
A Comparative Analysis of the Thermal Behavior of Exterior Walls in Traditional and Contemporary Mosques in Tabriz, Iran

Farzin Haghparast^{1*}, Farzaneh Gholizadeh²

1. Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

2. PhD student of Islamic Architecture, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

(Received 30 May 2017, Accepted 19 Oct 2017)

Walls of a building as the boundaries between the interior and exterior are in concurrent encounter with the nature and human welfare. Climate of Tabriz is cold and dry, and thus outer walls must more particularly withstand very cold and dry climate. Therefore, it is necessary to review outer walls of a building as boundaries between nature and human welfare. A mosque is a space which is related to transcendental dimensions of human being; it is expected to provide welfare of human being as effective as possible and it must develop self-sufficient behavior against pertaining climate features. In this regard, the outer walls of a building have a significant role in maintaining the conditions created inside and preventing inflow of external climatic conditions. The investigation is based on the fact that traditional mosques develop more desirable behaviors against thermal behaviors due to the thick walls. Accordingly, the question is that, how should the researcher demonstrate the magnitude of the most appropriate thermal behavior of walls of a traditional mosque compared to that of their modern counterparts? Thus, the Seqat-ol-Islam and Karim Khan mosques and the Shakelli and Amir-al-Momenin mosques were selected to represent the traditional and modern groups, respectively, so as to measure their temperature loss. The whole sample was selected from a same district of the city for indifferent or minimum climate differences of external environment. Although the temperature variations of external and internal walls are measured but almost similar conditions are more desirable for rational deduction. Accurate calculations were implemented for

field studies. Several points of external walls were measured to calculate temperature loss to contrast the obtained results through deduction. This paper is to define some figures for desirable quality of traditional buildings; greater temperature loss by about two times is an indication of quantitative measurement difference. Physical dimension of the aforementioned case of thermal study and the temperature loss is proven. Therefore the investigation is merely to measure architectural quality of the buildings as a definite qualitative aspect of thermo-physics. To put it simply, it is concluded that heat losses of all walls are calculated to demonstrate general thermal behavior of both traditional and contemporary mosques. Also, it is possible to demonstrate or confirm positive effects of the walls to maintain thermal comfort in a mosque. Behavior of bodies of such structures shows that cold and dry climate of Tabriz city compels maintenance of desirable comfort conditions within the mosques by preventing influx of cold air into them. Traditional architecture has satisfied the users' needs as a result of unconscious awareness of material behaviors and utilization of convenient materials and building walls two times thicker than those in other climatic conditions. The user is more comfortable in traditional mosques than the modern ones, a fact that also demonstrates more desirable thermal behavior of traditional mosques from numeric and quantitative perspectives.

Keywords: Thermal behavior, Wall, Mosque.

*Corresponding Author. E-mail: f.haghparast@tabriziau.ac.ir



بررسی تطبیقی رفتار حرارتی پوسته خارجی مساجد سنتی و معاصر در شهر تبریز

فرزین حق پرست^{۱*}، فرزانه قلیزاده^۲

۱. دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

۲. دانشجوی دکتری معماری اسلامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۳/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۷/۲۷)

چکیده

پوشش یک بنا در مقام مرز بین داخل و خارج، در تقابل هم‌زمان با طبیعت و آسایش انسانی است. در این میان اقلیم شهر تبریز از بُعد طبیعی و اقلیمی برخوردار پرتنش‌تری با جداره بنا دارد و نقش پوسته بنا را پررنگ‌تر می‌نماید. بنابراین مطالعه مرز تفکیکی طبیعت و انسان در این شهر، ضرورت این پژوهش را به اثبات می‌رساند. از بنایی چون مسجد انتظار می‌رود بتواند شرایط آسایش انسان را به نحو احسن تأمین کند و خود در مقابل شرایط اقلیمی رفتاری خودکفا داشته باشد. در این راستا جداره بیرونی بنا، نقش بسزایی در حفظ شرایط ایجادشده در داخل و ممانعت از نفوذ شرایط اقلیمی بیرون به داخل دارد. مطالعات پژوهش حاضر بر این اصل استوار است که مساجد سنتی به دلیل ضخامت بدنه‌ها رفتار مناسب‌تری در قبال پارامترهای حرارتی از خود نشان می‌دهد و به دنبال تعیین میزان و حد رفتار مذکور است. به همین منظور دو مسجد از دو گروه نمونه‌های سنتی و معاصر انتخاب شده و مورد سنجش قرار گرفته است. روش تحقیق این پژوهش در بخش مطالعات میدانی، محاسبات دقیق است. پس از انجام سنجش میدانی و اندازه‌گیری چند نقطه در جداره‌های بیرونی مساجد، محاسبات مربوط به میزان اتلاف حرارت انجام شده و نتایج آنها به منظور دستیابی به عدد اختلاف حرارتی، با هم قیاس شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد میزان اتلاف حرارتی جداره‌های پیرامونی مساجد نوساز، تا نزدیک دو برابر بیشتر از نمونه‌های سنتی است و این امر عملکرد حرارتی مطلوب دیوارهای مساجد سنتی را از منظر عددی و کمی نیز ثابت می‌کند.

واژگان کلیدی

رفتار حرارتی، جداره، مسجد.

* نویسنده مسئول مکاتبات: f.haghparsat@tabriziau.ac.ir

مقدمه

با شرایط آب‌وهوایی بیرون را در مساجد سنتی نیز مطالعه کرد. از طرف دیگر، نمونه‌های معاصر نیز در برخی جداره‌ها با لحاظ شرط دارا بودن همجواری انتخاب شد تا به طور کل بتوان تناسب نسبی کالبدی در نمونه‌ها را شاهد بود. البته این کار امکان سنجش رفتار همه جداره‌ها را سلب نمود. در انتخاب مساجد سعی در تنوع همجواری‌ها بوده است تا بتوان عدد نسبی و تقریبی تبادلات انرژی را برای همه جداره‌ها در مجموع نمونه‌ها به دست آورد. لیکن لازم به ذکر است در برخی جداره‌ها، تعداد اندازه‌گیری‌های داخلی بیشتر بوده است. دلیل این امر تفاوت‌های رفتاری داخلی است. در خارج جداره، شرایط اقلیمی در ارتفاعی مشخص ($= 2/5-3$ متر که اندازه‌گیری‌های پژوهش در این ارتفاع صورت گرفته) تقریباً یکسان است، ولی در داخل جداره و در همان ارتفاع، رفتارهای حرارتی متفاوت بروز می‌کند. این امر گاهاً به جهت وجود تجهیزات است و گاهی ناشی از نزدیکی به بازشوها و تأثیر آنها بر جداره اتفاق می‌افتد. لذا تعداد اندازه‌گیری‌های داخلی به دلیل کاهش تأثیر تنش‌های حرارتی داخلی بوده است. از طرف دیگر، از محدودیت‌های پژوهش باید به این امر اشاره کرد که در برخی موارد نیز اندازه‌گیری داخلی به دلیل عدم دسترسی به برخی فضاها تعدد کمتری داشته است. با این حال، در مجموع سنجش‌ها در همه نمونه‌ها، می‌توان نتایج را منطقی و قابل استناد در راستای هدف این پژوهش دانست.

پس از سنجش دمای داخلی و خارجی جداره‌ها، محاسبات مربوط انجام گرفته، اعداد به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در رابطه میزان اتلاف حرارتی جداره‌ها، وارد شده و با آنالیز رفتار جداره‌ها در هر بنا، قیاس آنها با یکدیگر صورت گرفته است. در نهایت با مقایسه رفتار پوسته‌ها در مساجد سنتی و معاصر، پژوهش به اتمام رسیده است.

مسجد فضایی است انسانی که احترام به خواست و نیاز او، نخستین علت ساخت آن به شمار می‌رود. معماری فضایی چون مسجد، که در خدمت برترین هدف زندگی انسان است، نیز باید برتر باشد. برای معماری برتر تعاریف متعددی می‌توان ارائه داد، اما از منظر اقلیمی شاید بتوان معماری همساز با اقلیم را برترین نوع معماری نامید. پرواضح است که در این نوع معماری، جداره‌ها نقش مهمی دارند و می‌توان پوسته‌های خارجی یک بنا را نخستین و اصلی‌ترین پارامتر کالبدی معماری سازگار با شرایط اقلیمی قلمداد کرد. لذا مطالعه رفتار حرارتی پوسته خارجی بنای مسجد به منظور ارزیابی چگونگی سازگاری بنا با شرایط اقلیمی، امری درخور توجه است. در این میان بدیهی است بناهای سنتی به دلیل برخورداری از جداره‌های ضخیم، رفتار سازگارتری داشته باشند و خود بدنه‌ها نقش قابل توجهی در ایجاد شرایط بهینه داخلی ایفا نمایند. در راستای انجام این پژوهش، مساجد ثقه‌الاسلام و کریم‌خان از بافت سنتی و مساجد شکیلی و امیرالمؤمنین از بافت معاصر انتخاب شد. در انتخاب نمونه‌ها سعی بر این بود تا مساجد از یک منطقه شهری واحد مورد سنجش قرار گیرد تا شرایط آب‌وهوایی در حوزه بیرونی آنها، تفاوت چندانی نداشته باشد. هر چند در این روند پژوهش، مبنای مطالعه بر اختلاف دمای دو طرف جداره استوار است، به دلیل قیاس بین نمونه‌ها، دارا بودن شرایط تقریباً مشابه داخلی و خارجی، از تعدد متغیرهای مستقل می‌کاهد و قیاس را منطقی‌تر می‌سازد. به عقیده برخی متخصصان، یکی از دلایل رفتار مناسب حرارتی در بناهای سنتی، همجواری آنها با دیگر اماکن است و در دل بافت بودن، یکی از علل اصلی سازگاری بنا با شرایط اقلیمی است. به همین منظور سعی بر آن شد تا نمونه‌های سنتی انتخاب شده، حداقل در برخی جداره‌ها، آزاد و مرتبط با هوای بیرون باشد تا بتوان ارتباط

محاسبات میزان اتلاف حرارت، نتایج نمونه‌های سنتی و معاصر با هم قیاس می‌شود و پژوهش حاضر به انجام می‌رسد (تصویر ۱).

