مطالعه منطق محاسباتی و شناخت پارامترهای مؤثر بر رفتار حرارتی جداره‌ها، جهت ارزیابی نمونه‌های مطالعه شده، ضرورت داشته است. بر این اساس پس از انتخاب نمونه‌های این پژوهش و با استناد به مبانی محاسباتی رفتار پوسته خارجی بنا، عملکرد جداره‌های فضاهای موربد بحث در حمام، مورد تحلیل قرار گفته است. برای این منظور جهت مدل‌سازی فضای کالبدی حمام‌ها، پس از برداشت میدانی سطوح، نمونه‌های انتخابی به شکل تجریدی از حیث «سطح مجاور و همسایگی»، «فرورفتگی در زمین»، «مصالح به کار رفته در بنا»، «گستره سطوح»، «جهت‌گیری راستای بنا نسبت به شمال»، «حجم جداره‌ها (جرم حرارتی)» و «موقعیت قرار گیری گرمخانه» در پروتوتاپ‌های دوگانه در



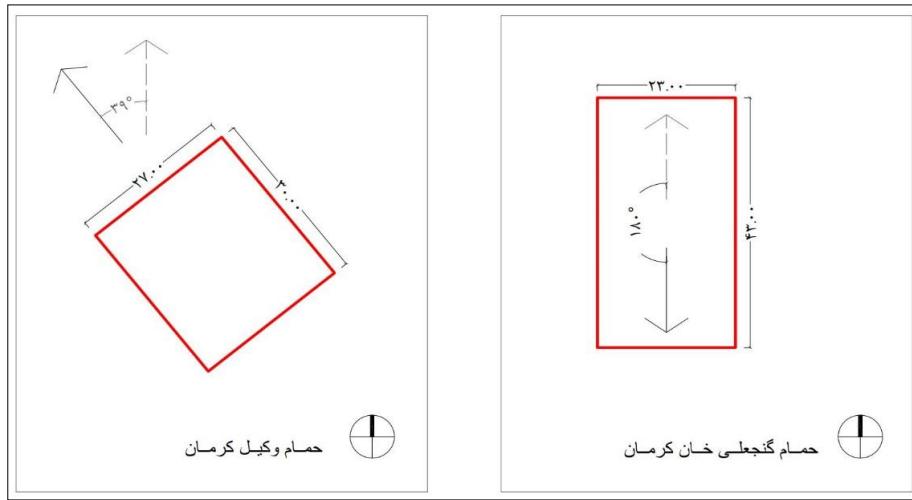
ت.۲. نمودار نوسان دمای خشک در شهر کرمان در مقایسه با شرایط آسایش حرارتی در استاندارد اشتری^۸، استخراج شده از نرم افزار مشاور اقلیمی^۹



ت.۳. نمودار نوسان دمای زمین در شهر کرمان در عمق‌های ۰/۵، ۰/۰ و ۰/۴ متری از سطح زمین، استخراج شده از نرم افزار مشاور اقلیمی



ت.۴. نمودار نوسان ساعتی دمای خشک در طی سال در شهر کرمان، استخراج شده از نرم افزار مشاور اقلیمی



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

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^{۱۵}) در جداول شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است.

یافته ها

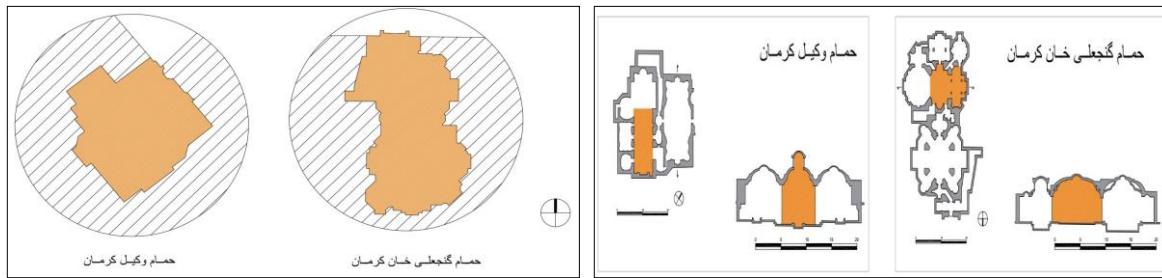
همان گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شد، در مرحله آغازین، برداشت های انجام شده از دو حمام تاریخی کرمان به عنوان مستندات پایه این پژوهش مورداستفاده قرار گرفت. گرمخانه های این حمامها که با رنگ در تصویر شماره ۶ مشخص شده، در حالت های مستطیل (یا شبیه مستطیل) قابل شناسایی است. راستاهای کلی پلان ها با در نظر گرفتن شمال جغرافیایی در بالای کاغذ در تصویر شماره ۷ نمایش داده شده است. در کلیه حمامها، عموماً ساختار جداره های فضای گرمخانه در پوشش فضاهای کنترل نشده دیگری همچون سربینه، خزینه، هشتی، خلوت، تون، میان در، چال حوض و غیره صورت می پذیرد. جدول شماره ۲، به درک بهتر فرم سربینه و گرمخانه کمک می نماید.

