تاریخ دریافت : ۹۵/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش : ۹۶/۰۵/۲۵

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز تحت عنوان :
The Effect of Improper Restorations on Thermal Load of Traditional Houses of Yazd (Case-studies: Oloomi and Tehrani houses)
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

بررسی تأثیر مرمت‌های نامطلوب بر میزان بار حرارتی خانه‌های سنتی یزد*

نمونه موردی : خانه‌های علومی و تهرانی

علی ساکت یزدی**
حمید رضا بیگ‌زاده شهرکی***
ساسان کاملی****

چکیده

خانه‌های سنتی یزد میراث فرهنگی ارزشمند، بازمانده از حیات گذشتگان هستند که بخش اصلی و عمدهٔ بافت تاریخی این شهر را نیز تشکیل می‌دهند. این آثار که تجلی تاریخ، فرهنگ و هویت شهر یزد هستند، با گذر زمان رو به متروک شدن نهاده و مورد تخریب قرار می‌گیرند. حفاظت، مرمت و احیای این گنجینهٔ گرانبها، علاوه بر آن که فرصتی برای بازخوانی و شناخت ارزش‌های مندرج در این آثار است، موجب انتقال این ارزش‌ها به نسل‌های آینده خواهد شد. در مقابل اگر مرمت و احیای خانه‌ها، به صورت نامطلوب و غیر اصولی انجام گیرد نه تنها موجب شناخته شدن و احیای این ارزش‌ها نخواهد شد بلکه آسیب‌های سازه‌ای، منظری، کارکردی و معنویِ جبران ناپذیری را به بناهای تاریخی وارد می‌سازد. این نوشتار در نظر دارد با مداقه بر آسیب‌های کارکردی حاصل از مرمت‌های نامطلوب - به طور خاص در رابطه با شرایط اقلیمی- با پاسخ به این پرسش که مرمت‌هایی از این دست چه تأثیری بر بار حرارتی خانه‌ها دارد، بیان کند که اقدامات ناصحیح مرمتی که بدون پشتوانه معرفتی و علمی انجام گرفته است بر شرایط اقلیمی خانه‌های سنتی تأثیر نامطلوب خواهد داشت و پس از بهره برداری از این اماکن هزینه‌های بسیاری باید پرداخت شود تا فضاهای خانه به شرایط بهینه آسایش بازگردند. در این نوشتار سه نمونه از مداخلات و اقدامات متداول تأثیرگذار بر شرایط اقلیمی که به طور فزاینده‌ای در بافت تاریخی یزد در مرمت و احیای خانه‌ها انجام می‌گیرند به عنوان نمونه در خانه‌های علومی و تهرانی یزد توسط نرم افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی شده و میزان بار حرارتی قبل و پس از فرآیند مرمت و احیا محاسبه شده است. نتایج حاصله نشان از آن دارد که مداخلات انجام گرفته در بنا سبب افزایش بار حرارتی خانه‌ها و کاهش مطلوبیت اقلیمی آنها شده است.

واژگان کلیدی

مرمت، خانهٔ سنتی یزد، بار حرارتی، خانهٔ علومی، خانهٔ تهرانی.

*. این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد علی ساکت یزدی، با عنوان «مطالعه و بررسی مرمت و احیای خانه‌های سنتی یزد در دهه ۱۳۹۲-۱۳۸۲»، به راهنمایی دکتر محمدرضا اولیاء و دکتر حمیدرضا بیگ‌زاده شهرکی و مشاورهٔ مهندس سید هادی رضوی، دانشکدهٔ مرمت دانشگاه هنر اصفهان است.

**.کارشناسی ارشد مرمت و احیای بناها و بافت های تاریخی. نویسنده مسئول ۰۹۱۳۱۵۶۴۵۰۱
Ali.saket.y@gmail.com
***. دکتری مرمت و احیای بناها و بافت های تاریخی، عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای یزد.
architect.hamid.beig@gmail.com
****. کارشناس معماری. Sasan_kml@yahoo.com

مقدمه

خانه‌های سنتی به عنوان آئینهٔ زندگانی گذشتگان، محمل ارزش‌های تاریخی، فرهنگی و اجتماعی است که در گذر زمان بر زنجیرهٔ متداومی از آزمون‌ها و تجربه‌ها استوار شده و از این طریق به بنیان‌های مستحکمی دست یافته است. امروزه خانه‌های سنتی در شهر کهنی همچون یزد، رو به ویرانی و متروک شدن نهاده‌اند. این ابنیه که بخش عمده‌ای از بافت تاریخی یزد را تشکیل می‌دهند، به تدریج از حیات تهی شده و در پی آن، بافت تاریخی نیز پویایی خویش را از دست می‌دهد. از این رو ضرورت می‌یابد تا جهت جلوگیری از پیشرفت چنین آسیب‌هایی، خانه‌ها مورد مرمت قرار گرفته و بار دیگر زندگی در آنها جریان یابد. هر چند اقداماتی در جهت مرمت و احیای خانه‌ها انجام شده است اما شواهد درخور توجهی یافت می‌شود که در بسیاری از اقدامات کیفیت مرمت مورد غفلت قرار گرفته و برخی از کاربری‌هایی که به خانه‌ها اعطا شده است، در شأن این آثار نیستند. این اقدامات که در قالب «مرمت» اما غیرعالمانه و به دور از اصول و ظرافت‌های هنری انجام گرفته، موجب شده است که نه تنها حیات به خانه بازنگردد بلکه در میراندن ارزش‌های حقیقی خانه تأثیر چشمگیری داشته و آسیب‌های سازه‌ای، منظری، کارکردی و معنویِ جبران ناپذیری را به بنا وارد سازد. شناخت ابعاد مختلف آسیب‌های حاصل از این‌گونه مرمت‌ها اولین گام جهت مقابله با آن است که از این منظر ضروری و حائز اهمیت است. بخشی از آسیب‌های حاصل از مرمت‌های نامطلوب، ملموس و بخشی دیگر غیرملموس هستند. این نوشتار در نظر دارد با پاسخ به این پرسش که مرمت‌هایی از این دست چه تأثیری بر بار حرارتی خانه‌ها دارد با محاسبهٔ بار حرارتی فضاهای خانه‌های سنتی قبل و بعد از سه اقدام مرمتی متداول در خانه‌ها، از بخشی از آسیب‌های کارکردی تأثیرگذار بر شرایط اقلیمی که در خانه‌ها ملموس نبوده و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند پرده بردارد. این اقدامات به عنوان نمونه در خانه‌های تهرانی و علومی یزد از طریق شبیه‌سازی نرم‌افزاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