۳. پیشینه تحقیق

۳-۱. مبانی نظری

کارایی گرمایی در یک بنا و رفتار حرارتی آن ناظر بر روند انتقال انرژی بین بنا و اطراف آن است. این روند از چهار عامل آب‌وهوا، ویژگی‌های طراحی، عملکرد بنا و ویژگی‌های مصالح آنها تأثیر می‌پذیرد (Nayak and Prajapati, 2006) (تصویر ۲).

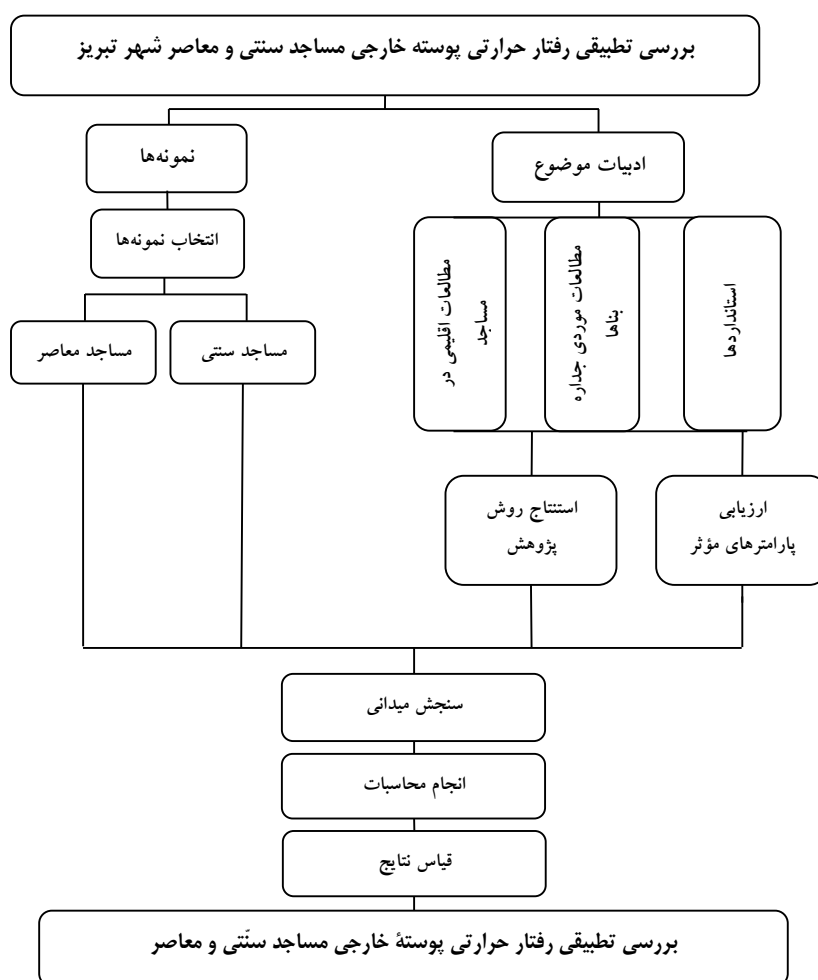
ویژگی‌های آب‌وهوایی جزو عوامل زمینه‌ای مطالعه به شمار می‌آید و در فراهم آمدن شرایط آسایش تأثیر بسزایی دارد و از همین رو در ارزیابی آسایش حرارتی مهم قلمداد

۱. پرسش اصلی پژوهش

اندازه رفتار حرارتی مناسب‌تر در جداره‌های مساجد سنتی در مقابل نمونه‌های نوساز، به چه میزان است؟

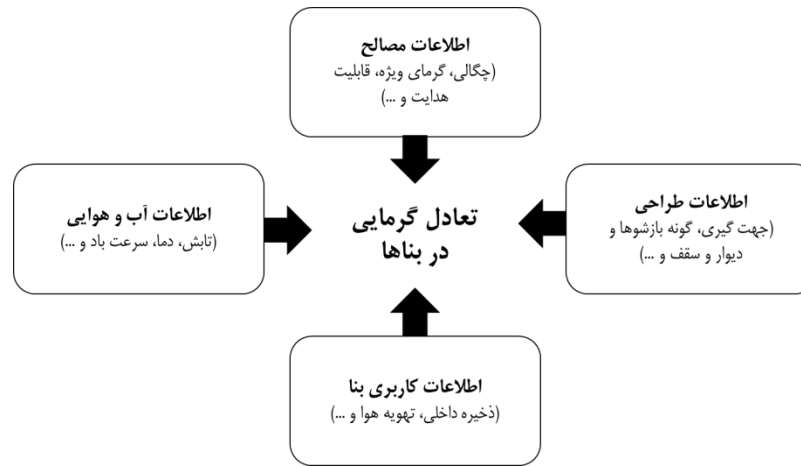
۲. روش پژوهش

در خصوص بررسی تطبیقی رفتار حرارتی پوسته خارجی مساجد سنتی و معاصر شهر تبریز، مطالعه پیشینه تحقیق در حوزه استانداردها، ارائه‌دهنده حد مقبول و پارامترهای مؤثر بر چگونگی مطالعه رفتار حرارتی جداره است. ارزیابی نمونه‌های مطالعه‌شده در حوزه پوسته بناها، علاوه بر ارائه متغیرهای سنجش، روش‌های مورد استفاده در این حوزه را مورد واکاوی قرار می‌دهد. در این میان پس از انتخاب نمونه‌های این پژوهش و با استناد به آنچه از مطالعه پیشینه تحقیق به دست آمده است، سنجش‌های میدانی انجام می‌شود و پس از



تصویر ۱: ارزیابی روند تحقیق

Fig. 1: Evaluation of research process



تصویر ۲: شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر رفتار حرارتی یک بنا (Nayak and Prajapati 2006)

Fig. 2: Simulation of factors affecting thermal behavior of a building (Nayak and Prajapati 2006)

رشته‌های علمی جایگاه مهمی دارد. در حوزه مرمت با مطالعه رفتار حرارتی مصالح، در مورد متریک مناسب برای بازسازی بنا تصمیم می‌گیرند. همچنین می‌توان آسیب‌های موجود همچون رطوبت در بنای تاریخی را به مدد ویژگی مصالح شناسایی کرد و از این شیوه تحت عنوان روش «بدون نیاز به تخریب بنا» یاد می‌شود (Moropoulou et al. 2013). در حوزه معماری، مطالعه جهت بنا، چینش فضاها و... را جزو روش‌های کیفی مطالعه حرارتی قلمداد می‌کنند و اندازه‌گیری‌های میدانی را روش کمی می‌خوانند (Dili, Naseer and Zacharia Varghese 2010b, 2218). در نتیجه کاربرد مصالح محلی و در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، یا به عبارت بهتر در نتیجه توجه به چهار عامل اشاره‌شده در بالا و رعایت فاکتورهای اقلیمی در آنها، نوعی طراحی غیرفعال^۱ و طبیعی حاصل می‌شود که هدف آن تأمین آسایش داخلی است و تأمین آسایش در آن بدون تأثیر شرایط آب‌وهوایی بیرون انجام می‌گیرد (Dili, Naseer and Zacharia Varghese 2011). به عبارت دیگر، طراحی غیرفعال، پاسخی به آب‌وهوای محلی به منظور افزایش آسایش و سلامت کاربران بنا و در عین حال کاهش مصرف انرژی است (Taleb 2014, 154). هم در حوزه سرمایه‌ش و هم در زمینه گرمایش غیرفعال، بهره‌گیری از راهکارهای خلاقانه محلی، روش مؤثری در تحقق آن به شمار می‌رود (Al-Obaidi, Gallo 1998; Ismail, and Abdul Rahman 2014, 1