همچنین در بخش های مربوط به شرایط گرمایشی^{۱۰} نرم افزار، گرمایش کلی فضا طبق یافته های پژوهش های قبلی در خصوص منشأ گرمایش در حمام های سنتی و مستندات موجود، ناشی از عبور دود در مسیر دودکش پس از سوختن سوخت های فسیلی زغال یا سوخت های تجدید پذیر فضولات حیوانی از زیر گربه روهای زیر کف حمام (فخاری تهرانی، ۱۳۷۹: ۱۰۲-۱۰۳) در نظر گرفته شد.

اطلاعات فعالیت^{۱۱} در نرم افزار، طبق گفته های مستند به طور میانگین از ساعت ۶ صبح تا ۲۱ شب برای هفت روز هفته و بازه دمایی مورد انتظار^{۱۲}، ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی گراد داده شد. لازم به ذکر است متوسط پوشش^{۱۳} در این بخش نیم کلو^{۱۴} محاسبه شده است.

در مرحله شبیه سازی، مکعب مستطیل تعریف شده به نیابت از حجم اصلی، از حیث محیط در گیر شده با فضاهای هم جوار (دیوارهای ساختمان های همسایه) و عمق میانگین داخل خاک، ترسیم شد. اطلاعات ناشی از ابعاد و مساحت طبق مستندات ارائه شده در یافته های پژوهش در مدل سازی دخالت داده شده است.

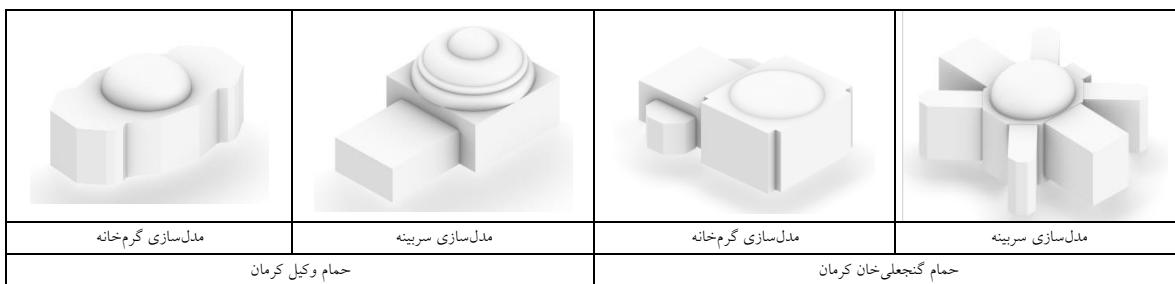
ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که مدل سازی



ت.۷. هم جواری ها با تأکید بر همسایگی و فضاهای تهی در بافت پیرامونی نمونه های انتخابی پژوهش

ت.۶. نمایش گرم خانه در پلان و مقطع حمام های کرمان

ج.۲. مدل سازی پوسته داخلی فضاهای سربینه و گرم خانه در حمام های منتخب پژوهش



تهی حمام جهت مقایسه اندازه گیری شود. بنابراین جهت شبیه سازی مدل تلخیص شده هر یک از حمام ها در نرم افزار شبیه ساز دیزاین بیلدر، نیاز به برآورده محيط در گیر با همسایگی، عمق میانگین مدفون در خاک و مساحت پیرامونی و راستای کلی از بابت میزان دریافت تابش آفتاب از طریق بام و متوسط ابعاد گرم خانه بوده که این موضوع در جداول شماره ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