روش تحقیق

روش تحقیق این پژوهش از نظر هدف و روش به ترتیب در مجموعه پژوهش‌های کاربردی و تحقیقات توصیفی و تحلیل محتوا قرار می‌گیرد. روش یافته‌اندوزی این نوشتار در مباحث نظری، کتابخانه‌ای بوده و در بررسی نمونه‌های موردی از روش‌های میدانی، روش مشاهده که در برخورد و مشاهدهٔ بنا صورت می‌گیرد استفاده شده است. همچنین روش تحقیق در زمره تحقیقات تجربی و تحقیقات شبیه‌سازی قرار می‌گیرد که سه متغیر مشخص بر بار حرارتی بناها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش رویه آزمایشی، حذف بادگیر، وجود تهویه ناخواسته و همچنین ایجاد سایه‌بان چادری بر روی حیاط است که در این سه بخش، محاسبه بار حرارتی با حالت کنترل یا شاهد که رویه آزمایشی در آن اعمال نمی‌شود مورد قیاس قرار خواهد گرفت واحد انجام آزمون نیز شبیه‌سازی فضاهای خانه‌های سنتی قبل و بعد از مرمت در نرم‌افزار انرژی‌پلاس است (گروت و وانگ، ۱۳۹۰: ۲۵۲-۲۵۴). نرم افزار «انرژی‌پلاس[1]» یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی است؛ در مورد اعتبار این نرم‌افزار می‌توان به مقاله «پتانسیل‌های سرمایش و گرمایش چاهک‌های زمینی در ساختمان‌ها» اشاره نمود در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی و محاسباتی بر روی چاهک‌هایی زمینی که برای سرمایش ایجاد می‌شوند انجام شده است که نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آزمایش‌های تجربی مطابقت داشته است. (Lee & Strand, 2008) و همچنین مقاله «ارزیابی شبیه‌سازی‌های حرارتی نرم‌افزار انرژی‌پلاس بر روی نمونه آزمایشی دو پوسته با تهویه طبیعی و مکانیکی» به ارزیابی کارایی نرم افزار انرژی‌پلاس برای شبیه‌سازی‌های حرارتی بر روی یک ساختمان با نمای دو پوسته می‌پردازد و در نهایت با مقایسه نتایج تجربی و نتایج حاصل از خروجی‌های انرژی‌پلاس به این نتیجه می‌رسد که انرژی‌پلاس نرم‌افزار معتبری برای شبیه‌سازی است (Mateus, Pinto & da Graca, 2014).

این نرم‌افزار بر پایهٔ مشخصات ساختمان، شامل ساختار فیزیکی، ساکنین، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی آن و همچنین داده‌های هوایی سالانه مکان ساختمان، می‌تواند بارهای گرمایش و سرمایش را به با توجه به محدوده آسایش خاص در بنا محاسبه کند.

انرژی‌پلاس برای محاسبه بار حرارتی از الگوریتم تعادل حرارتی و براساس فرمول‌های Ashrea به محاسبه می‌پردازد. همچنین برای محاسبه هر یک از موارد تابش، تهویه ناخواسته و بادگیر به طریق زیر عمل می‌کند :

الف. تابش

براساس اطلاعات آب و هوایی یزد که از جمع آوری اطلاعات ساعت به ساعت شهر یزد توسط ایستگاه اقلیمی سینوپتیک این شهر تهیه شده، اطلاعات شدت تابش خورشید به صورت ساعت به ساعت، استخراج می‌شود.

ب. تهویه ناخواسته

برای محاسبه نرخ تهویه ناخواسته (Inf) انرژی‌پلاس از شیوه‌های مختلفی استفاده می‌کند، که در این نمونه با توجه به نوع اطلاعات موجود از الگوریتم زیر استفاده کرده‌ایم:

$$Inf = (F_{Sch})\frac{A_L}{1000}\sqrt{C_s\Delta T + C_w(WS)^2}$$

ج. بادگیر

در ابتدا نرم افزار سرعت هوای خروجی از دهانه بادگیر (Vout) را براساس تابعی از ارتفاع بادگیر(H) و سرعت باد (WS)به طریق زیر محاسبه می‌کند:

$$V_{out} = 0.7H^{0.5} + 0.47(WS - 1)$$

سپس میزان حجم هوای خروجی از بادگیر (Q) به شرح زیر محاسبه می‌شود :

$$Q_{estimate} = A.V_{out}$$

در این فرمول، A مساحت دریچه خروجی بادگیر است و در صورتیکه باد در دهانه یا بدنه بادگیر مرطوب شود، برای محاسبه ضریب رطوبت هوای خروجی (wout) براساس رابطه قانون بقای جرم که در زیر آمده است محاسبه انجام می شود:

$$\omega_{in}(\dot{m}_{air} + \dot{m}_{water}) = \omega_{out}.\dot{m}_{air}$$

که در اینجا (win) درصد رطوبت هوای ورودی به بادگیر و ṁwater و ṁair به ترتیب جرم مولی آب و جرم مولی بخار آب موجود در هواست.

پس از محاسبه ضریب رطوبت هوای خروجی، برای محاسبه چگالی هوا (rair) و گرمای ویژه هوا (cp air) از توابع سایکرومتریک موجود در انرژی‌پلاس استفاده می‌شود.

در فرآیند تجزیه و تحلیل توسط نرم‌افزار، برای هرکدام از شبیه‌سازی‌ها داده‌هایی که به نرم افزار ارایه شده است تناسبات فضا، همجواری و همسایگی و همچنین ضخامت و مصالح جداره‌ها است. جنس مصالح به کار رفته در دیوارها و سقف خشت در نظر گرفته شده است. همچنین پوشش سقف به صورت دو پوش با عایق هوا و با میانگین ضخامت سقف گهواره‌ای در نظر گرفته شده است تا شبیه‌ترین حالت را به نمونه واقعی داشته باشد (جدول ۱).

محدوده آسایش بین ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. هنگامی که دمای فضای مورد آنالیز از ۲۵ درجه بالاتر و یا از ۲۰ درجه پایین‌تر می‌رود نرم‌افزار به محاسبه میزان انرژی مورد نیاز برای رسیدن دما به محدوده آسایش می‌پردازد. آنچه به عنوان خروجی از نرم افزار حاصل می‌شود بار حرارتی بر حسب ژول به صورت ماهیانه است که قبل و پس از مرمت محاسبه شده است و نتایج با تبدیل شدن به کیلووات محسوس‌تر می‌شوند.

جدول ۱. خواص مربوط به خشت. مأخذ : Mazria, 1979: 81.

رسانایی گرمایی (W/m-K)	۰/۸۵
چگالی (Kg/m³)	۱۷۶۰
گرمای ویژه (J/Kg-K)	۱۰۰۰

پیشینهٔ تحقیق

نقد و ارزیابی از لوازم تأمین کیفیت مطلوب است که موجب اصلاح روند موجود خواهد شد. در معماری و شهرسازی تحقیقاتی از این دست انجام شده و معیارهایی نیز برای آن تعیین شده است اما در مرمت و حفاظت از بناهای تاریخی بدان کمتر پرداخته شده است. در مقاله توسعه و حفاظت در ایران (حناچی، دیبا و محمودی‌نژاد، ۱۳۸۶) با بررسی تقابل و تعامل توسعه و حفاظت در مرمت معاصر، در زمینه آسیب‌های ناشی از توسعه، این‌گونه بیان می‌دارد که «در برخی رویکردهای مبتنی بر توسعه، نوعی شتابزدگی همراه با عدم توجه به زیرساخت‌های زیست محیطی، فرهنگی، اجتماعی و انسانی مشاهده می‌شود که حاصل آن تخریب «میراث فرهنگی و بافت‌های با ارزش شهری است در کتاب مجموعه مقالات نخستین همایش ملی شناخت و معرفی مزیت‌ها و ظرفیت‌های احیا و بهره‌برداری از اماکن تاریخی، نگاه آسیب‌شناسانه و نقادانه‌ای در این زمینه مطرح شده است که مقالهٔ «میراث در اغما» (اولیاء، ۱۳۸۹) به بیان واژهٔ اماته در برابر احیا می‌پردازد و بیان می‌دارد که مرمت‌های انجام شده ناصحیح نه تنها به احیا منجر نمی‌شود بلکه به میراندن ارزش‌های فرهنگی منتج خواهد شد و از این رو میراث در اغما به سر می‌برد. در مقاله‌ای دیگر در این مجموعه با نام «تأثیر احیا و تغییر کاربری بنا بر روند معاصرسازی و احیای بافت» (رضایی و وثاق، ۱۳۸۹) با استفاده از پرسشنامه به بررسی مرمت‌ها و احیاهایی که در محله فهادان انجام شده می‌پردازد؛ از نمونه‌های مورد بررسی .در مقالهٔ مذکور، خانه تهرانی‌ها است

در بحث شبیه‌سازی انرژی، اکثر پژوهش‌ها بر روی فضاهای طراحی شده و یا جدید ساخت انجام شده است و این تحقیق، اولین گام‌ها را در جهت شبیه‌سازی انرژی در بناهای تاریخی و محاسبه بار حرارتی برمی‌دارد. اما در باب پژوهش‌هایی که در مورد محاسبه بار حرارتی، بادگیر، تابش و نفوذ هوا که توسط نرم‌افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی و محاسبه شده است :می‌توان به مقالات زیر اشاره کرد

مقاله‌ای با عنوان «پژوهشی بر روی دودکش خورشیدی تقویت کننده بادگیر برای تهویه طبیعی در ساختمان‌ها» به مدل‌سازی عددی یک دودکش خورشیدی که به وسیله بادگیر قابلیت آن افزایش یافته است پرداخته که این مدل‌سازی نیز توسط انرژی پلاس انجام شده است. (Bansal & others, 1994).