می‌گردد. نوع کاربری بنا نیز، به واسطه میزان گرمای تولیدشده داخلی با توجه به نوع فعالیت و... مورد توجه قرار می‌گیرد. به علاوه در عملکردهای مختلف، نوع و میزان آسایش به صورت متفاوت تعریف می‌شود و شرایط جداگانه‌ای را به چالش می‌کشد (Cena and Dear 2001; Givoni 2011). پارامترهای طراحی و ویژگی‌های مصالح، علاوه بر تأثیر مستقیم بر تعادل گرمایی بنا، غیرمستقیم در دریافت و میزان دخالت شرایط آب‌وهوایی مؤثر است. نوع دیوار، سقف، ضخامت آنها و... جزو پارامترهای مؤثر در رفتار حرارتی بنا و تابعی از اقلیم منطقه و محل قرارگیری بناست (Faghhih and Hadavand and Yaghoubi 2008; Bahadori 2011). در حوزه ویژگی مصالح باید اذعان داشت کنترل محیط درون یکی از جوانب معماری بومی است و مصالح مناسب، یکی از دلایل آن است (Dili, Naseer and Zacharia Varghese 2010b, 926). ویژگی مصالح از طریق پارامترهایی چون جرم، گرمای مخصوص و قابلیت هدایت بر روند فعل و انفعالات حرارتی بنا تأثیر می‌گذارد (Asan and Gallo 1998; San 1998; Kočí, Zhang et al. 2013; Bažantová, and Černý 2014). ویژگی مصالح تعیین‌کننده مشخصات حرارتی بنا به شمار می‌آید و در این میان ویژگی‌های حرارتی در دیوارهای خارجی بنا، تأثیر مهمی در زمینه مصرف انرژی بنا دارد (Zhang et al. 2013, 265). ارزیابی ویژگی مصالح از طریق رفتار حرارتی در بسیاری از

مقابل گرمایش و سرمایش، به دلیل ضخامت بیشتر جداره‌ها، مطلوب ارزیابی می‌شود. در بحث سرمایش، دیوار ضخیم گرمای روز را جذب و هنگام شب آن را آزاد می‌کند و از این نظر دمای داخل را در طول روز چند درجه خنک‌تر از بیرون نگه می‌دارد (Gallo 1998, 112). در حوزه گرمایش نیز سه عامل در چگونگی عملکرد دیوار تأثیرگذار است: جمع انرژی خورشیدی، ذخیره و توزیع آن به فضاهای داخلی که حجیم بودن دیوار، تأثیر مستقیم در میزان ذخیره حرارتی آن دارد (Wilson 1979, 2). به عبارتی، استفاده از مصالح مناسب با ظرفیت و عایق حرارتی بالا از راهکارهایی است که می‌توان در مقابله با هوای سرد خارجی به کار بست (Singeri and Abdoli Naser 2012, 56).

۲-۳. مبانی محاسباتی

تمام سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوار، سقف، کف، بازشو و مانند آنها، که از یک طرف با فضای خارج و از طرف دیگر با فضای کنترل‌شده یا فضای کنترل‌نشده در ارتباط است، پوسته کالبدی بنا به شمار می‌آید (Building and Housing Research Center. 2010, 3) که از این منظر شرایط مطالعه حاضر را دربرمی‌گیرد. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در اتلاف انرژی ساختمان دخالت دارد، نوع همین پوشش‌هاست. انتقال حرارت در ساختمان، از این سطوح به طریق هدایت یا نفوذ حرارت از شکاف‌های کوچک ایجادشده در سطوح و از طریق جابجایی هوا به داخل و خارج ساختمان انجام می‌شود. جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی از راه پوشش‌های ساختمان، باید مهم‌ترین پارامتر در انتقال حرارت، یعنی ضریب انتقال حرارت (K) پوشش‌ها، مورد بررسی قرار گیرد. هر چه این ضریب کمتر باشد، مقدار اتلاف حرارت از ساختمان کاهش می‌یابد و نتایج مطلوب‌تری حاصل می‌شود (The author's group of Iranian Energy Efficiency Organization (SABA). 2004, 188). محاسبه میزان انتقال حرارت جداره‌ها، یکی از راهکارهایی است که جهت شناخت مصرف انرژی در ساختمان به منظور تأمین میزان اتلاف و مصرف انرژی در ساختمان صورت می‌گیرد (The author's group of Iranian

Taleb 2008؛ Hatamipour and Abedi 2011؛ Givoni 2011). فاکتورهای بسیاری در چگونگی این سرمایش و گرمایش مؤثر است. در همه آنها اساس کار بر این اصل استوار است که در صورتی که شرایط آب‌وهوایی به ویژه دما در حدی پایین‌تر از میزان متوسط پایین باد، سیستم ساخت بنا دما را تا حد آسایش افزایش می‌دهد. در مقابل، اگر چنانچه دما بالاتر از حد متوسط باشد، سیستم ساخت دما را کاهش می‌دهد و به حد آسایش می‌رساند. البته شرایط خارجی نیز در این برهم‌کنش تأثیر دارد (Dili, Naseer and Zacharia Varghese 2010a, 2218). چه در حوزه سرمایش و چه در حوزه گرمایش، بناهای سنّتی به دلیل توجه ناخودآگاه به فاکتورهای طبیعی، پاسخ مناسب‌تری به طراحی غیرفعال می‌دهد و پارامترهای طراحی‌شده بنا، بدون نیاز به تجهیزات، در فراهم کردن شرایط آسایش ایفای نقش می‌کند. هر چند تفاوت رفتار حرارتی این بناها بر همگان آشکار است، در مورد ویژگی‌های خاص هر یک از آنها که سبب این تفاوت می‌شود مطالعه‌ای صورت نگرفته است. در یک بنای تاریخی، بدون گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع (Heating, Ventilation and Air Conditioning) یا به اختصار (HVAC)، شرایط و محیط داخلی عموماً به سمت حفظ آسایش داخلی گرایش دارد (Cantin et al. 2010, 474) و به نظر می‌آید در غالب شرایط آب‌وهوایی، کنترل دمایی بناهای سنّتی بهتر باشد (Singeri and Abdoli Naser 2012؛ Dili, Naseer and Zacharia Varghese 2011). دلیل این امر تأثیر ضخامت دیوار و ویژگی‌های ترموفیزیکی آن بر این کنترل دمایی است (Zhang et al. 2011؛ Faghieh and Bahadori 2011). به عبارت دقیق‌تر، در گذشته معمولاً جرم حرارتی دیوارها، عنصری برای کاهش نوسانات دمایی و حفظ اتاق‌ها از سرما یا گرمای خارج به شمار می‌رفت (Gallo 1998, 111) و علت آن تأثیر ضخامت دیوار و ویژگی‌های ترموفیزیکی بر زمان تأخیر و فاکتورهای کاهش (time lag and decrement factors) قلمداد می‌شد. هر چه ضخامت دیوار و ظرفیت گرمایی افزایش یابد، زمان تأخیر افزایش می‌یابد (Asan and San 1998). از همین روست که عملکرد بناهای سنّتی در

جدول ۱: پارامترهای مؤثر بر میزان انتقال حرارت جداره‌ها (Building and Housing Research Center 2010)

Table 1: Parameters affecting the amount of thermal transfer of the walls (Building and Housing Research Center 2010)

واحد	علامت	معادل انگلیسی	مقادیر فیزیکی و تعاریف	ردیف
J	Q	Heat, quantity of heat	حرارت، مقدار حرارت	۱
W/(m.K)	λ	Thermal conductivity	ضریب هدایت حرارتی توان حرارتی، که اگر اختلاف دما (در حالت پایدار) بین دو طرف لایه برابر ۱ درجه باشد، از لایه‌ای به ضخامت ۱ متر می‌گذرد: $q = - \lambda \cdot \text{grad } T$	۲
m ² .K/W	R	Thermal resistance	مقاومت حرارتی سطحی قابلیت عایق حرارت بودن یک یا چند لایه از جدار یا کل جدار. مقدار اختلاف دمای لازم، بین دو طرف ۱ مترمربع از یک لایه یا جدار (در حالت پایدار) تا توان حرارتی برابر با واحد از آن عبور کند: $R = (T_i - T_e) / q$ که در آن مقدار d در مورد لایه‌ای با ضخامت ثابت است و یا رابطه خطی با دما دارد R: $R = d / \lambda$	۳
W/(m ² .K)	U	Thermal transmittance	ضریب انتقال حرارت سطحی نسبت توان حرارتی به اختلاف دما بین محیط‌های واقع در دو طرف جدار به سطح ۱ مترمربع، در حالت پایدار: $U = \Phi / ((T_i - T_e) \cdot A)$	۴
W/K	H	Coefficient of heat loss	ضریب انتقال حرارت ساختمان مقدار انتقال حرارت از ساختمان (یا بخشی از آن) در واحد زمان، اگر اختلاف دمای داخل و خارج آن برابر یک درجه باشد: $H = \Phi / \Delta T$	۵