همان گونه که از تصاویر نقشه حمام ها مشاهده می شود، نحو فضا در حمام های منتخب پژوهش، دارای الگوی مشابهی بوده است. برداشت ثانویه و بهره گیری از بازدید میدانی از حمام های مرحله آغازین کمک نموده تا ابعاد فضاهای در هر دو حمام به شکل قاعده مندی صورت پذیرد. مدل سازی آغازین نقشه ها این امکان را فراهم نموده که مساحت کل و فضاهای

ج.۳ ارتفاع و عمق مدفون در زمین حمام های کرمان

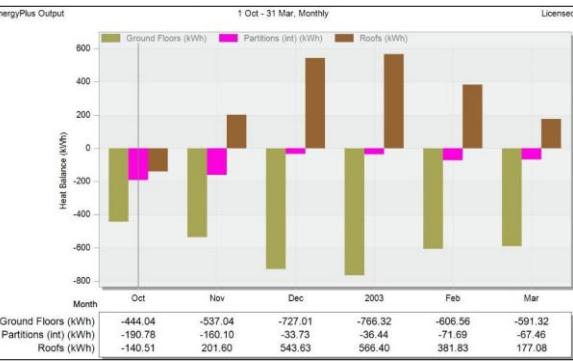
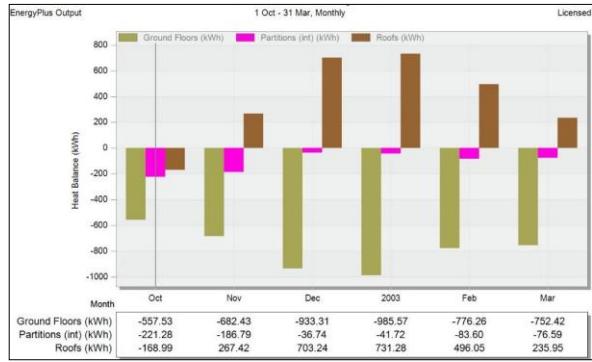
شماره	نام حمام	ارتفاع حمام (cm)	عمق مدفون در زمین (cm)	ضخامت میانگین دیوارهای پیرامونی (cm)	نسبت سطوح فضای همسایه بر کل (درصد)	طول متوسط بنا معادل سازی شده (m)	عرض متوسط بنا معادل سازی شده (m)	طول متوسط گرم خانه معادل سازی شده (m)	عرض متوسط گرم خانه معادل سازی شده (m)	عرض متوسط محدوده معادل سازی شده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

ج.۴. توزیع جدارهای پیرامونی بر حسب تناسب مساحت گرم خانه بر مساحت فضاهای کنترل نشده جانبی حمام های کرمان

شماره	نام حمام	مساحت کل بنا (m ²)	مساحت گرم خانه (m ²)	مساحت جدارها (m ²)	مساحت فضاهای محیط بر گرم خانه (m ²)	مساحت گرم خانه (m ²)	مساحت کل جدارها (m ²)	طول سطح مجاور همسایگی ها (m)	طول محيط پیرامون بنا (m)
۱	گنجعلی خان	۹۸۴	۱۲۵	۲۳۱	۶۲۸	۱۲۵	۱۷۸	۱۵۸	۱۳۳
۲	وکیل	۸۱۷	۹۸	۱۹۹	۵۲۰	۹۸	۱۲۹	۱۱۲	۱۳۷
میانگین		۹۰۰	۱۱۲	۲۱۵	۵۷۴	۱۱۲	۱۰۴	۱۳۵	۱۲۹

تحلیل یافه‌ها

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



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

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

ت ۸ مقایسه اتلاف حرارت از طریق زمین، بام و جداره‌ها در حمام گنجعلی خان - خروجی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت یافتن سهم هر یک از راهکارها در بحث جلوگیری از اتلاف حرارت حمام، شرایط مدل‌سازی به صورت 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 قابل مشاهده است.