در مقاله‌ای دیگر با عنوان «پژوهش‌های تجربی و محاسباتی بر روی عملکرد تهویه طبیعی بادگیرهای چند طرفه»

رفتار حرکت هوا در بادگیرهای چند طرفه با استفاده از تکنیک نرم افزاری از طریق مدل‌سازی جریان و آزمایشات تجربی مورد بررسی قرار گرفته است (Montazeri, 2011) و در مقاله «مشخصات تهویه طبیعی در بادگیرهای یک طرفه : ارزیابی‌های تجربی و محاسباتی» با استفاده از مدل‌سازی جریان هوا و قرار دادن مدل در تونل باد رفتار بادگیرهای منطقه یزد بررسی شده است (Dehghan, Kazemi Esfeh, Dehghan Manshadi, 2013). در مقاله «افزایش تهویه طبیعی در ساختمان‌ها با استفاده از دودکش خورشیدی» در سه شهر با اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم، تأثیر تغییر عناصر ارتفاع، ضریب جذب دیوار جاذب، ضریب عبور تابش شیشه و فاصله خالی بین شیشه و دیوار جاذب بر عملکرد دودکش خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته و سپس تأثیر دودکش خورشیدی بر بار حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است. (Lee & Strand, 2009). در مقاله «دودکش خورشیدی برای ساختمان‌های سبک در مناطق معتدل و گرم؛ بررسی نقش مصالح تغییر فاز دهنده برای افزایش کارایی» در پنج شهر گوناگون استرالیا شبیه‌سازی‌های متعددی انجام شده است تا مناسب‌ترین نوع جرم حرارتی از نوع تغییر فاز دهنده برای دیوار ترومب متناسب با هر شهر به دست آید (Fiorito, 2012). در مقاله «معیار انرژی در ساختمان‌های مسکونی» تأثیر فرم‌های ساختمانی بر بار حرارتی آزمایش شده است. در این تحقیق میزان تابش خورشیدی یکی از پارامترهای کلیدی در شبیه‌سازی بوده است. (Tereci, Elias Ozkan & Eicker, 2013) همچنین در مقاله «بام‌های سبز؛ صرفه جویی در مصرف انرژی و پتانسیل آن برای بهینه سازی» تأثیر بام سبز بر روی بار حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است. (Castleton, Stovin, Beck & Davison, 2010) و نهایتاً در مقاله «بررسی تأثیر فرم هندسی چلیپا بر میزان بار سرمایش در خانه‌های سنتی یزد» میزان بار سرمایشی خانه‌ها تحت تأثیر فرم چلیپا توسط نرم افزار انرژی پلاس شبیه‌سازی و محاسبه شده است (کاملی، ساکت یزدی و امیدواری، ۱۳۹۵).

شناسایی مرمت‌های نامطلوب در خانه‌های سنتی یزد

مرمت بناهای تاریخی اقدامی جهت تطویل عمر و حفاظت از ارزش‌های بناست. شناخت ارزش‌ها و ظرفیت‌های بناهای تاریخی بر نوع مواجهه با این آثار و چگونگی مداخله و کیفیت مرمت تأثیرگذار است و این نکته حائز اهمیت است که اگر مرمت بدون شناخت و دانش کافی انجام گیرد و همچنین اجرای عملیات مرمتی بدون رعایت اصول و ظرافت‌های هنری و فنی صورت پذیرد نه تنها حافظ ارزش‌ها نخواهد بود بلکه خود آسیب‌رسان می‌شود. ادامهٔ این روند چه بسا موجب خواهد شد تا ماهیت مرمت در گذر زمان دچار استحالهٔ جدی قرار گرفته و به مفهومی ضد مرمت و حفاظت مبدل شود.

مرمت‌های بی‌کیفیت خانه‌های سنتی یزد در دههٔ اخیر ظهور رویکردی خاص را علامت می‌دهد که در این نگرش، بهره‌برداری مادی و کسب حداکثر منافع شخصی یا گروهی از مواریث فرهنگی به عنوان غایت اصلی مرمت خانه‌ها به جای حفاظت از بنا در نظر گرفته می‌شود. این نوع نگرش باعث شده تا کاربری‌هایی که به خانه‌ها اعطا می‌شود به سمت کاربری‌های درآمدزا چون هتل و رستوران سوق یابد و مداخلات و اقدامات مرمتی نه در جهت حفاظت از ارزش‌های بنا بلکه در جهت پیشتازی در بازار رقابت اقتصادی و کسب سود بیشتر انجام می‌گیرد. اقدامات غیر اصولی متنوعی در این بناهای ارزشمند رخ داده و همچنان در حال وقوع است که از میان آنها می‌توان به برخی موارد از قبیل آنچه در ادامه می‌آید اشاره کرد و آنها را مورد کنکاش دقیق‌تری قرار داد.

از جمله اقدامات متداول و به دور از دانش در مرمت خانه‌ها رواج حذف بادگیرها از جریان تهویهٔ هوای فضاهای تابستان‌نشین است. با توجه به اینکه مرمت و ساخت مجدد بادگیر در صورت تخریب مستلزم صرف هزینه است در نتیجه ترجیح داده می‌شود تا به جای مرمت، دریچه‌های بادگیر مسدود شود[۲]. این در حالی است که بادگیر به خوبی می‌تواند بدون صرف انرژی محیط را به شرایط آسایش برساند و حذف بادگیر علاوه بر ایجاد آسیب‌های معماری، منظری و معنوی، آسیب‌هایی کارکردی در بنا ایجاد کند.

از دیگر اقدامات متداول، تعویض و جاگذاری نامناسب درها است. این عناصر کالبدی به علت متحرک بودن، قرارگیری در معرض عوامل جوی و همچنین جنس مصالحشان در گذر زمان در مقابل عناصر کالبدی دیگر بنا آسیب‌پذیرتر بوده که با توجه به عدم کارایی و یا برای صرف هزینهٔ کمتر، تعویض در به مرمت آن ترجیح داده می‌شود. در مراحل ساخت بازشوهای جدید، علاوه بر جنس چوب، دقائق و اصولی که در ساخت درهای قدیمی لحاظ می‌شده است باید مورد توجه قرار گیرد. اما این مهم در اکثر ساخت‌های جدید با توجه به عدم دانش کافی در این زمینه و همچنین برای صرف هزینهٔ کمتر، مورد بی‌توجهی قرار گرفته و آسیب‌هایی را به اصالت، کارکرد و دوام عمر بناهای تاریخی وارد می‌سازد. از جمله آسیب‌های کارکردی حاصل از ساخت نامناسب، ایجاد شکاف و درز میان لنگه‌های در، هنگام بسته شدن آنها است که این شکاف موجب بروز تهویه ناخواسته خواهد شد. علاوه بر این، جاگذاری نامناسب در نیز موجب ایجاد شکاف بین در و چارچوب آن خواهد شد.