۴. ارتباط‌سنجی پیشنهادی تحقیق با مسیر پژوهش


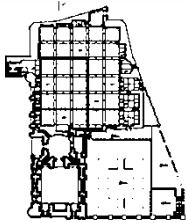


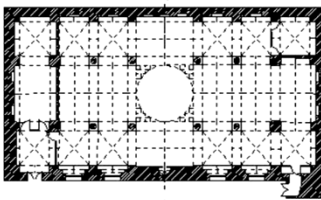


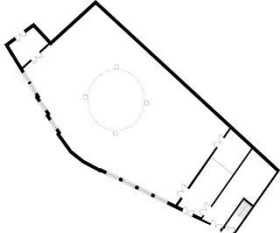


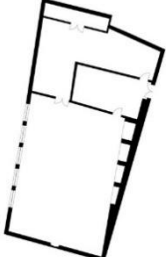

رفتار حرارتی بناهای مورد پژوهش، به دلیل یکسان‌بودن شرایط آب‌وهوایی و عملکرد بناها، به دو عامل ویژگی‌های طراحی و مصالح وابسته خواهد بود و به نظر می‌آید تفاوت عمده ناشی از جنس مصالح و ضخامت جداره‌ها باشد. از آنجاکه بیشتر وجوه درگیر با محیط پیرامون در یک بنا، به دیوارهای آن اختصاص دارد و به علاوه در فصل زمستان، بیشترین جذب انرژی تابشی خورشید از طریق دیوارها صورت می‌گیرد، نقش اساسی جداره‌های پیرامونی در میزان مصرف انرژی بنا، غیرقابل اغماض خواهد بود. از میان روش‌های کیفی و کمی مطالعه حرارتی، سنجش میدانی در مقام یکی از زیرشاخه‌های رویکرد کمی مطالعات حرارتی، نگاه دقیق‌تری به شرایط بحرانی آب‌وهوایی فراهم می‌آورد. در پژوهش حاضر نیز از همین رویکرد به منظور واکاوی

با اندازه‌گیری دمای سطوح داخلی ساختمان، که طرف دیگر آنها بیرون ساختمان است، و با داشتن دمای بیرون و مقدار ضریب انتقال حرارت استاندارد دیوارها، می‌توان انتقال حرارت را با رابطه $Q = K.A.\Delta T$ محاسبه کرد (SABA 2004, 204). در این رابطه، K ضریب هدایت سطحی است که عموماً با علامت اختصاری U نشان داده می‌شود. در دیوارهای چندلایه با مصالح چندگانه، باید میزان U محاسبه گردد. در این راستا، لازم است میزان مقاومت حرارتی هر جنس مشخص شود و با محاسبه کل مقاومت بدنه، ضریب انتقال حرارت به دست آید. به طور کلی می‌توان موارد مؤثر بر میزان انتقال حرارت بدنه‌ها را در قالب جدول ۱ مشاهده و ارزیابی نمود (Building and Housing Research Center. 2010, 97).

به دلیل ضخامت جداره‌ها و ویژگی‌های ترموفیزیکی، راغب به حفظ شرایط آسایش داخلی است و کنترل دمایی بهتری دارد. از آنجاکه در اقلیم شهر تبریز، نیاز به گرمایش امری اساسی‌تر است، مطالعه شرایط بحرانی در فصل زمستان به تحلیل چگونگی عملکرد حرارتی جداره‌ها کمک بهتری خواهد کرد. بنابراین می‌توان گفت: این پژوهش در ادامه مطالعات انجام‌یافته و با اشراف بر عملکرد حرارتی بهتر نمونه‌های سنتی، اندازه این عملکرد بهتر را در فصل زمستان مورد ارزیابی قرار خواهد داد و بر نتایج پژوهشگران دیگر اعتبار عددی خواهد بخشید.

نتایج بهره‌گرفته‌ایم. بنا بر مطالعات انجام‌یافته، روش طراحی به‌کاررفته در معماری بومی، طراحی غیرفعال است و بازدهی مصالح مناسب به منظور تأمین آسایش حرارتی در آنها امری مسلم است. لیکن اندازه این بازدهی و میزان تفاوت آن با ساختار مدرن، امری شایسته تحلیل است. پژوهش حاضر نیز با احترام به این اصل که معماری سنتی اتلاف حرارتی کمتری دارد، به محاسبه اندازه این تفاوت می‌پردازد. این امر مؤکداً در مطالعات متعدد بر روی رفتارهای حرارتی تأیید شده است که بنای تاریخی و سنتی بدون نیاز به تجهیزات خاص،

جدول ۲: مشخصات نمونه‌های مورد ارزیابی
Table 2: Characteristics of the evaluated cases

همسایگی‌ها	موقعیت شهری	پلان	تصویر	نام	دوره ساخت
آزاد در همه جداره‌ها	 خیابان دارایی، میدان صاحب الامر			مسجد قله اسلام	سنتی
آزاد در همه جداره‌ها	 خیابان امام، چهارراه شهید بهشتی			مسجد کریم خان	سنتی
جداره‌های شمالی و شرقی	 آخر خیابان دارایی			مسجد شکرکی	معاصر
جداره شرقی	 خیابان چایکار			امیرالمؤمنین	معاصر

۵. معرفی نمونه‌های مطالعه

۵-۱. مسجد ثقه الاسلام

این مسجد در جانب شمالی دهلیز بقعه صاحب‌الامر و مدرسه اکبریه واقع است. مرحوم میرزا علی آقا ثقه‌الاسلام در رساله «تاریخ امکنه شریفه و رجال برجسته ۱۳۳۲ شمسی» درباره مسجد مزبور می‌نویسد: معادل جای دو گنبد از طرف غربی مسجد سابقاً محل مسجد بوده که بعد جد مرحوم از جانب شرقی و شمالی به آن افزوده است. این مسجد در حال حاضر از جبهه جنوبی دارای حیاط است و به همین واسطه از هر چهار جبهه قابل دسترسی می‌باشد.

۵-۲. مسجد کریم‌خان

این مسجد در میدان شهید بهشتی قرار دارد و از مساجد دوره قاجار شهر تبریز است. پس از ساخت وسازه‌های اخیر و تغییرات انجام‌یافته در بافت میدان شهید بهشتی (منصور سابق)، این مسجد به عنوان تک‌بنای ضلع شمالی درون میدان خودنمایی می‌کند و از چهار جانب باز است. مسجد دارای چند ستون در شبستان است و فقط ضلع جنوبی و رو به قبله آن بازشوهای وسیعی دارد.

۵-۳. مسجد شکلی

این بنا در انتهای خیابان دارایی واقع است و صرفاً بدنه جنوبی آن که ساختی منحنی‌شکل دارد دارای بیشترین ارتباط با فضای آزاد است. در ضلع غربی نیز ورودی دیگری به داخل بنا وجود دارد و ضلع شرقی فضای پله‌ها و کفش‌کن مجموعه است. تبدلات حرارتی این فضا با بیرون مستقل از فضای داخلی مسجد ارزیابی شده و درون بنا در این جبهه در ارتباط کامل با هوای آزاد است. لذا دسترسی بنا به خارج از جداره‌های جنوبی و بخشی از دیوار غربی آن امکان‌پذیر است.