ج ۵. محاسبه میزان اتلاف حرارت بر حسب وات از پوسته در گرمخانه حمام گنجعلی خان کرمان

مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نومبر	اکتبر	اتلاف حرارت (بر حسب وات) / ماه سال
۸/۱۰۰۴	۹/۴۰۶	۴/۳۳۲	۱/۲۹۱	۵/۱۷۷۴	۳/۱۲۴۳	بدون راهکار
۲/۷۸۴	۹/۳۴۴	۳/۱۶۲	۶/۲۲۲	۶/۹۹۳	۷/۱۶۰۵	برخورداری از جرم حرارتی
۴/۶۶۴	۱/۲۵۳	۷/۱۰۳	۶/۱۵۶	۳/۸۶۴	۷/۱۴۳۷	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده
۹/۶۱۹	۰/۲۲۰	۷/۸۴	۶/۱۲۹	۵۶/۸۱۴	۲۶/۱۷۷۲	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین
۹/۵۷۵	۳/۱۸۹	۲/۶۸	۵/۱۰۵	۲/۷۶۵	۵/۱۳۰۶	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین و همسایگی

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

مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نومبر	اکتبر	اتلاف حرارت (بر حسب وات) / ماه سال
۱/۱۲۱۸	۵/۴۸۳	۸/۳۹۲	۶/۳۲۷	۹/۱۵۷۸	۲/۲۸۴۹	بدون راهکار
۸/۶۸۶	۳/۲۸۵	۸/۱۶۹	۶/۲۰۷	۳/۹۰۹	۱/۱۵۳۵	برخورداری از جرم حرارتی
۶/۶۲۱	۸/۲۱۷	۶/۱۲۳	۷/۱۶۱	۱/۸۳۴	۴/۱۴۶	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده
۸/۶۰۰	۱/۲۲۳	۹/۱۲۲	۹/۱۴۷	۹۳/۸۰۹	۲/۱۴۰۴	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین
۳/۰۸۰	۵/۲۰۸	۹/۱۱۲	۶/۱۳۴	۹/۷۸۵	۱/۱۳۷۱	برخورداری از جرم حرارتی و فضای کنترل‌نشده و ورود به زمین و همسایگی

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

میانگین	سهم راهکار در ماه‌های میلادی (درصد)							راهکار	نام حمام
	مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نوابر	اکتبر			
۳۸/۹۸	۲۶/۱۰	۳۵/۸۱	۵۵/۹۶	۳۷/۰۳	۳۱/۹۱	۳۷/۰۸	جزم حرارتی دیوارها	گنجعلی خان	گنجعلی خان
۲۲/۹۶	۱۵/۱۳	۲۶/۶۵	۳۶/۵۴	۳۵/۷۰	۱۳/۰۴	۱۰/۵۱	فضای کنترل نشده		
۱۰/۷۳	۶/۶۴	۱۲/۸۵	۱۷/۷۷	۱۶/۹۲	۵/۷۲	۴/۴۹	ورود به زمین		
۱۱/۶۸	۷/۱۰	۱۴/۱۵	۱۹/۳۶	۱۸/۶۰	۶/۶	۴/۸۱	همسایگی		
۴۴/۷۸	۴۳/۶۲	۴۰/۹۹	۵۶/۷۷	۴۰/۲۸	۴۰/۹۱	۴۶/۱۲	جزم حرارتی دیوارها	وکیل	وکیل
۱۴/۰۵	۹/۴۹	۱۶/۶۵	۲۱/۳۲	۲۲/۱۱	۸/۷۷	۶/۲۳	فضای کنترل نشده		
۵/۲۰	۳/۳۵	۶/۱۸	۸/۰۱	۸/۰۳	۲/۹۰	۲/۲۴	ورود به زمین		
۰/۴۰	۳/۹۱	۶/۵۴	۸/۱۴	۸/۹۹	۲/۹۷	۲/۳۶	همسایگی		

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 حداقل کارایی به نسبت سایر ماه‌های سال، به کمتر از نصف میزان عدم حضور کاهش می‌دهد. همچنین در خصوص راهکار «احاطه فضای گرم با فضاهای کنترل نشده»، فضاهای هم جوار 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) حداقل بوده و به حدود ۳۵ درصد در حمام گنجعلی خان و ۲۲ درصد در حمام وکیل کرمان رسیده است. لازم به ذکر است که اهمیت راهکار «فضاهای کنترل نشده پیرامون فضای گرم» در مقایسه با راهکارهای «پایین رفتن در داخل زمین» و «قرارگیری در بافت فشرده شهری» بیان شده در پیشینه پژوهش‌های پیرامون حمام‌های سنتی ایران در دهه ۷۰ تا ۹۰ شمسی، بیش از دو برابر بوده است.