سومین اقدام متداول در مرمت و احیای خانه‌های سنتی یزد

که این نوشتار بدان می‌پردازد، مسقف ساختن حیاط خانه‌ها به وسیله سازه چادری (پوش) است. هر چند استفاده از این سازه بر روی حیاط به طور موقت، اقدامی مرسوم جهت مهیا ساختن خانه برای برگزاری آیین‌ها و مراسم است و همچنین اصول مهندسی ارزشمندی در ساخت و برپایی این سازه به کار گرفته شده است اما با توجه تغییرکاربری اکثر خانه‌ها به هتل و رستوران و استفاده از حیاط به عنوان فضای عمومی، این پوشش بر روی فضای باز خانه به صورت دائم قرار داده می‌شود. در این اقدام علاوه بر از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، فضای زمستان‌نشین خانه‌ها که در فصول سرد سال از تابش خورشید برای رسیدن به شرایط آسایش بهره می‌برد با ایجاد پوشش دائم از این امکان محروم می‌شود.

معرفی نمونه‌های موردی

خانه‌های علومی و تهرانی یزد از جمله خانه‌های با ارزش و خاص این شهر هستند که در دوره‌هایی که مورد مرمت قرار گرفته‌اند برخی اقدامات مرمتی موجب آسیب‌هایی به اصالت و کارکرد این بناها شده است. در ادامه به معرفی اجمالی بناهای یاد شده، به تناسب حوصلهٔ مقاله پرداخته می‌شود :

● خانهٔ علومی

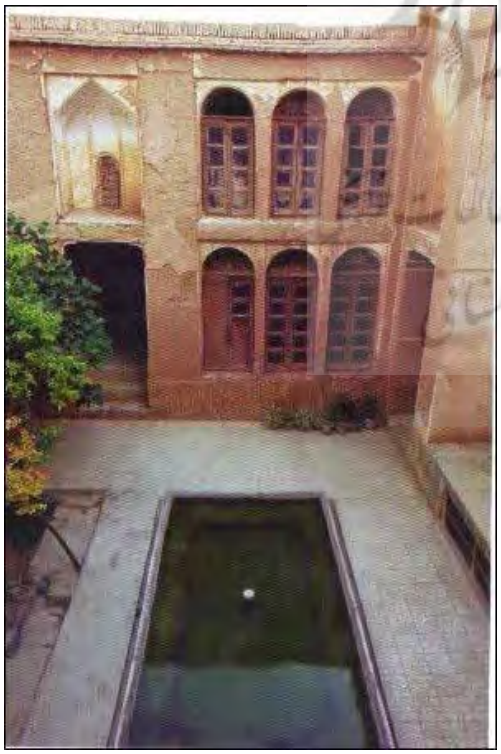
این مجموعه را آخوند ملاباقر اردکانی و فرزندش، آخوند ملاحسین که لقب «علومی» گرفت و جد علومی‌های یزد است، بنا کرده‌اند. قدمت خانه به صد و بیست سال (قاجاریه) می‌رسد. بخش میانی، حیاطی بزرگ و مفصل، که سه جبههٔ جنوب شرق، جنوب غرب و شمال غرب آن را فضاهای گوناگون فرا گرفته است و در مرکز آن نیز گودال باغچه‌ای هست که فضاهای مختلفی در پیرامون آن قرار دارد. بستر کل مجموعه تقریباً به شکل مستطیل و کشیدگی آن در جهت جنوب شرقی ـ شمال غربی است (حاجی قاسمی، ۱۳۸۳: ۱۱۸).

تصویر۱. خانه علومی از داخل گودال باغچه. عکس : ساکت یزدی، ۱۳۹۳.

این خانه در ادامه توسط سازمانی دولتی خریداری شد که جهت تغییر کاربری به هتل به گونه‌ای نامطلوب مرمت شد و همچنین مدتی در میانهٔ کار مرمت متروک ماند تا دانشگاهی غیر انتفاعی آن را در سال ۱۳۹۲ خریداری کرد و امروز به پردیس هنر و معماری آن دانشگاه تغییر کاربری داده است (تصویر ۱).

● خانهٔ تهرانی

این خانه در حدود صد تا صد و پنجاه سال پیش توسط آقا شیخ مهدی عرب بنیان گذاشته شده است. خانوادهٔ او بعدها لقب «تهرانی» گرفتند و از آن زمان، این خانه به «خانهٔ تهرانی‌ها» شهرت یافته است. بنا از یک بخش اصلی و یک بخش خدماتی تشکیل شده است. بخش اصلی آن عبارت است از حیاطی مستطیل شکل که با فضاهایی بسته با ارتفاع معادل دو طبقه محصور شده است. حیاط تقریباً در امتداد شمال ـ جنوب قرار گرفته است و دستگاه ورودی متشکل از سردر، هشتی و دالان، در گوشهٔ شمال غربی بنا قرار دارد. بخش خدماتی واقع در جنوب خانه ورودی مجزا دارد. این بخش در پس فضاهای مجاور حیاط میانی جای گرفته و در نتیجه، از بازی اصلی فضاهای مجموعه به کنار مانده است (حاجی قاسمی، ۱۳۸۳: ۳۲). این خانه در سال‌های اخیر به سبب خروج ساکنانش رو به ویرانی نهاده بود که سازمان میراث



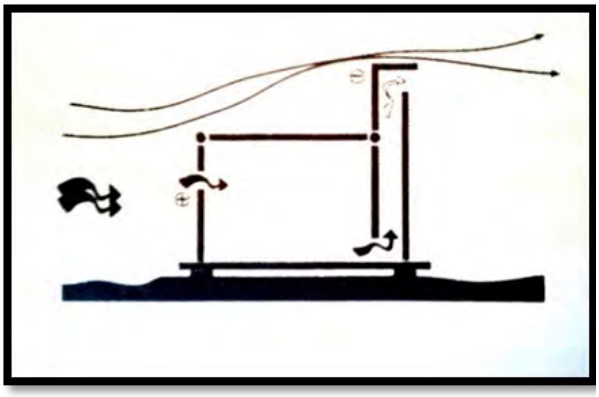
تصویر۲. خانه تهرانی قبل از تغییر کاربری. عکس : ساکت یزدی، ۱۳۹۳.

فرهنگی آن را خرید و جهت تغییر کاربری بنا به هتل، در اختیار بخش خصوصی قرار داد (رضایی و وثاق، ۱۳۸۹: ۳۰۰) که امروزه به هتل تغییر کاربری داده است (تصویر ۲).