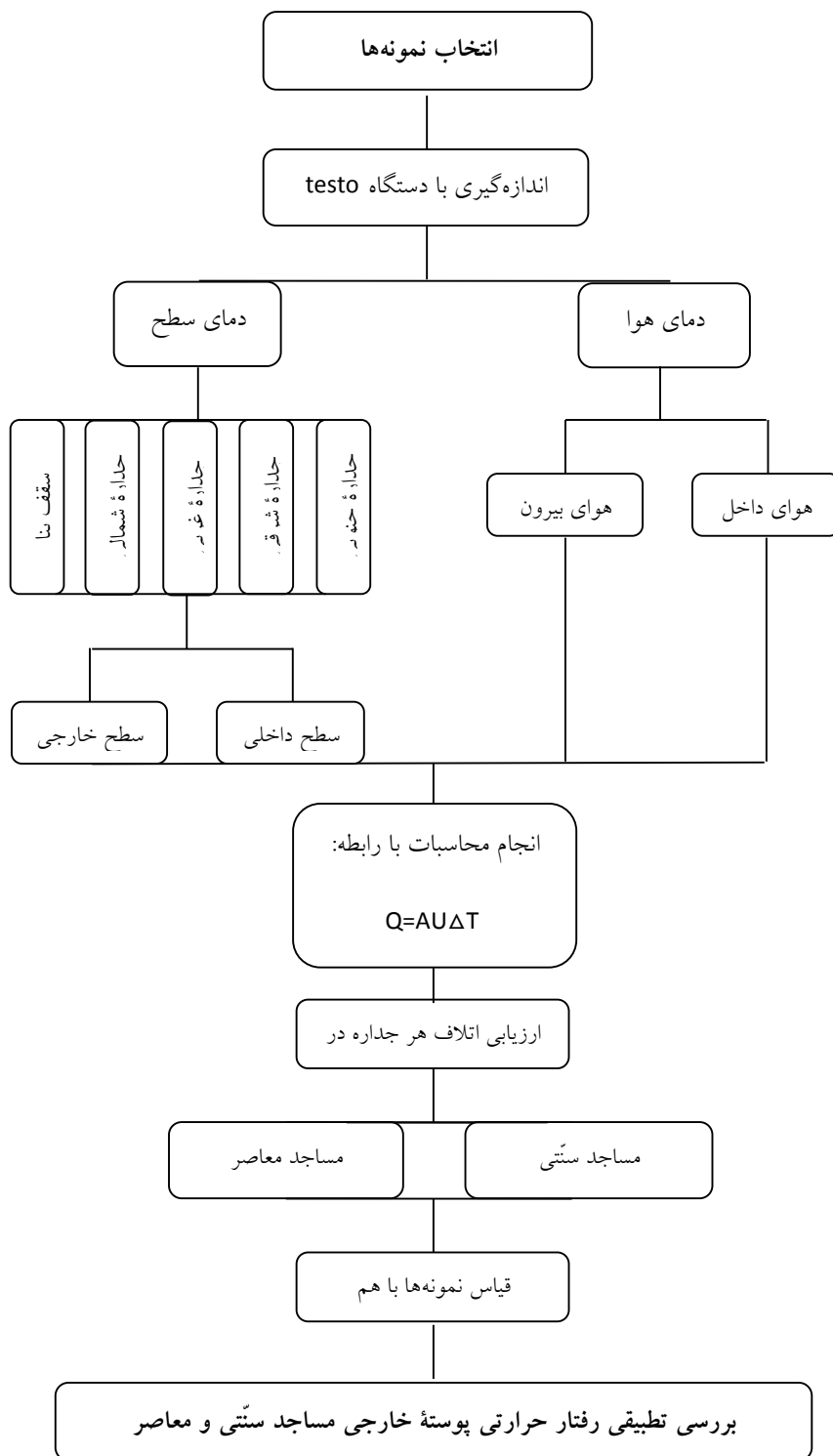
۵-۴. مسجد امیرالمؤمنین

این بنا در امتداد خیابان چایکنار و روبه‌روی پل قاری بنا شده و دو مناره رفیع در جبهه ورودی آن طراحی شده است. ضلع روبه‌قبله آن تا ارتفاع ۲/۵ متری در محاصره مغازه‌ها قرار دارد و ضلع غربی در مجاورت خیابان است. بازشوهای بلند و

باریکی در سراسر بدنه غربی ایجاد شده و ضلع شمالی، جبهه ورودی بناست. بنابراین همسایگی‌های این بنا در جبهه شرقی و جنوبی قرار می‌گیرند، ولی جداره جنوبی با توجه به ارتفاع کم همجواری‌های آن، قابل سنجش است. جبهه شمالی آن نیز صرفاً در بخش ورودی قابل دسترس است

۶. ارزیابی میدانی نمونه‌های مطالعه

در راستای شناخت ویژگی‌های اقلیمی مساجد سنتی و معاصر شهر تبریز، دو مسجد از هر دوره زمانی انتخاب شده است. در مطالعه آنها از ابزار سنجش میدانی استفاده شده که مطمئن‌ترین و قابل‌استنادترین روش در پژوهش‌های اقلیمی است. سنجش میدانی پژوهش حاضر با استفاده از دستگاه دماسنج سطح شرکت testo و در نقاط متعدد داخل و خارج مساجد انجام شده است. در هر نمونه پنج محدوده از فضای داخلی مسجد به عنوان دمای هوای داخلی اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به عنوان دمای متوسط داخل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در هر جداره نیز بر حسب مساحت جداره، از نقاط متعددی برای سنجش استفاده شده است. سنجش‌ها در همه نمونه‌ها در ارتفاع بین ۲/۵ تا ۳ متری انجام گرفته است تا تغییر ارتفاع تفاوتی در دمای بدنه ایجاد نکند. همه نمونه‌ها در فاصله اذان مغرب تا اتمام نماز جماعت ارزیابی شده است تا بیشترین میزان حرارتی داخل، ملاک عمل قرار گیرد. در حوزه سنجش‌های بیرونی، از آنجا که در اقلیم تبریز سعی بر آن است تا حداقل تماس بدنه با هوای آزاد برقرار باشد، در همه نمونه‌ها دسترسی به همه جداره‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود. لیکن در جداره‌های در دسترس، نقاط مشترکی در اندازه‌گیری‌های داخلی و خارجی مورد سنجش قرار گرفته است. با وجود این، اندازه‌گیری داخلی جداره‌ها به دلایلی که در بخش «مقدمه» اشاره شد، علاوه بر نقاط مشترک مذکور، در بخش‌های دیگری از دیوارها نیز انجام شده است. ناگفته پیداست که در اندازه‌گیری‌ها، وجود بازشوها یا تغییر جنس دیوارها در برخی نقاط مورد توجه بوده و حداکثر شرایط همسانی در رعایت شده است. در برخی از جداره‌ها نیز به دلیل فضاسازی داخلی، دسترسی از داخل به جداره محدود شده



تصویر ۳: مراحل محاسبات اتلاف حرارت جداره‌ها

Fig. 3: Process of calculating the thermal loss of the walls

فصل، سنجش‌های پیش‌رو به عنوان روز بحرانی در زمستان شهر تبریز برای ادامه پژوهش انتخاب شده است.

است. این موضوع در بخش «مقدمه» جزو محدودیت‌های پژوهش بیان گردید. مراحل سنجش میدانی را می‌توان در قالب تصویر ۳ مشاهده کرد. لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌های پژوهش حاضر در یکی از بحرانی‌ترین شرایط آب‌وهوایی فصل زمستان در شهر تبریز صورت گرفته است و محققان در طول فصل زمستان به دنبال رصد پایین‌ترین دمای ممکن برای شهر تبریز بوده‌اند. پس از پایان

۶-۱. سنجش میدانی نمونه‌ها ۶-۱-۱. اندازه‌گیری‌های «نمونه ۱» – مسجد ثقه‌الاسلام

جدول ۳: اندازه‌گیری دمای جداره‌های «نمونه ۱» – مسجد ثقه‌الاسلام

Table 3: Temperature easurements for “Case 1” walls – Seghatoleslam mosque

اندازه‌گیری‌های خارجی		اندازه‌گیری‌های داخلی	
دمای سطح	شماره نقاط	دمای سطح	شماره نقاط
-۱۳,۵	۱	۱۸,۵	۱
-۱۰,۵	۲	۱۹	۲
-۱۴,۵	۳	۱۵	۳
-۱۴	۴	۲۱	۴
-۱۲,۵	۵	۱۶	۵
-۱۰,۵	۶	۱۸	۶
-۱۱	۷	۱۵	۷
-۱۱	۸	۱۸,۵	۸
		۱۶	۹
		۱۶,۵	۱۰
		۱۵,۵	۱۱
		۱۸,۵	۱۲
میانگین دمای اندازه‌گیری شده			
هوای خارج		هوای داخل	
جداره‌ها		جداره‌ها	
سقف	غربی	سقف	غربی
-۱۲	-۱۱,۵	۱۶,۵	۱۷
-	-۱۲	۱۶,۲۵	۱۷,۵
	شمالی		شمالی
	-۱۴,۲۵		۱۷,۵
	جنوبی		جنوبی
	-۱۱		۲۱

۶-۱-۲. اندازه‌گیری‌های «نمونه ۲» – مسجد کریم‌خان

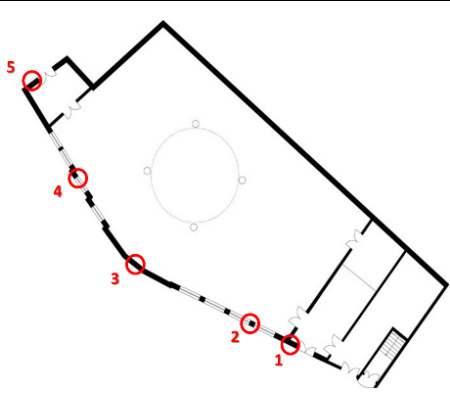
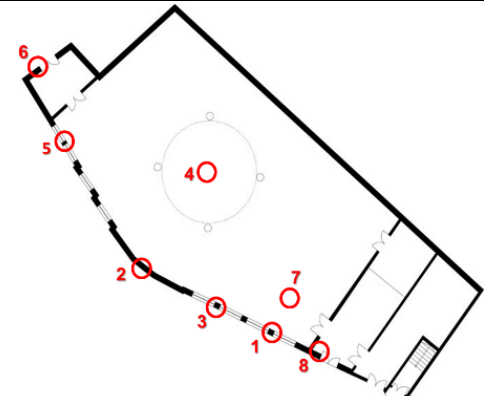
جدول ۴: اندازه‌گیری دمای جداره‌ای «نمونه ۲» – مسجد کریم‌خان