همان‌گونه که در جداول برداشت شده از حمام‌های گنجعلی خان و وکیل کرمان اشاره شد، ارتفاع متوسط فضاهای در حمام وکیل به نسبت حمام گنجعلی خان بیشتر است، به‌طوری‌که با وجود مساحت بیشتر حمام گنجعلی خان، حجم فضایی هر دو گرمخانه نسبتاً یکسان است. این موضوع در کنار مرزبندی کمتر فضای

نتیجه

چنانچه پیش‌ازاین در مرور پیشینه پژوهش پیرامون حمام‌های سنتی اشاره شد، موضوع مدیریت حرارت و اتلاف حرارت در حمام‌های سنتی تاکنون به صورت شبیه‌سازی موردنظر نبوده است. این مسئله باعث شده کلیه راهکارهای مطرح شده در خصوص اتلاف حرارت، نه تنها صرفاً به صورت تخمينی مطرح شود، بلکه به کل حمام‌های کشور نیز تعمیم داده شود. در حالی که در کنار تفاوت اقلیمی و آب‌وهوازی هر یک از حمام‌ها و طرح متنوع آن‌ها، بررسی صحت این گفتارها، نیازمند تحقیق موردنی جدگانه در خصوص حمام‌های شناخته شده هر پنهانه آب‌وهوازی و یا شهرهای تاریخی ایران است. به‌طور مثال با وجود اینکه دو راهکار «پایین رفتن در داخل زمین» و «قرارگیری در بافت فشرده شهری»، مکرراً در مقالات قدیمی پیرامون حمام مطرح شده بود، در بررسی انجام شده در دو حمام شهر کرمان در اقلیم گرم و خشک ایران، مشاهده شد که راهکارهای «استفاده از جرم حرارتی مصالح» و «فضاهای کنترل نشده 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 انتخاب شده در شهر کرمان، جرم حرارتی جداره‌ها، با توجه به نوسان بالای

گرم خانه با فضاهای هم جوار در حمام و کیل به نسبت حمام گنجعلی خان 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 کنترل نشده داشته، باعث شده است که کارایی این راهکار به طور میانگین در طول سال در حمام گنجعلی خان حدود ۲۳ درصد و در حمام وکیل حدود ۱۴ درصد باشد. همچنین ضخامت متوسط دیوارهای پیرامونی در حمام وکیل ۱۰۵ سانتی متر و در حمام گنجعلی خان ۷۵ سانتی متر بوده است که این موضوع به واسطه جرم حرارتی بیشتر جدارهای، در تأثیرگذاری این راهکار در حمام وکیل مشهود است. به طوری که جرم حرارتی در حمام وکیل به طور میانگین در طول سال باعث کاهش حدود ۴۴ درصد اtalaf حرارتی بوده و این مقدار در حمام گنجعلی خان به حدود ۳۹ درصد کاهش می یابد.

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 (۹ آذر تا ۱۰ دی)، زانویه (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 خوبی؛ مترجم کلود کرباسی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهرسازی، مرکز استاد 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. - سهراپی، 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. - طبی، محسن؛ انصاری، مجتبی؛ طاووسی، محمود؛ فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۸۶). بازشناسی ویژگی‌های کالبدی گرمابه‌های ایران در دوره صفوی، هنرهای زیبا، ۹(۲۹)، ۵۸-۴۹. - طبی، محسن؛ انصاری، مجتبی؛ طاووسی، محمود؛ فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۸۵). مطالعه تأثیر اقلیم در طراحی و ساخت گرمابه‌های ایران. صفحه. ۱۵، ۱۶۶-۱۵۲. - فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۶۸). حمام‌ها. تهران: نشر جهاد دانشگاهی. - فخاری تهرانی، فرهاد. (۱۳۷۹). حمام‌ها در نظرگاه زمان. صفحه. ۱۰، 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.