بررسی و تحلیل مداخلات صورت گرفته

● حذف بادگیر

بادگیرها، المان‌های برخاسته از بام خانه‌های سنتی هستند که مجاری تنفسی شهر هستند، هم اکنون حدود ۱۸۰ بادگیر در منظر شهر یزد خودنمایی می‌کنند (محمودی، ۱۳۸۵: ۹۲). بادگیر مجموعهٔ ثابتی است که همزمان به صورت «بادخور» (تصویر ۳) و «بادخان» (تصویر ۴) عمل می‌کند و قابلیت همزمان تهویه هواکشی و تهویه دودکش را ایجاد می‌کند (بتل مک کارتی، ۱۳۸۵: ۳۲). در واقع، کارکرد اصلی بادگیرها هدایت هوای بیرون به داخل ساختمان، خنک کردن نسبی و برقراری جریان هوا بوده است (بهادری‌نژاد و دهقانی، ۱۳۸۷: ۳). این سیستم در ساختمان‌هایی که دسترسی کمی به باد دارند می‌تواند باد بالای بام را به داخل ساختمان بیاورد. در بافت‌های متراکم با ساختمان‌های کوتاه، دسترسی یکایک ساختمان‌ها به باد امری دشوار است، زیرا ساختمان‌های رو به باد مانع دسترسی ساختمان‌های پشت به باد می‌شوند. در این موارد می‌توان از بادگیر در بالای بام ساختمان استفاده کرد که هم هوا در آنجا پاک‌تر و خنک‌تر است و هم می‌توان باد را به طور مستقیم به اتاق‌های مورد نظر هدایت کرد (دی‌کی و براون، ۱۳۸۹: ۱۸۸). در اثر وزش باد، هوا از دهانهٔ بادگیر وارد ستون بادگیر شده و پس از تبادل حرارت با ستون داخلی بادگیر، وارد ساختمان می‌شود (بهادری‌نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۷: ۱۵) و عمل تهویه هواکشی انجام می‌گیرد. تهویه هواکشی تنها در صورتی مؤثر است که سرعت جریان باد بیش از ۲/۵ متر در ثانیه باشد (بتل مک کارتی، ۱۳۸۵: ۲۴). جریان طبیعی هوا گذشته از وزیدن آن توسط باد، در اثر پدیدهٔ دودکشی نیز صورت می‌گیرد (بهادری‌نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۵: ۲۶۹). وقتی سرعت باد پایین است یا دمای هوای بیرون کمتر از درون باشد، مثلا به هنگام شب، می‌توان از اثر دودکشی در تولید حرکت هوا استفاده کرد. این پدیده در شب باعث تهویه شده و سازه را خنک می‌کند (کوگ ـ نیلسن، ۱۳۸۵: ۷۳). در این حالت حتی اگر باد هم نوزد، هوای گرم داخل بنا رو به بالا صعود کرده و جریان خواهد داشت (واتسون و لبز، ۱۳۸۸: ۱۶۲)؛ (تصویر ۳). با حذف بادگیر، عملکرد دودکشی و هواکشی از جریان تهویهٔ فضا خارج می‌شود و مسلماً با صرف انرژی باید این نقصان را جبران کرد. این در حالی است که بادگیر بدون صرف انرژی می‌توانست فضا را به شرایط آسایش برساند. نمونهٔ موردی مد نظر که در آن بادگیر تخریب شده است و در مرحلهٔ مرمت بازسازی نشده و دریچه آن مسدود شده است فضای تابستان‌نشین خانه علومی است که در تصویر ۵ مشخص شده است. این فضا در نرم‌افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی شده و سپس تأثیر حضور و عدم حضور بادگیر بر روی بار سرمایش، مورد مطالعه قرار گرفته است. باید در نظر داشت که افزودن بادگیر علاوه بر مزایای عمل تهویه دودکشی و تهویه هواکشی، نرخ تهویه ناخواسته را نیز افزایش می‌دهد، که مقدار آن با توجه به دمای محیط و سرعت جریان باد متفاوت است که این نکته نیز در آنالیزها رعایت شده است. مواردی که به عنوان داده دراین مرحله به نرم افزار ارایه شده، هندسه فضا و جهت‌گیری آن، نرخ تهویه طبیعی و تهویه ناخواسته، مصالح جداره‌ها و بازشوها، شرایط مرزی جداره‌ها و همچین اطلاعات هوایی ساعت به ساعت منطقه است. خروجی نرم افزار میزان بار سرمایش به صورت ماهانه است که تفاوت بار سرمایش قبل و بعد از مرمت در نمودار ۱



تصویر ۳. بادخور، عملکرد هواکشی بادگیر .
مأخذ : بتل مک کارتی، ۱۳۸۵ : ۲۵.

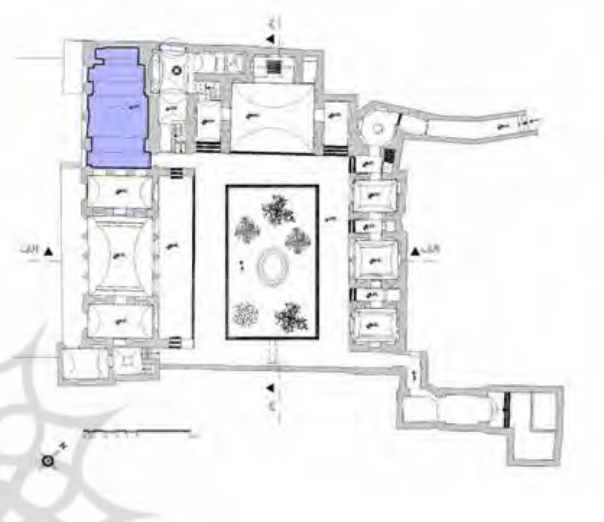
تصویر ۴. بادخان، عملکرد دودکشی بادگیر.
مأخذ : بتل مک کارتی، ۱۳۸۵ : ۲۵.

مشخص است (تصویر ۵)؛ (نمودار ۱).

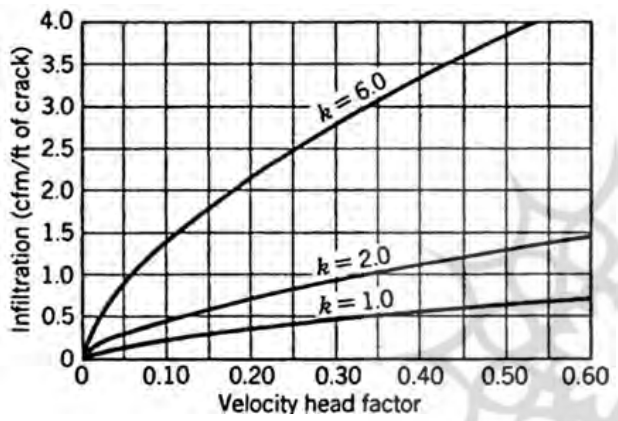
●جاگذاری و ساخت نامناسب درها و افزایش تهویهٔ ناخواسته[۳]

تهویهٔ ناخواسته، نفوذ کنترل نشدهٔ هوای بیرون به داخل ساختمان است (Grondzik & Kwok: 2014: 224). افزایش نرخ تهویهٔ ناخواسته، بار حرارتی را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد. نمودار ۲ نشان دهندهٔ نرخ تهویهٔ ناخواسته است که در آن k نشان دهندهٔ کیفیت درزبندی[۴] است که برای درزبندی‌های خوب و کمتر از ۰,۴ میلی‌متر شکاف ضریب k برابر ۱، بین ۰/۴ تا ۲/۴ میلی‌متر ضریب k برابر ۲ و بیش از ۲/۴میلی‌متر k برابر ۶ در نظر گرفته می‌شود. میزان ضریب مؤثر سرعت باد[۵] با توجه به سرعت جریان باد در تابستان و زمستان، مطابق نمودار ۳ می‌شود (Grondzik & Kwok, 2014: 1702). میزان سرعت باد در ماه‌های مختلف در شهر یزد در نمودار ۴ آمده است (نمودار ۲، ۳ و ۴).