Table 4: Temperature measurements for “Case 2” walls – Karim Khan mosque

اندازه‌گیری‌های خارجی		اندازه‌گیری‌های داخلی									
دمای سطح	شماره نقاط	دمای سطح	شماره نقاط								
-۵,۵	۱	۱۷,۵	۱								
-۲,۵	۲	۱۶,۵	۲								
-۳	۳	۱۶	۳								
-۱۱,۵	۴	۱۵,۵	۴								
-۱۱	۵	۱۸	۵								
-۹,۵	۶	۱۸	۶								
-۱۰	۷	۱۷	۷								
-۱۰	۸	۱۷,۵	۸								
-۱۰	۹	۱۸	۹								
به جهت وجود تجهیزات ساختمانی دسترسی امکان‌پذیر نیست.	۱۰	۲۳	۱۰								
		۱۹,۵	۱۱								
		۱۷,۵	۱۲								
		۱۸	۱۳								
میانگین دمای اندازه‌گیری شده											
هوای خارج	جداره‌ها					هوای داخل	جداره‌ها				
	سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی		سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی
-۱۲	-	۱۰,۶۶	-	-۱۰	-۳,۶۶	۱۸,۶	۱۷,۶۶	۱۸	۲۰	۱۶,۶۶	۱۷

۳-۱-۶. اندازه‌گیری‌های «نمونه ۳» — مسجد شاکلی

جدول ۵: اندازه‌گیری دمای جداره‌های «نمونه ۳» — مسجد شاکلی
Table 5: Temperature measurement for “Case 3” walls— Shakilli mosque

اندازه‌گیری‌های خارجی						اندازه‌گیری‌های داخلی							
													
دمای سطح		شماره نقاط				دمای سطح		شماره نقاط					
-۱۳,۵		۱				۱۷,۵		۱					
-۱۱		۲				۱۷		۲					
-۱۳		۳				۱۷,۵		۳					
-۱۳,۵		۴				۱۵,۵		۴					
-۱۶,۵		۵				۱۸		۵					
						-۲,۵		۶					
						۱۹,۵		۷					
						۲۰		۸					
میانگین دمای اندازه‌گیری شده													
هوای خارج		جداره‌ها				هوای داخل		جداره‌ها					
-۱۲,۵		سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی	۲۰,۵		سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی
		-	-۱۶,۵	-	-	-۱۲,۷۵			۱۷,۵	-۲,۵	-	-	۱۷,۵

۶-۱-۴. اندازه‌گیری‌های «نمونه ۴» — مسجد امیرالمؤمنین

جدول ۶: اندازه‌گیری دمای جداره‌های «نمونه ۴» — مسجد امیرالمؤمنین
Table 6: Temperature measurement for "Case 4" walls— Amir al-Mu'minin mosque

اندازه‌گیری‌های خارجی					اندازه‌گیری‌های داخلی								
دمای سطح		شماره نقاط			دمای سطح		شماره نقاط						
-۱۰,۵		۱			۱۸		۱						
-۵		۲			۱۹		۲						
-۹		۳			۱۸,۵		۳						
-۹		۴			۱۸		۴						
-۹,۵		۵			۱۷,۵		۵						
-۱۶		۶			۲۱		۶						
-۱۲,۵		۷			۱۸,۵		۷						
					۱۸,۵		۸						
					۱۰		۹						
					۲۰		۱۰						
					۲۴		۱۱						
					۲۴		۱۲						
میانگین دمای اندازه‌گیری شده													
هوای خارج		جداره‌ها				هوای داخل		جداره‌ها					
-۱۳		سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی	۱۸		سقف	غربی	شرقی	شمالی	جنوبی
		-	-۹,۱۶	-۱۲,۵	-۷,۷۵	-۱۶			۱۹	۱۸,۳۷	-	۱۵	۱۸,۵

جنس مصالح در هر بدنه و ضخامت آنهاست. لذا طی
جداولی ضخامت جداره‌های هر نمونه به طور جداگانه

۶-۲. ارزیابی کالبدی جداره نمونه‌ها

لازمه محاسبه میزان اتلاف حرارت در هر جداره، آگاهی از

عرض بدنه در راستای مذکور در نظر گرفته شده است (جداول ۷ تا ۱۰). گفتنی است از آنجاکه نقشه فاز ۲ این نمونه‌ها موجود نیست، مرجع اندازه‌گیری‌ها، در نمونه‌های سنتی مصاحبه با اساتید معماری و مرمت و در نمونه‌های معاصر مصاحبه با افرادی از هیئت امنای مساجد بوده است که در زمان مرمت یا ساخت در مساجد مورد نظر حضور داشته‌اند.

محاسبه گردید و در نهایت میزان اتلاف حرارت با استفاده از رابطه $Q=AU\Delta T$ در هر یک از بدنه‌ها در هر نمونه مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به اینکه در تمامی نمونه‌ها و در همه‌ی جداره‌های آنها، بازشوها از جنس شیشه و به ضخامت حدود ۶ میلی‌متر است، از تکرار این موضوع در جداول پایین اجتناب شده است. لایه‌های دیوار به ترتیب از داخل به خارج جداره ثبت شده و ضخامت کلی جداره بر حسب میانگین

جدول ۷: ارزیابی مصالح و میزان مقاومت حرارتی جداره‌های خارجی «نمونه ۱» — مسجد نچه‌الاسلام

Table 7: Materials evaluation and thermal resistance of external walls for "Case 1" walls—Steghatoleslam mosque

مقاومت حرارتی	ضخامت کل دیوار	ضخامت (cm)	مصالح	
۰,۹۱۵	۶۳	۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰	آجر+مالات گچ و خاک+آجر+مالات+آجر	جداره جنوبی
۱,۲۷	۸۶	۲۰+۲+۲۰+۲+۲۰+۲+۲۰	آجر+مالات+آجر+مالات+آجر+مالات+آجر	جداره شمالی
۲,۱۴	۱۴۷,۵	۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰ ۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+	آجر+مالات+آجر+مالات+آجر+ مالات+آجر+مالات+آجر+ مالات+آجر+مالات+آجر	جداره شرقی
۰,۹۱۵	۶۳	۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰	آجر+مالات+آجر+مالات+آجر	جداره غربی
۰,۵۰	۳۳	۰,۵+۱+۱۰+۱,۵+۲۰	آجر+مالات+نیم آجر+دو غاب گچ+قیرگونی	سقف

جدول ۸: ارزیابی مصالح و میزان مقاومت حرارتی جداره‌های خارجی «نمونه ۲» — مسجد کریم خان

Table 8: Materials evaluation and thermal resistance of external walls for "Case 2" walls—Karim Khan mosque

مقاومت حرارتی	ضخامت کل دیوار	ضخامت (cm)	مصالح	
۱,۵۷	۱۱۰	+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۲ ۲+۲۰	سیمان+آجر+مالات+آجر+مالات+آجر+ مالات+آجر+مالات+آجر	جداره جنوبی
۱,۳	۸۸,۵	۲+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۲	سیمان+آجر+مالات+آجر+مالات+آجر+ مالات+آجر+گچ	جداره شمالی
۰,۹۸۵	۶۷	۲+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۲	سیمان+آجر+مالات+آجر+مالات+ آجر+گچ	جداره شرقی
۱,۳	۸۸,۵	۲+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۱,۵+۲۰+۲	سیمان+آجر+مالات+آجر+مالات+آجر+ مالات+آجر+گچ	جداره غربی
۰,۵۰	۳۳	۰,۵+۱+۱۰+۱,۵+۲۰	آجر+مالات+نیم آجر+دو غاب گچ+قیرگونی	سقف

جدول ۹: ارزیابی مصالح و میزان مقاومت حرارتی جداره‌های خارجی «نمونه ۳» — مسجد شکلی

Table 9: Materials evaluation and thermal resistance of external walls for "Case 3" walls—Shakilli mosque

مقاومت حرارتی	ضخامت کل دیوار	ضخامت (cm)	مصالح	
۰,۷۱۴	۵۲	۵+۵+۲۰+۲+۱۰+۵+۵	آجر ۵ سانتی + ملات بتن + آجر + ملات ماسه و سیمان + نیم آجر + + ملات ماسه و سیمان + آجر ۵ سانتی	جداره جنوبی
۰,۶۴۳	۴۷	۵+۲۰+۲+۱۰+۵+۵	آجر ۵ سانتی + ملات بتن + آجر + ملات ماسه و سیمان + نیم آجر + + اندود سیمانی	جداره شمالی
۰,۶۴۳	۴۷	۵+۲۰+۲+۱۰+۵+۵	مشابه جداره شمالی	جداره شرقی
۰,۷۱۴	۵۲	۵+۵+۲۰+۲+۱۰+۵+۵	مشابه جداره جنوبی	جداره غربی
	۶۸	۱۰+۳+۵+۱۲+۳۵+۳	گچ + ب لوک سیمانی + بتن مسلح + بتن سبک + ملات سیمان + آسفالت	معمولی سقف
	۸۷	۱۵+۵۰+۲۰+۲	گچ + بتن + هوای آزاد + بتن مسلح	گنبد

جدول ۱۰: ارزیابی مصالح و میزان مقاومت حرارتی جداره‌های خارجی «نمونه ۴» — مسجد امیرالمؤمنین

Table 10: Materials evaluation and thermal resistance of external walls for "case 4" walls—Amir al-Mu'minin mosque

مقاومت حرارتی	ضخامت کل دیوار	ضخامت (cm)	مصالح	
۰,۵۸۳	۴۲	۵+۱۰+۲+۲۰+۲+۳	آجر ۳ سانتی + ملات ماسه و سیمان + آجر + ملات ماسه و سیمان + نیم آجر + اندود سیمانی	جداره جنوبی
۰,۵۸۳	۴۲	۵+۱۰+۲+۲۰+۲+۳	مشابه جداره جنوبی	جداره شمالی
۰,۵۸۳	۴۲	۵+۱۰+۲+۲۰+۲+۳	مشابه جداره جنوبی	جداره شرقی
۰,۵۸۳	۴۲	۳+۲+۱۰+۲+۲۰+۲+۳	آجر ۳ سانتی + ملات ماسه و سیمان + آجر + ملات ماسه و سیمان + نیم آجر + ملات ماسه و سیمان + آجر ۳ سانتی	جداره غربی
	۶۸	۱۰+۳+۵+۱۲+۳۵+۳	گچ + بلوک سیمانی + بتن مسلح + بتن سبک + ملات سیمان + آسفالت	سقف

جدول ۱۱: محاسبه میزان اتلاف حرارت نمونه‌ها
Table 11: Thermal loss calculation of the cases

معاصر		سنتی		
امیرالمؤمنین	شکلی	کریم‌خان	ثقه الاسلام	
۵۸,۹۹	۴۲,۳۵	۱۳,۰۱	۳۴,۸۸	جداره جنوبی
۳۸,۹۰	-	۲۰,۲۶	۲۴,۷۶	جداره شمالی
-	-	-	۱۳,۵۷	جداره شرقی
۴۷,۰۷	۱۹,۶	۲۱,۷۸	۳۱,۰۶	جداره غربی
۴۸,۳۲	۳۰,۹۷	۱۸,۳۵	۲۶,۰۶	میانگین

$$U=1/R=1/1.57=0.63$$

$$\Delta T=T_2-T_1=17-(-3.66)=20.66$$

$$Q=AU\Delta T=1\times 0.63\times 20.66=13.01$$

۶-۴. محاسبه میزان اتلاف حرارتی نمونه‌ها

محاسبه میزان تلفات حرارتی جداره‌ها در همه نمونه‌ها به روش مذکور انجام شده و در جدول ۱۱ قابل جمع‌بندی است.

۶-۵. ارزیابی نتایج حاصل از محاسبه میزان اتلاف حرارتی نمونه‌ها

مقادیر انرژی گرمایی عبوری از جداره‌ها در نمونه‌های مورد ارزیابی این پژوهش به تفکیک جداره، نشان می‌دهد میزان تلفات در هر دو گروه از نمونه‌ها به ترتیب از جداره جنوبی به جداره غربی، جداره شمالی و جداره شرقی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، مقایسه تلفات حرارتی در مسجد ثقه الاسلام از گروه سنتی و مسجد امیرالمؤمنین از گروه معاصر (تصویرهای ۴ و ۵) نشان می‌دهد روند کاهشی در تلفات حرارتی به ترتیب اولویت مذکور، برقرار است. از طرفی، مقادیر به مراتب کمتری در جداره‌های نمونه‌های سنتی در قیاس با نمونه‌های معاصر محاسبه شده است که از رفتار مناسب مساجد سنتی در همه بدنه‌ها حکایت دارد.

۶-۳. نمونه‌ای از محاسبه اتلاف حرارتی جداره:

جداره جنوبی مسجد کریم‌خان

به منظور ارزیابی رفتار حرارتی یکی از بدنه‌ها در هر نمونه، لازم است تا مقاومت حرارتی کل بدنه با در نظر گرفتن لایه‌های موجود در آن محاسبه گردد. با ارزیابی مقاوت هر جنس و هر لایه و جمع زدن آنها، مقاوت جداره به دست می‌آید. با معکوس کردن حاصل جمع، میزان هدایت حرارتی بدنه حاصل می‌شود. نظر به اینکه محاسبات در مدول ۱ مترمربعی انجام می‌گیرد، با داشتن اختلاف دمای دو سمت سطح جداره، میزان اتلاف حرارتی قابل محاسبه خواهد بود.

جداره جنوبی مسجد کریم‌خان، یعنی نمونه ۲ پژوهش حاضر، را به عنوان مثالی از روند محاسبات اتلاف حرارتی، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. در این نمونه و در جداره مد نظر، ترتیب لایه‌ها و ضخامت آنها به شرح زیر است:

$$\text{— جداره جنوبی: سیمان} + \text{آجر} + \text{مالات} + \text{آجر} + \text{مالات} + \text{آجر}$$

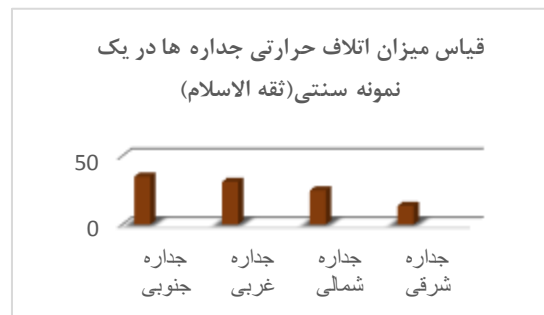
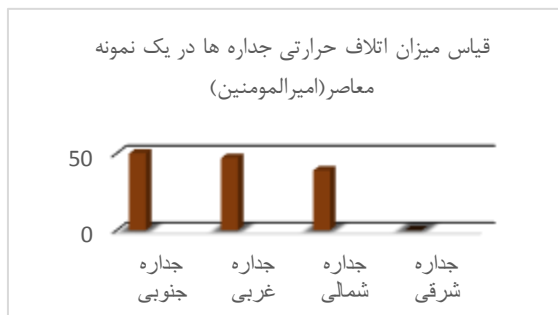
$$\text{— ضخامت لایه: } 2 + 20 + 1/5 + 20 + 1/5 + 20 + 1/5$$

$$110 = 2 + 20 + 1/5 + 20 +$$

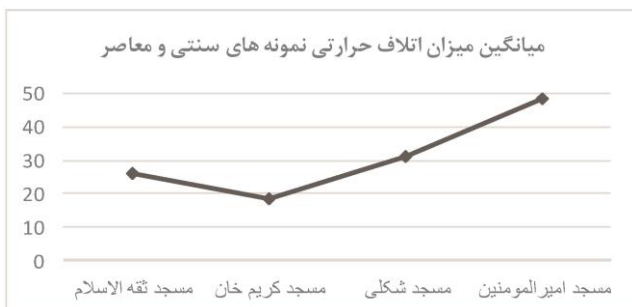
$$R=d/\lambda$$

$$R=R_1+R_2+R_3+\dots+R_n$$

$$R=0.02/0.72+5\times 0.2/0.7+4\times 0.015/0.4=1.57$$

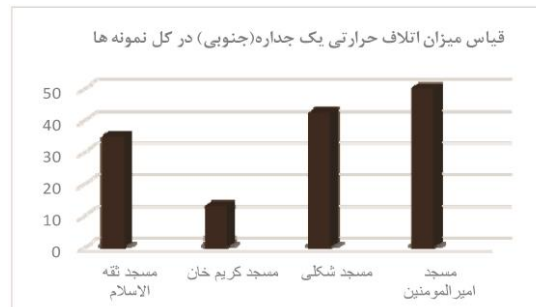


تصویرهای ۴ و ۵: اتلاف حرارتی جداره‌ها در یک نمونه سنتی و یک نمونه معاصر
Fig. 4-5: Thermal loss of the walls in a traditional and a contemporary case



تصویر ۷: قیاس اتلاف حرارتی نمونه های سنتی و معاصر

Fig. 7: Thermal loss comparison in traditional and contemporary cases



تصویر ۶: اتلاف حرارتی یک جداره در همه نمونه ها

Fig. 6: Thermal loss of a wall in the cases

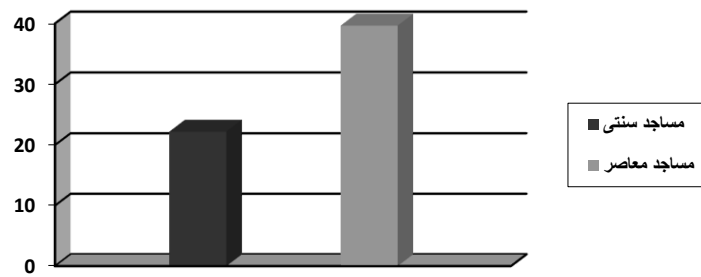
بسیار کمتر در نمونه های سنتی است. این امر حاکی از آن است که چه در مقادیر کلی و چه در مقایسه (تنها یک بدنه در همه نمونه ها)، مساجد سنتی عملکرد بهتری دارد (تصویر ۷).

ارزیابی رفتار یک جداره در همه نمونه ها و مقایسه مقادیر آنها (تصویر ۶)، که به سبب محدودیت پژوهش صرفاً در جهت روبه قبله (= جداره جنوبی) میسر بود، نیز گویای اتلاف حرارتی

نتیجه گیری

مجموع این شرایط، که به زبانی علمی تر ضخامت دیوار و ویژگی های ترموفیزیکی مصالح خوانده می شود، سبب بازدهی مطلوب بناهای سنتی در قبال عوامل آب و هوایی شده است. معمار و طراح بناهای جدیدتر در اغلب موارد با علم به تکنولوژی سازه ای، تا حد امکان جداره ها را با مصالح ضخامت کمتر طراحی می کنند و در راستای تأمین آسایش حرارتی داخلی، به تجهیزات گرمایشی و سرمایشی متکی است. این بحث چه در حوزه مطالعات انجام یافته و چه در حوزه عملی و اجرایی، امری مشهود و بدیهی است. لیکن میزان تفاوت رفتاری دو دسته از بناهای سنتی و معاصر مقوله ای درخور توجه است. پژوهش حاضر با اندازه گیری میدانی دمای سطح جداره های چند نمونه از مساجد سنتی و نوساز، نشان می دهد اختلاف حرارتی تبدلات انرژی در نمونه ها گاه تا حدود ۱/۸ برابر نیز با یکدیگر تفاوت دارد. از آنجاکه هدف مقاله حاضر تعیین عدد و رقم برای کیفیتی مطلوب در بناهای سنتی تعریف شده است، با اختلاف حدود دو برابری به این هدف کمیت بخشیده می شود (تصویر ۸). بُعد فیزیکی امر مذکور در زمینه مطالعه اتلاف حرارتی امری اثبات شده است. لذا این پژوهش صرفاً با نگاهی معمارانه به

مساجد اماکن مورد استفاده روزانه و از فضاهای پرکاربرد در آیین اسلام به شمار می آید که هدف از طراحی و ساخت آنها، خلق فضایی برای ارتباط بهتر انسان با معبود خویش است. علاوه بر روح بنای مسجد، از کالبد آن نیز انتظار می رود که بتواند به ایجاد بهتر این ارتباط یاری رساند. به نظر می رسد یکی از شرایط مادی و فیزیکی این مدعا، تأمین شرایط مطلوب آسایش از بُعد حرارتی باشد. لذا عملکرد خودکفا و اقلیمی کالبد بنای مسجد اهمیت دارد و ارزیابی رفتار حرارتی آن امری درخور توجه است، زیرا جداره ها و بدنه نقش بسزایی در این فعل و انفعال حرارتی دارد. در این میان نتایج مطالعات دیگر پژوهشگران که برخی از آنها تا حد امکان در بخش پیشینه تحقیق، واکاوی شد، بیانگر آن است که عملکرد مطلوب بناهای سنتی امری اثبات شده است. بناهای سنتی به سبب شرایط ساختاری زمان خود، با دیوارهای ضخیم تری طراحی می شد و این امر به کاهش تبادل حرارتی جداره می انجامید و بنا را به ساختاری خودکفا در مقابل شرایط اقلیمی تبدیل می کرد. از طرف دیگر، طراح بنای سنتی با آگاهی از فقدان تجهیزات گرمایشی و سرمایشی، در ساخت بنا از مصالحی محلی با کاراکتر مناسب برای هر اقلیم بهره گرفته است.



تصویر ۸: میانگین اتلاف حرارتی نمونه‌های سنتی و معاصر
Fig. 8: Thermal loss average in traditional and contemporary cases

سنتی با فهم ناخودآگاه رفتار مصالح و بهره‌گیری از مصالح مناسب اقلیم و ایجاد بدنه‌های ضخیم توانسته‌اند با تفاوت نزدیک به دو برابر، پاسخ‌گوی نیاز مخاطب خود باشند و آسایش او را در قیاس با دوره معاصر با کیفیت مطلوب‌تری تأمین کنند.

ارزیابی علل این رفتار، مطالعه در فصل تابستان و شرایط حرارتی متفاوت و ارزیابی نمونه‌ها با ابزار نرم‌افزاری و شبیه‌سازی نمونه‌ها و مقایسه نتایج حاصل از آن با سنجش‌های میدانی، از مطالعات پیش‌روست که در جهت استنتاج نتایج عملی‌تر کارآمد خواهد بود.

دنبال اندازه‌دهی به یک کیفیت معماری و متقابلاً کیفیت‌دهی معمارانه به امری مسلم در حوزه ترموفیزیک بوده است.

در بیانی ساده‌تر، می‌توان گفت: این پژوهش پس از محاسبه میزان تلفات همه جداره‌ها و میانگین‌گیری از مقادیر به‌دست‌آمده، کلیت رفتار حرارتی مساجد سنتی و معاصر را قابل ارزیابی می‌داند و تأثیر مثبت جداره‌ها در حفظ آسایش حرارتی داخل مساجد را اثبات می‌کند. رفتار بدنه‌ها در این اماکن نشان می‌دهد در اقلیم سرد و خشک شهر تبریز که حفظ شرایط مطلوب ایجادشده داخلی و ممانعت از تأثیر نامطلوب شرایط خارجی امری ضروری است، معماران

پی‌نوشت

۱. Passive methods: روش‌هایی از طراحی حرارتی را گویند که بدون نیاز به تجهیزات جانبی، در جهت حفظ آسایش داخلی و کاهش مصرف انرژی مقابل شرایط اقلیمی عمل می‌کند.

فهرست منابع

- The author's group of Iranian Energy Efficiency Organization (SABA). 2004. *Energy management in the building*. Tehtan: Ministry of power- Energy Efficiency Organization of Iran (SABA) [in Persian].
- Al-Obaidi, K. M., M. Ismail, and A. M. Abdul Rahman. 2014. Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research* 3(3): 283–97.
- Asan, H., and Y. S. San. 1998. Effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor. *Energy Build* 28: 159–66.
- Building and Housing Research Center. 2010. *Chapter 19 of the National Building Regulations*. Third edition, Tehran: Building and Housing Research Center [in Persian].
- Cantin, R., J. Burgholzer, G. Guarracino, B. Moujalled, S. Tamelikecht, and B. G. Royet. 2010. Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France. *Building and Environment* 45 (2): 473–84.
- Cena, K., and R. D. Dear. 2001. Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. *Journal of Thermal Biology*. 26: 409–14.
- Dili, A. S., M. A. Naseer, and T. Zacharia Varghese. 2010a. Passive control methods of Kerala traditional architecture for a comfortable indoor environment: Comparative investigation during various periods of rainy season. *Building and Environment* 45 (10): 2218–30.
- Dili, A. S., M. A. Naseer, and T. Zacharia Varghese. 2010b. Passive environment control system of Kerala vernacular residential

- architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and Buildings* 42 (6): 917–27.
- Dili, A. S., M. A. Naseer, and T. Zacharia Varghese. 2011. Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer. *Energy and Buildings* 43 (2–3): 653–64.
- Faghih, A. K., and M. N. Bahadori. 2011. Thermal performance evaluation of domed roofs. *Energy and Buildings* 43 (6): 1254–12.
- Gallo, C. 1998. The utilization of microclimate elements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2: 89–114.
- Givoni, B. 2011. Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy* 85 (8): 1692–1726.
- Hadavand, M., and M. Yaghoubi. 2008. Thermal behavior of curved roof buildings exposed to solar radiation and wind flow for various orientations. *Applied Energy* 85 (8): 663–79.
- Hatamipour, M. S., and A. Abedi. 2008. Passive cooling systems in buildings: Some useful experiences from ancient architecture for natural cooling in a hot and humid region. *Energy Conversion and Management* 49 (8): 2317–23.
- Kočí, V., Z. Bažantová, and R. Černý. 2014. Computational analysis of thermal performance of a passive family house built of hollow clay bricks. *Energy and Buildings* 76: 211–18.
- Moropoulou, A., K. C. Labropoulos, E. T. Delegou, M. Karoglou, and A. Bakolas. 2013. Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. *Construction and Building Materials* 48: 1222–39.
- Nayak, J. K., and J. A. Prajapati. 2006. *Handbook on Energy Conscious Buildings*. R & D Project No. 3/4(03)/99-SEC between Indian Institute of Technology. Bombay and Solar Energy Centre. Ministry of Non-Conventional Energy Sources.
- Singeri, M. and S. Abdoli Naser. 2012. A comparative study of external envelop of residential units in traditional and modern textures of Tabriz with a sustainable approach. *Journal of studies on Iranian-Islamic city* 7(2): 53–62 [in Persian].
- Taleb, H. M. 2014. Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U. A. E. buildings. *Frontiers of Architectural Research* 3 (2): 154–65.
- Wilson, B. Y. A. 1979. Thermal storage wall design manual. *New Mexico solar energy association*.
- Zhang, Y., Q. Chen, Y. Zhang, and X. Wang. 2013. Exploring buildings' secrets: The ideal thermophysical properties of a building's wall for energy conservation. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 65: 265–73.