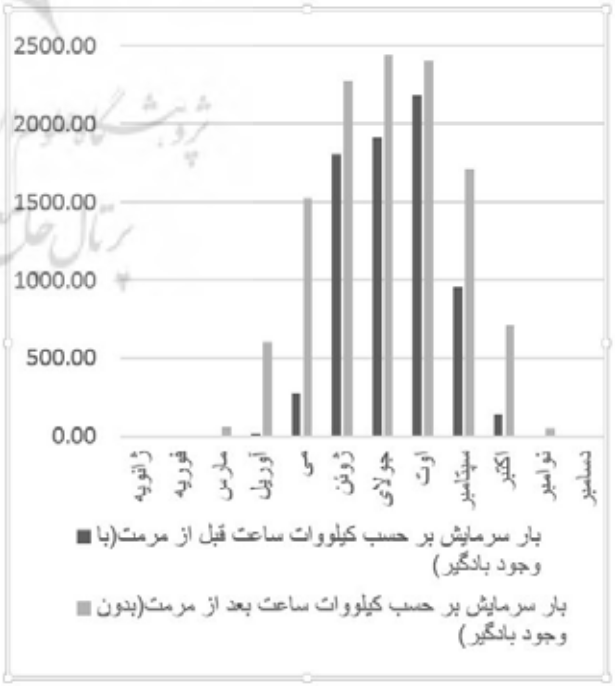
در این بخش اثر تعویض درهای یکی از فضاهای خانهٔ علومی که در تصویر ۶ مشخص شده است، بر بار حرارتی قبل و بعد از مرمت، مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور از



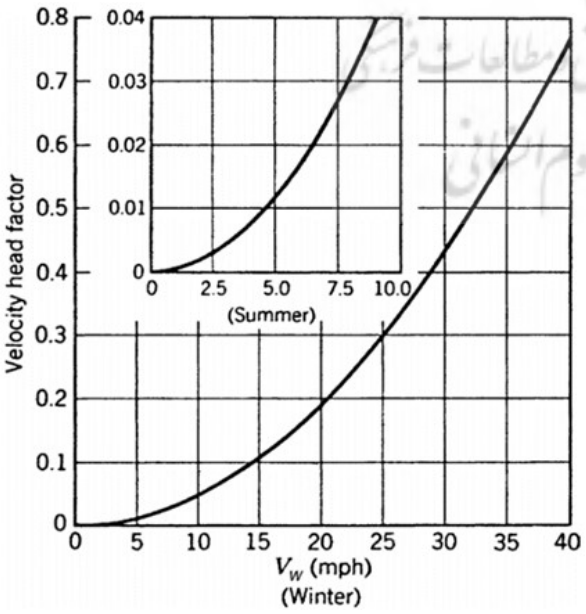
تصویر ۵ . پلان طبقهٔ همکف خانهٔ علومی و فضای چهاردری آنالیز شده.
مأخذ : مرکز اسناد میراث فرهنگی یزد.



نمودار۲. نرخ تهویه ناخواسته براساس ضریب k و ضریب مؤثر سرعت باد.
مأخذ : Grondzik & Kwok, 2014: 1701.



نمودار ۱. بار حرارتی اتاق سه‌دری خانهٔ علومی قبل و بعد از مرمت.
مأخذ : نگارندگان.



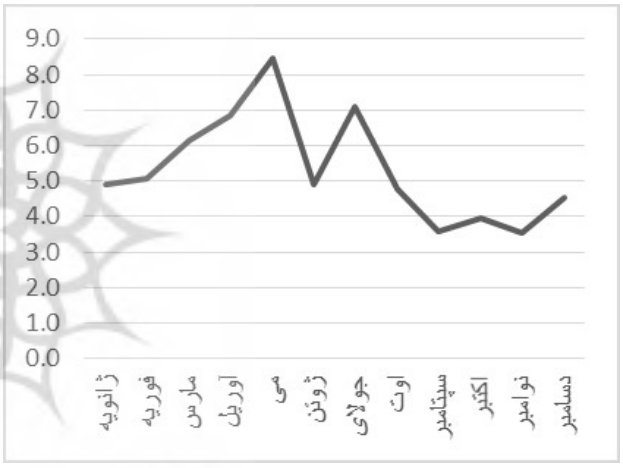
نمودار ۳. ضریب مؤثر سرعت باد براساس سرعت باد در زمستان و تابستان.
مأخذ: Grondzik & Kwok, 2014: 1701.

نمودار ۳، با توجه به نوع درزبندی (با توجه به میزان شکاف و جنس بازشو، برای قبل از مرمت ضریب k برابر ۲ و بعد از مرمت، ضریب k برابر ۶ در نظر گرفته شده است) و سرعت جریان باد ماهیانه مستخرج از نمودار ۲ متوسط نرخ تهویهٔ ناخواسته برای هر ماه استخراج شده است و با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس شبیه‌سازی شده است. لازم به ذکر است که در تعویض درها از شیشهٔ دوجداره استفاده شده که این امر نیز در آنالیزها لحاظ شده است. مواردی که در این مرحله به نرم افزار داده شده است، هندسه فضا و جهت‌گیری آن، مصالح جداره‌ها و بازشوها، شرایط مرزی جداره‌ها، سرعت مؤثر باد، کیفیت درزبندی و همچین اطلاعات هوایی ساعت به ساعت منطقه است. خروجی نرم افزار بار سرمایش و گرمایش به صورت ماهانه است که در نمودارهای ۵ و ۶ نتایج حاصل از آنالیزها به صورت مقایسه‌ای در حالات قبل و بعد از مرمت ارایه شده است (تصویر ۶ و ۷).

● **قرار دادن سازهٔ چادری دائم بر روی حیاط**

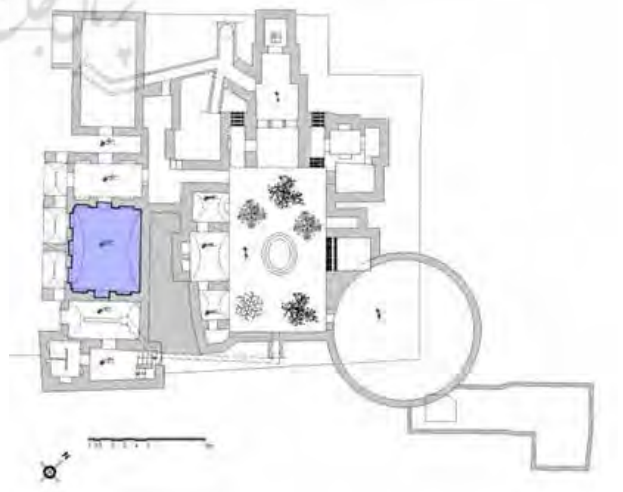
نخستین و ساده‌ترین راهکار در گرمایش غیرفعال خورشیدی، استفاده از سیستم جذب مستقیم است که فضای داخلی به طور مستقیم توسط خورشید گرم می‌شود (Mazria, 1979: 29). تقریباً همهٔ ساختمان‌ها با شیشه‌های جنوبی از این راهکار استفاده می‌کنند و نور خورشید به سوی فضای داخل ساختمان هدایت می‌شود و با برخورد به مبلمان فضا و سطوح داخلی ساختمان، فضا را گرم می‌کند (Grondzik & Kwok, 2014: 296) این سیستم در خانه‌های سنتی

تصویر ۷ . شکاف بین در و چارچوب در اتاق دودری خانهٔ علومی یزد و ایجاد تهویهٔ ناخواسته. مأخذ : نگارندگان.



نمودار ۴. متوسط سرعت جریان باد در شهر یزد برحسب مایل بر ساعت.
مأخذ : انرژی‌پلاس.

نمودار۵ . بار سرمایش اتاق دودری زیرزمین خانهٔ علومی قبل و بعد از مرمت.
مأخذ : نگارندگان.

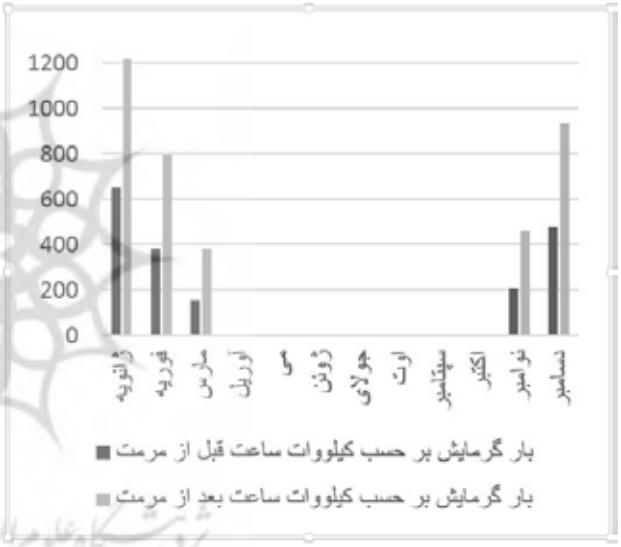


تصویر ۶. پلان زیرزمین خانهٔ علومی و فضای دودری آنالیز شده.
مأخذ : مرکز اسناد میراث فرهنگی یزد.

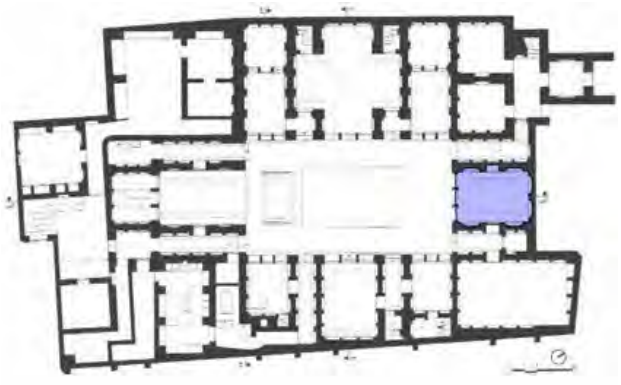
برای گرمایش به طور گسترده در قسمت‌های زمستان‌نشین خانه مورد استفاده قرار گرفته است. در این مرحله میزان بارگرمایش فضای زمستان نشین خانه تهرانی که در تصویر ۸ قابل تشخیص است قبل و پس از قرار دادن سازه چادری توسط نرم افزار محاسبه شده است. داده‌هایی که در این مرحله به نرم افزار ارایه شده است، هندسه فضا و جهت‌گیری آن، مصالح جداره‌ها و بازشوها، شرایط مرزی جداره‌ها، نرخ تهویه طبیعی و تهویه ناخواسته و همچین اطلاعات هوایی ساعت به ساعت منطقه است. خروجی نرم افزار بار گرمایش به صورت ماهانه است که در نمودار ۷ ارایه شده است (نمودار ۷)؛ (تصویر ۸ و ۹).

بررسی نتایج

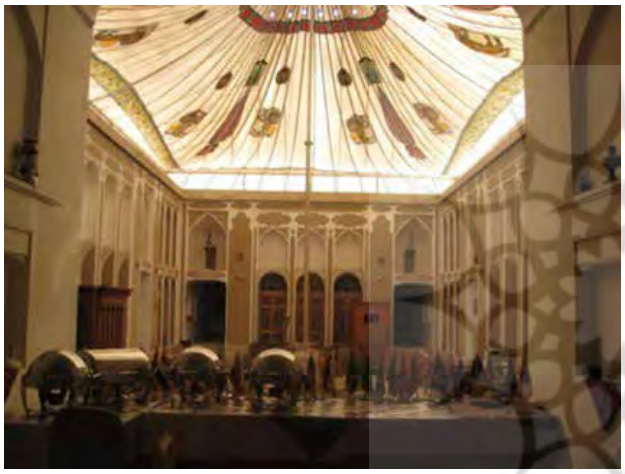
نتایج حاصل از آنالیز در حذف بادگیر نشان از افزایش بار سرمایش در اتاق سه دری خانه علومی از ۷۲۸۰ کیلووات ساعت به ۱۱۷۲۰ کیلووات ساعت دارد که معادل ۴۴۹۱ کیلووات ساعت که ۶۱/۶ درصد از کل مصرف انرژی فضا قبل از مرمت است. همچنین با تعویض غیر اصولی بازشوها در فضای دو دری زیرزمین و افزایش تهویهٔ ناخواسته، بار گرمایش از ۱۸۶۸ کیلووات ساعت به ۳۷۸۴ کیلووات ساعت رسیده است که به میزان ۱۹۱۵ کیلووات ساعت افزایش داشته است و معادل ۱۰۲/۵ درصد از کل بار گرمایش ساختمان است. بار سرمایش نیز از ۹۷۳ کیلووات ساعت به ۱۲۵۲ کیلووات ساعت رسیده است که به میزان ۲۷۸ کیلووات ساعت افزایش داشته است و معادل ۲۸/۶ درصد از کل بار سرمایش ساختمان است. به این ترتیب، بار حرارتی با



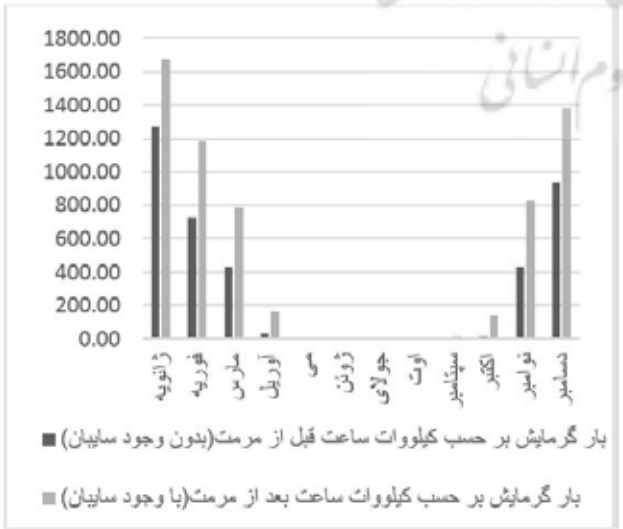
نمودار ۶ . بار گرمایش اتاق دودری زیرزمین خانهٔ علومی قبل و بعد از مرمت.
مأخذ : نگارندگان.



تصویر ۸ . پلان خانهٔ تهرانی و فضای سه‌دری آنالیز شده.
مأخذ : حاجی قاسمی، ۱۳۸۳.



تصویر ۹ . قراردادن سازهٔ چادری دائم و جلوگیری از جذب مستقیم خورشید.
.مأخذ : نگارندگان



نمودار ۷ . بار گرمایش فضای سه‌دری خانهٔ تهرانی، قبل و بعد از مرمت.
مأخذ : نگارندگان.

افزایش ۲۱۹۵ کیلووات ساعتی و ۷۷/۲ درصدی مواجه شده است. همچنین با زدن پوش بر روی حیاط خانهٔ تهرانی، بار گرمایش فضای سه‌دری زمستان‌نشین از ۳۸۴۲ کیلووات ساعت به ۶۱۵۹ کیلووات ساعت رسیده است که به میزان ۲۳۱۷ کیلووات ساعت افزایش داشته است و معادل ۶۰ درصد از کل بار حرارتی ساختمان است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سه اقدام و مداخله به منظور مرمت در خانه‌های علومی و تهرانی یزد نشان می‌دهد که حذف بادگیر در خانهٔ علومی موجب افزایش ۶۱/۶ درصدی بار سرمایش و تعویض غیر اصولی درها موجب افزایش ۱۰۲/۵ درصدی بار گرمایش و افزایش ۲۸/۶ درصدی بار سرمایش و قرار دادن سازهٔ چادری بر روی فضای حیاط موجب افزایش ۶۰ درصدی بار سرمایش در بناهای مورد مطالعه شده است. این در حالی است که خانه‌های سنتی یزد این قابلیت را دارا هستند که فضاها را در فصول مختلف سال و از روش‌های غیرفعال به شرایط آسایش نزدیک سازند. این اقدامات ناصحیح نه تنها موجب افزایش قابل توجه بار حرارتی و ایجاد اختلال در کارکرد خانه‌ها شده‌اند، بلکه مستلزم ورود تأسیسات و وسایل گرم کننده و سرد کننده به ابنیه شده تا با مصرف انرژی، فضاها را به شرایط آسایش برسانند. ورود این تجهیزات به بنا در مرتبه‌ای دیگر، موجب ایجاد آسیب‌های معماری، معنوی، منظری، کارکردی و سازه‌ای خواهند شد که نشان می‌دهد فعل مرمت اگر غیرعالمانه و به دور از ظرافت‌های هنری، فنی و کیفیت‌های ضروری آن انجام گیرد نه تنها موجب حفاظت و تطویل عمر بناها نخواهد شد بلکه آسیب‌هایی را نیز متوجه بناهای تاریخی خواهد کرد. برخی از این آسیب‌ها برای همیشه جبران‌ناپذیر خواهند بود زیرا بسیاری از پشتوانه‌ها و شرایطی که در گذشته برای ساخت این آثار ارزشمند فراهم بوده است امروز دیگر موجود و قابل دسترس نیست و به همین دلیل، این آثار تاریخی منحصر به فرد و تکرارناپذیر هستند. در نتیجه کیفیت مرمت انجام شده در این آثار از حساسیت بالایی برخوردار خواهد بود و ضرورت دارد که جهت جلوگیری از ایجاد آسیب‌های بیشتر توسط مرمت‌های بی‌کیفیت و جهت‌گیری درست به سمت انجام مرمت‌های علمی و اصولی، راهکارهایی مناسب اندیشیده شده و مورد اجرا قرار گیرند.

پی‌نوشت‌ها

۱. برای کسب اطلاعات بیشتر و مشاهده شیوهٔ شبیه‌سازی در انرژی‌پلاس رجوع کنید به:
EnergyPlus Engineering Reference, University of Illinois & University of California, 2013

۲. در مواردی نیز بادگیر نیاز به مرمت نداشته است ولی در تغییرکاربری خانه برای ایجاد فضایی لوکس، دریچهٔ بادگیر بسته شده و به جای آن از سیستم‌های سرمایشی استفاده شده است.

۳. Infiltration

۴. جنس مصالح بازشو و نوع ساختار آن در کیفیت درزبندی تأثیرگذار هستند.

۵. Velocity head factor

علایم

F_{Sch}: برنامه وارد شده توسط کاربر برای میزان تهویه ناخواسته
A_L: میزان درز موجود در پنجره‌ها (برحسب سانتی متر مربع)
Cs: ضریب تهویه ناخواسته ناشی از خاصیت دودکشی
D_T: اختلاف دمای داخل و بیرون
C_w: ضریب تهویه ناخواسته ناشی از سرعت باد
W_S: سرعت باد
V_{out}: سرعت هوای خروجی از دهانه بادگیر
H: ارتفاع بادگیر
Q: حجم هوای خروجی از بادگیر
A: مساحت دریچه خروجی بادگیر
w_{out}: ضریب رطوبت هوای خروجی
win: درصد رطوبت هوای ورودی به بادگیر
$\dot{m}_{water}$: ترتیب جرم مولی آب
$\dot{m}_{air}$: جرم مولی بخار آب موجود در هوا

فهرست منابع

• اولیاء، محمدرضا. ۱۳۸۹. میراث در اغماء. *مجموعه مقالات نخستین همایش ملی شناخت و معرفی مزیت‌ها و ظرفیت‌های احیا و بهره‌برداری از اماکن تاریخی*. تهران : نشر سمیرا.

• بتل مک کارتی (مشاور). ۱۳۸۵. *بادخان*. ت : محمد احمدی‌نژاد. اصفهان: نشر خاک

• بهادری نژاد، مهدی و یعقوبی. محمود. ۱۳۸۵. *تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمان‌های سنتی ایران*. تهران : مرکز نشر دانشگاهی.

• حاجی قاسمی، کامبیز. ۱۳۸۳. *گنجنامه خانه‌های یزد. مرکز اسناد و تحقیقات دانشکدهٔ معماری و شهرسازی*. تهران : روزنه.

• حناچی، پیروز و دیبا، داراب و محمودی نژاد، محمد جواد. ۱۳۸۶. حفاظت و توسعه در ایران. *هنرهای زیبا*، (۳۲) : ۶۰-۵۱ .

• دیکی، مارک و براون، جیزد. ۱۳۸۹. *خورشید، باد و نور، طراحی اقلیمی (استراتژی‌های طراحی در معماری)*. ت : سعید آقایی. تهران : پرهام نقش.

• کاملی، ساسان. ساکت یزدی، علی. امیدواری، سمیه. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر فرم هندسی چلیپا بر میزان بار سرمایش در خانه‌های سنتی یزد. *مسکن و محیط روستا*، (۱۵۳) : ۵۶-۴۷.

• کوگ نیلسن، هالگر. ۱۳۸۵. *تهویه طبیعی*. ت : محمد احمدی نژاد. اصفهان : نشر خاک.

• گروت، لیندا و وانگ، دیوید. ۱۳۹۰. *روش‌های تحقیق در معماری*. ت: علیرضا عینی‌فر. تهران : دانشگاه تهران.

• منصور رضایی، مجید و وثاق، حجت. ۱۳۸۹. تأثیر احیا و تغییر کاربری بنا بر روند معاصر سازی و احیا بافت. *مجموعه مقالات نخستین همایش ملی شناخت و معرفی مزیت‌ها و ظرفیت‌های احیا و بهره برداری از اماکن تاریخی*. تهران : نشر سمیرا.

• محمودی، مهناز. ۱۳۸۵. بادگیر. جذابیت سیما و منظر شهر یزد. *باغ نظر*، ۳ (۵) : ۹۹-۹۱.

• واتسون، دونالد و لبز، کنت. ۱۳۸۸. *طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان*. ت : وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی. تهران : موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

• Banzal, N. K. Mathur, Rajesh. Bhandari, M.S. (1994). A Study of Solar Chimney Assisted Wind Tower System for Natural Ventilation in Buildings. *Building and Enviroment*, (29): 495-500

• Castleton, H.F. Stovin, V. Beck, S.B.M. Davison, S.B.M. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit». *Energy and Buildings*, (42): 1582–1591.

• Dehghan, A.A., Kazemi Esfeh, M. & Dehghan Manshadi, M. (2013). Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: experimental and analytical evaluation. *Energy and Buildings*, (61): 366–37

• *EnergyPlusTM Engineering References*. (2013). University of Illinois & University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

• *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Washington DC: US Department of energy, Office of energy Efficiency and Renewable energy. Available from: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/

• Fiorito, F. (2012). Trombe walls for lightweight buildings in temperate and hot climates. Exploring the use of phase-change materials for performances improvement. *Energy Procedia*, (30): 1110–1119.

• Lee, K. Ho. & Strand, R. K. (2009). Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney.*Energy and Buildings*, (41): 615–621

• Lee, Kwang Ho. Strand. Richard K. 2008. The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings. Energy and Buildings (40): 486-494.

• *Legacy OpenStudio plug-in for Google SketchUp*. Washington DC: US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Available from: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio. cfm

• Grondzik, Walter T. & Kwok, A. G. (2014). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. New Jersey: John Wiley & Sons.

• Mateus, Nuno, M., Pinto. & A. da Graca, G. C. (2014). Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell. *Energy and Buildings*, (75): 511–522

• Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*. Pennsylvania: Rodale Press.

• Montazeri, H. (2011). Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers. *Building and Environment*, (46): 370-378

• Rempel, A. R., et al. (2013). Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models Un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon. *Building and Environment*, (60): 158-172.
• Tereci, A. et al. (2013). Energy benchmarking for residential buildings. *Energy and Buildings*, (60): 92–99.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی