



Journal of Greater Khorasan

Vol. 16, No. 60, 2025

Received 15 May 2024 | Revised 06 Aug 2024 | Accepted 09 Oct 2025 | Published 16 Dec 2025

ISSN (Online): 2717-1671

ISSN (Print): 2251-6131

Research article

Investigating the Effect of the Area and Proportions of Open Spaces in Traditional Mosques of Greater Khorasan on Thermal Comfort (To Provide an Optimal Model for Contemporary Mosques)

Seyedeh Mahsa Mousavi ^(a), Mahbubeh Zamani ^(b), Mehdi Hamzehnejad ^(c), Faramarz Fadaei ^(d)

a) M.A. Graduate of Islamic Architecture, Imam Reza International University, Mashhad, Iran (m.mousavi1370@yahoo.com)

b) Assistant Professor of Architecture, Faculty Member of the Department of Architecture, Khorasan Institute of Higher Education, Mashhad, Iran (Mahbubeh.Zamani@lhorasan.ac.ir)

c) Associate Professor of Architecture, Faculty Member of the Department of Architecture, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (hamzenejad@iust.ac.ir)

d) Instructor, Faculty Member of the Department of Architecture, Khorasan Institute of Higher Education, Mashhad, Iran (mailto:Fadaei.faramarz@khorasan.ac.ir)

Keywords

Open space pattern, traditional mosques, Greater Khorasan, thermal comfort, ENVI-met 4.

Citation

Musavi, S M., Zamani, M., Hamzenezhad, M., & Fadae, F. (2025). The Impact of Area and Proportions of Outdoor Spaces in Traditional Mosques of Greater Khorasan on Thermal Comfort (Towards an Optimal Model for Contemporary Mosques). *Journal of Greater Khorasan*, 16(3), 55-104.



Use your device to scan and read articles online

Abstract

Thermal comfort in outdoor spaces is a crucial criterion for evaluating the quality of environments with outdoor activities, and it has consistently been a focus of architectural attention throughout history. Achieving thermal comfort necessitates careful consideration of climate, a principle clearly evident in traditional Iranian buildings. Among these, traditional mosques hold particular significance due to their religious importance and the continuous use of their open spaces; their architects provided optimal climatic responses to ensure thermal comfort. The aim of this study was to investigate the optimal height-to-width (H/W) ratios and courtyard area in the open spaces of traditional mosques in Greater Khorasan and, based on the findings, to propose an optimal design model for contemporary mosques in this region. The study area encompasses Greater Khorasan, irrespective of current political boundaries, and includes four distinct climatic zones, with the cities of Quchan, Mashhad, Sabzevar, and Tabas selected as case studies. The research specifically examined the impact of H/W ratios and courtyard area on thermal comfort during the noon prayer in the summer season. Following a qualitative review of the literature and theoretical foundations, outdoor thermal comfort in the enclosed courtyard spaces was numerically analyzed through simulation using ENVI-met 4 software, and the results were processed and evaluated in Leonardo based on the Predicted Mean Vote (PMV) index. The findings indicate that the optimal courtyard proportion is 40% of the total site area across all four climatic zones. The optimal proportions were determined as follows: for Quchan, $H'/W = 1$, $H = 8$, $H' = 10$, and $H/W = 0.8$; and for Mashhad, Sabzevar, and Tabas, $H = H' = 14$, $H/W = 1.4$, and $H'/W' = 1$.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jgk.2026.456529.1201>

URL: https://jgk.imamreza.ac.ir/article_244950.html



©Authors retain the copyright and full publishing rights.

* Corresponding Authors

Introduction

Afghanistan's higher education system faces significant and persistent challenges in entrepreneurship and the cultivation of entrepreneurs. Graduates from Afghan universities not only lack the capacity to create job opportunities or secure employment but are also largely disconnected from the labor market. This national crisis has led to severe consequences, including uncontrolled youth migration, recruitment of young people by extremist and terrorist groups, addiction, the spread of war and violence, increased social harms, and the loss of national capital. Furthermore, despite these damages, universities and the higher education system—which should act as catalysts for progress and development by training specialists and entrepreneurs—have failed to fulfill this role effectively. Compounding the issue is the lack of rigorous research on this problem; despite extensive efforts, no scientific studies in this area have been identified. Thus, there is a pressing need to investigate the causes and conditions behind the absence of entrepreneurship in Afghanistan's higher education system and to conduct scientific research in this field. This study seeks to address the following questions: Why does Afghanistan's higher education system lack the capacity and conditions necessary to cultivate entrepreneurs and develop entrepreneurship? What barriers hinder entrepreneurship within this system? What strategies are essential to transform the higher education system into an entrepreneurial one? Finally, what have been the consequences of the absence of entrepreneurship in Afghanistan's higher education system?

Materials and Methods

This research was conducted within an interpretive paradigm using a qualitative approach, employing grounded theory and in-depth interviews. The target population included Afghan elites, such as faculty members, entrepreneurs, and economic

experts. Participants were selected through purposive sampling based on theoretical studies and their potential to provide rich insights. Efforts were made to include participants from diverse backgrounds, professional statuses, expertise, and entrepreneurial experiences. Interviews continued until theoretical saturation was achieved, resulting in 15 interviews. With participants' consent, interviews were recorded, transcribed, and analyzed through open, axial, and selective coding to extract key statements, concepts, and themes.

Discussion and Findings

All observations and lived experiences indicate that Afghanistan's higher education system is non-entrepreneurial, with barriers rooted in causal conditions (e.g., lack of vision and resources, absence of an entrepreneurial organizational culture), contextual conditions (e.g., impractical/ineffective higher education, lack of internationalization, and insufficient supportive laws and normative mandates), and intervening factors (e.g., inadequate government support, war, and instability). To transform this system into an entrepreneurial one, strategies such as university-market collaboration, redefining the nature and goals of higher education, and global support for the system must be implemented. Major consequences of the absence of entrepreneurship include rising poverty and unemployment, uncontrolled migration, the spread of war and violence, addiction, and increased social deviance. The central phenomenon identified in the paradigm model was "lack of dynamism and marginalization".

Conclusion

In the 21st century, the mission of universities is to cultivate committed, innovative, and entrepreneurial human resources. Universities must foster entrepreneurial thinking and develop entrepreneurial skills among graduates—

individuals who can leverage their knowledge and expertise to initiate individual or collective ventures in their fields. Entrepreneurial universities, as academic, research, and professional institutions, prioritize entrepreneurial concepts, requirements, and characteristics in all their activities. Industrialized nations recognize entrepreneurs' role in economic development and thus promote entrepreneurial culture through supportive policies to enhance entrepreneurial traits and sustain entrepreneurial spirit. Therefore, developing entrepreneurship through training entrepreneurial graduates is feasible, and identifying and nurturing students' entrepreneurial talents is a key objective for higher education institutions striving to become entrepreneurial. In conclusion, this study finds that Afghanistan's higher education system faces multifaceted barriers to entrepreneurship, stemming from social, cultural, economic, political, and legal conditions. It requires redefinition, a shift from marginalization to centrality, and comprehensive global support.

Acknowledgments

We extend our gratitude to all colleagues and participants who contributed to this research.



پژوهشنامه خراسان بزرگ

دوره ۱۶، شماره ۶۰، پاییز ۱۴۰۴

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۷۱

ISC | MSRT | ICI

شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۶۱۳۱

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر مساحت و تناسبات فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ در ایجاد آسایش حرارتی (جهت ارائه الگوی بهینه مساجد معاصر)

سیده مهسا موسوی^(الف)، محبوبه زمانی^{(ب)*}، مهدی حمزه نژاد^(پ)، فرامرز فدائی^(ت)

(الف) دانش آموخته کارشناس ارشد معماری اسلامی، دانشگاه بین‌المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران (m.mousavi1370@yahoo.com)

(ب) استادیار معماری، عضو هیئت علمی گروه معماری موسسه آموزش عالی خراسان، مشهد ایران (Mahbubeh.Zamani@lhorasan.ac.ir)

(پ) دانشیار معماری، عضو هیئت علمی گروه معماری دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران (hamzenejad@iust.ac.ir)

(ت) ری، عضو هیئت علمی گروه معماری موسسه آموزش عالی خراسان، مشهد ایران (mailtoFadae.faramarz@khorasan.ac.ir)

چکیده

آسایش حرارتی در فضای باز، معیاری مهم برای ارزیابی کیفیت محیط‌های دارای فعالیت در فضای باز است و همواره مورد توجه معماران بوده است. توجه به اقلیم، شرط لازم برای دستیابی به این آسایش است؛ امری که در بناهای سنتی ایران به‌وضوح مشاهده می‌شود. در این میان، مساجد سنتی به سبب اهمیت مذهبی و استفاده مداوم از فضای باز خود، اهمیت بیشتری داشته‌اند و معماران آن‌ها بهترین پاسخ اقلیمی را برای تحقق آسایش حرارتی ارائه داده‌اند. هدف پژوهش حاضر، بررسی تناسبات ارتفاع به عرض و مساحت بهینه فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ و سپس ارائه الگوی بهینه برای مساجد معاصر این منطقه بوده است. محدوده پژوهش، خراسان بزرگ (فارغ از مرزبندی‌های سیاسی امروز) است و چهار پهنه اقلیمی مختلف شامل شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و طبس به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شده‌اند. در این پژوهش، تأثیر تناسبات ارتفاع به عرض و مساحت فضای باز بر آسایش حرارتی، به‌طور خاص در وقت نماز ظهر فصل تابستان بررسی شده است. پس از مطالعه کیفی ادبیات و مبانی نظری، آسایش حرارتی در فضای باز محصور، به‌صورت عددی با شبیه‌سازی در نرم‌افزار ENVI-met 4 و تحلیل نتایج در Leonardo بر مبنای شاخص PMV ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد که درصد بهینه صحن در هر چهار پهنه اقلیمی ۴۰ درصد است. همچنین تناسبات بهینه عبارت‌اند از: در قوچان، $H/W = 1$ ، $H = 8$ ، $H'/W = 10$ و $H/W = 0.8$ ؛ و در شهرهای مشهد، سبزوار و طبس، $H = H' = 14$ ، $H/W = 1.4$ و $H'/W = 1$.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

شماره صفحات: ۱۰۴-۵۵

واژگان کلیدی:

الگوی فضای باز، مساجد سنتی، خراسان بزرگ، آسایش حرارتی، ENVI-met 4.

استناد به مقاله:

موسوی، س م؛ زمانی، م؛ حمزه‌نژاد، م؛ و فدائی، ف. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر مساحت و تناسبات فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ در ایجاد آسایش حرارتی (جهت ارائه الگوی بهینه مساجد معاصر). پژوهشنامه خراسان بزرگ، ۱۶(۲)، ۱۰۴-۵۵.



DOI: <https://doi.org/10.22034/jgk.2026.456529.1201>



URL: https://jgk.imamreza.ac.ir/article_244950.html

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید.



©Authors retain the copyright and full publishing rights.

مقدمه

مطالعات متعددی در رابطه با مصرف انرژی و موانع ایجاد شده توسط کمبود انرژی و افزایش تقاضا در سال‌های اخیر صورت گرفته است (Santamouris, & Vasilakopoulou, 2021; Al Horr et al, 2023). گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی مرتبط با آن به مسئله‌ای جدی در سال‌های اخیر تبدیل گشته است (Zinzi, & Carnielo, 2017; Behzad, & Guilandoust, 2024). امروزه ساخت‌وساز ۳۴ درصد انرژی جهان را می‌طلبد (Soflaei, Shokouhian, & Zhu, 2017)، غلظت آلاینده‌ها را در فضاهای باز تشدید می‌کند و بر سلامت عمومی و فعالیت‌های انسانی در فضاهای باز تأثیر منفی می‌گذارد (Amasyali, & El-Gohary, 2018) و سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی دارند (López-cabeza et al, 2022). با این حال، بزرگ‌ترین پتانسیل را جهت کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای با حداقل هزینه را نیز دارند (Soflaei, Shokouhian, & Zhu, 2017). یکی از مولفه‌های طراحی ساختمان که تأثیر زیادی در آسایش حرارتی ساکنین ایجاد می‌کند، فضای باز (حیاط) می‌باشد (Anderson, & Bell, 2009). حیاط به عنوان استراتژی‌های طراحی غیرفعال در نظر گرفته می‌شود (Song et al, 2015) و می‌تواند تقاضای انرژی را کاهش دهد (Taleghani, Tenpierik, van den Dobbelsteen, Sailor, 2014) که به ویژگی‌هایی هم‌چون شکل، اندازه، تناسب و جهت حیاط بستگی دارد (Yaşa, & Ok, 2014). فضای باز حیاط اغلب به عنوان اصلاح‌کننده‌های ریزاقلیم در نظر گرفته می‌شوند که می‌تواند آسایش حرارتی فضاهای بیرونی و داخلی را بهبود بخشد (Song et al, 2015). هم‌چنین محققان بر تأثیر نسبت‌های ارتفاع حیاط بر متغیرهای آب‌وهوایی جهت دستیابی به عملکرد سالانه مناسب تأکید کرده‌اند (Muhaisen, & Gadi, 2005). نسبت ارتفاع به عرض حیاط از جمله عوامل کالبدی مؤثر در طراحی حیاط مرکزی نیز می‌باشد (Muhaisen, & Gadi, 2006)، که بر تهویه طبیعی و آسایش حرارتی مؤثر می‌باشد (Dekay, & Brown, 2001). محققان ثابت

کرده‌اند، که شرایط سایه‌اندازی پوشش داخلی حیاط به طور مؤثری بر ابعاد و نسبت‌های حیاط، عرض جغرافیایی و ویژگی‌های آب‌وهوایی موجود بستگی دارد (Muhaisen, & Gadi, 2006). یکی از راه‌کارهای سایه‌اندازی، تناسب ارتفاع به عرض مناسب با اقلیم و مساحت بهینه‌ی حیاط می‌باشد، به دلیل اهمیت این مولفه‌ی طراحی جهت کسب آسایش حرارتی، در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

معماری سنتی ایران در طول تاریخ همواره با اقلیم هماهنگ بوده است. این همسازی با اقلیم، از خانه‌های مسکونی تا بناهای عمومی چون مدرسه، کاروانسرا و مسجد مشهود است. در این میان، مساجد به دلیل عملکرد مذهبی خود اهمیت ویژه‌ای داشته و از مهم‌ترین ابنیه مسلمانان و از نخستین جلوه‌گاه‌های جماعت یا به تعبیر دقیق‌تر، امت به شمار می‌روند (Salmani, Rahimi, & Khakzad, 2014: 34). مسجد همواره جایگاه ویژه‌ای داشته و در میان اندام‌های دیگر نمایان‌تر و چشم‌گیرتر بوده است (Pirnia, 2008: 4). هم‌چنین تداوم حضور مساجد در شهرها، از ظهور اولین شهرهای شناخته شده تا امروز، موجب می‌شود یک شهر اسلامی را بتوان بدون حضور مسجد و دیگر بناهای مذهبی تجسم نمود (Mahdavinezhad, 2015: 11). به همین دلیل معماران آن زمان سعی می‌کردند، بهترین پاسخ را به اقلیم دهند، تا آسایش کاربران را حفظ نمایند. در خطه خراسان بزرگ مساجد زیادی در طول تاریخ ساخته شده است (Kiyani, 2006: 18-19)، در معماری مساجد سنتی، فضای باز از اهمیت خاصی برخوردار بوده است (Aminzadeh Goharizi, 1997: 32-34)، و مراسم عبادی در آن برگزار می‌شده است. فضای باز مسجد، نه تنها عنصر پایه در ساختار هندسی و فضایی بنای مسجد است، بلکه عاملی وحدت‌بخش است (Heydari, 2017: 92). علاوه بر این، با طراحی سازگار با اقلیم، عاملی مؤثر در آسایش حرارتی بوده است. از این‌رو پژوهش مساجد سنتی خراسان بزرگ می‌تواند بهترین الگوهای اقلیمی را نمایان سازد. از آن‌جا که در زمان معاصر نیز مسجد به عنوان محوری‌ترین، کانونی‌ترین

و ارزنده‌ترین عنصر کالبد متبلور کننده‌ی مدنیت جامعه‌ی اسلامی است (Mahdavinezhad, Mashayekhi, & Bahrami, 2015: 4)، و در گستره‌ی شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، باید مانند گذشته از اقلیم تبعیت داشته باشند. با توجه به این موضوع که، مساجد سنتی خراسان بهترین پاسخ را به اقلیم داده‌اند، می‌توان از آن‌ها الگویی مناسب برای مساجد معاصر منطبق بر نیازهای روز جامعه استخراج نمود.

در پژوهش حاضر، خراسان بزرگ بدون در نظر گرفتن مرزبندی‌های معاصر مد نظر است و چهار اقلیم مختلف آن برای مطالعه انتخاب شده‌اند. پرسش‌های تحقیق بدین شرح است: محدوده‌ی آسایش حرارتی فضای باز مساجد خراسان بر مبنای شاخص PMV به چه میزان بوده است؟ تأثیر تناسبات ارتفاع به عرض و مساحت حیاط مساجد در خطه‌ی خراسان بر ایجاد آسایش حرارتی چگونه است؟ و چه الگوهایی از مساحت و تناسبات فضای باز در مساجد سنتی خراسان بزرگ می‌تواند به بهینه‌سازی آسایش حرارتی در مساجد معاصر کمک کند؟ برای پاسخ به این پرسش‌ها، در گام نخست از روش کیفی برای بررسی مبانی نظری و ادبیات موجود استفاده شد و در گام بعد، روش کمی و شبیه‌سازی با نرم‌افزار 4 ENVI-met به کار گرفته شد. در نهایت، الگوی بهینه‌ی تناسبات و مساحت حیاط برای مساجد معاصر ارائه گردید.

پیشینه تحقیق

با توجه به گستره وسیع علمی و اهمیت به‌روز بودن مطالعات، بازه‌ی بررسی پیشینه به پژوهش‌های پس از سال ۲۰۱۶ محدود شد و به مطالعات پیش از آن صرفاً اشاره‌ای کوتاه شده است. همچنین، تنها مقالات منتشرشده در نشریات Q1، Q2 و Q3 انتخاب گردیدند و مقالات همایشی و گزارش‌ها از مرور پیشینه حذف شدند تا مطالعات مورد بررسی از اصالت علمی بالایی برخوردار باشند. از آن‌جا که مطالعه‌ای به‌صورت اختصاصی به بررسی تأثیر فضای باز مساجد بر آسایش حرارتی نپرداخته بود، مطالعات به دو دسته «مقالات مرتبط با مساجد» و «مقالات مرتبط با فضای باز» تقسیم‌بندی شدند. اگرچه مطالعات قدیمی‌تر نتایج ارزشمندی ارائه کرده‌اند، تنها به اشاره‌ی کوتاه

به آن‌ها بسنده شد و مطالعات به‌روتر در قالب جدول ۱ به‌طور کامل تحلیل گردیدند.

در مطالعات پیشین، مؤلفه‌های مختلفی در رابطه با فضای باز بررسی شده است. این مطالعات نشان داده‌اند که جهت و هندسه‌ی حیاط بر سرمایش غیرفعال ساختمان‌های کوچک در آب‌وهوای گرم بیابانی در شهر جدید اسوان مصر مؤثر است. (Hassan Abdelhafez, 2012)، نسبت بهینه‌ی حیاط شکلی است که حداقل تابش را در تابستان و حداکثر تابش را در زمستان امکان پذیر کند (Yaşa, & Ok, 2014). بررسی عملکرد انرژی حیاط در چهار شهر مناطق آب‌وهوایی سرد، معتدل، گرم‌ومرطوب و گرم‌وخشک نشان داد که حیاط در آب‌وهوای گرم‌وخشک و گرم‌ومرطوب در مقایسه با آب‌وهوای معتدل و سرد از انرژی کارآمدتری برخوردار است (Aldawoud, 2008). تأثیر حیاط بر کارایی انرژی از ماه می تا اکتبر در خانه‌های هلند ثابت شده و مناسب‌ترین جهت‌گیری را شمال‌جنوب و شرق‌غرب مطرح نمودند (Taleghani et al, 2014). هم‌چنین حیاط‌ها در مقایسه با آتریوم در ساختمان‌های کم ارتفاع انرژی کارآمدتری دارند (Aldawoud, & Clark, 2008). حیاط کوچک می‌تواند تهویه هوا را افزایش داده و گرما را در شب آزاد کند (Kubota, & Toe, 2015)، و مکان‌یابی و جهت‌گیری مناسب و افزایش ارتفاع دیوارها و پوشش گیاهی فراوان حیاط می‌تواند آسایش حرارتی را بهبود بخشد (Ghaffarianhoseini, Berardi, 2015). فرم حیاط می‌تواند نور روز قابل استفاده بیشتری نسبت به فرم معمولی در زمستان و تابستان فراهم کند (Al-masri, & Abu-hijleh, 2012)، و حیاط‌های داخلی می‌توانند ساعات روشنایی را از ۹ درصد به ۲۰ درصد بهبود بخشند و نسبت پنجره به دیوار نقش مهمی در تأثیرگذاری بر بار انرژی ایفا می‌کند، اما بر ساعات روشنایی روز داخل خانه تأثیر نمی‌گذارد (Vaisman, & Horvat, 2015).

سایه‌اندازی کارآمد حیاط تأثیرات عظیمی بر شرایط انرژی کلاس‌های درس در مندوزا، آرژانتین دارد (Cantón, Ganem, Gustavo, & Jorge, 2014). روش‌های سایه‌اندازی مناسب و مصالح دیوارهای حیاط می‌تواند تأثیر

می‌گذارد (Manioğlu, & Oral, 2015)، و عمق اشکال حیاط در تناسبات به کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی کمک می‌کند و تأثیر مهمی بر سایه‌اندازی دارد (Muhaisen, & Mohamed, 2006). نتایج مطالعات پیشین ارزشمند بوده، و اما در ادامه مطالعات به‌روزر آرائه گردیده است.

منفی تابش خورشید را کاهش دهند (Sadafi, Salleh, Haw, & Jaafar, 2011). سهم باد در آسایش حرارتی حیاط بسیار کمتر از سایه است و جهت حیاط تأثیر تعیین کننده‌ای بر میزان سایه دارد (Berkovic, Yezioro, & Bitan, 2012). هندسه فرم حیاط به طور قابل توجهی بر سایه‌اندازی روی ساختمان و در نتیجه کاهش تابش دریافتی و بارهای سرمایشی و گرمایشی در اقلیم گرم‌وخشک تأثیر

جدول ۱- پیشینه تحقیق

مطالعات در رابطه با مساجد			
عنوان	نویسندگان/سال	مولفه و روش	نتایج
قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌های مدل Predicted Mean Vote در یک مسجد با تهویه مطبوع در زمان‌های نماز روزانه در مالزی ^۱	Hussin, A., Salleh, E., Chan, H. Y., & Mat, S. (2016).	- مطالعه میدانی در یک مسجد با تهویه مطبوع در مالزی انجام شد. - رابطه بین پیش‌بینی‌شده Predicted Mean Vote (PMV) و داده‌های آب و هوایی واقعی اندازه‌گیری شده و احساسات راحتی کاربران مورد بررسی قرار گرفت. - PMV با استفاده از معادلات فنگر محاسبه شد. - Actual Mean Vote (AMV) از طریق نظرسنجی از ۳۳۰ عبادت‌کننده به‌طور تصادفی انتخاب شده جمع‌آوری شد. - مطالعه بین نوامبر ۲۰۱۲ و آوریل ۲۰۱۳ در طول پنج زمان نماز روزانه انجام شد.	- پاسخ‌های حرارتی از عبادت‌کنندگان در طول پنج دوره نماز روزانه عمدتاً در ناحیه خنثی ثبت شد، که نشان‌دهنده آن است که شرایط حرارتی داخلی از نظر حرارتی قابل قبول بوده است. - مدل PMV دمای که عبادت‌کنندگان آن را راحت احساس می‌کردند (30.4°C) را کمتر از دمای محاسبه‌شده توسط مدل AMV (25.9°C) برآورد کرد. - تفاوت ۴.۶ درجه کلونین بین PMV و AMV نشان می‌دهد که نگهداری دماها در سطوح مورد نیاز PMV می‌تواند پیامدهای جدی انرژی برای سازمان داشته باشد.
تأثیر اشکال ساختمانی بر عملکرد حرارتی و شرایط راحتی حرارتی در ساختمان‌های مذهبی در اقلیم‌های گرم: مطالعه موردی در شهر شارجه ^۲	Mushtaha, E., & Helmy, O. (2017)	- بررسی تحلیلی اشکال مختلف ساختمانی - آزمون تأثیر این اشکال بر عملکرد حرارتی و راحتی حرارتی داخلی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی - استفاده از پارامترهای طراحی غیرفعال مانند دستگاه‌های سایه‌بان، عایق حرارتی، و تهویه طبیعی در شش مورد مختلف، شامل یک مورد پایه - تحلیل نتایج برای تعیین تأثیر اشکال ساختمانی و تکنیک‌های طراحی غیرفعال بر آسایش حرارتی	- شکل ساختمان و تکنیک‌های طراحی غیرفعال (مانند دستگاه‌های سایه‌بان، عایق حرارتی، و تهویه طبیعی) تأثیر قابل توجهی بر راحتی حرارتی در داخل مساجد داشتند. - تنها استفاده از طراحی غیرفعال نمی‌توانست راحتی حرارتی را به طور کامل تأمین کند، اما می‌توانست مصرف انرژی سالانه را به میزان ۱۰٪ کاهش دهد. - ترکیب یک سیستم تهویه مطبوع هیبریدی با طراحی غیرفعال می‌تواند مصرف انرژی سالانه را به میزان ۶۷.۵٪ کاهش دهد، و امکان طراحی یک سیستم HVAC کوچک‌تر را فراهم می‌آورد.

1 The reliability of Predicted Mean Vote model predictions in an air-conditioned mosque during daily prayer times in Malaysia

2 Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: a case study in Sharjah city

ارزیابی عملکرد حرارتی و انرژی در ساختمان‌های مساجد در وضعیت کنونی (مطالعه شبیه‌سازی) در اقلیم کوهستانی شهر ابها^۱	Shohan, A. A., & Gadi, M. B. (2020)	- روش‌شناسی کلیدی که در این مطالعه استفاده شد، بررسی مدل‌سازی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار تحلیل حرارتی (TAS) بود. - پس از ارزیابی چندین برنامه شبیه‌سازی، TAS را بر اساس معیارهایی مانند ویژگی‌های نرم‌افزار، دقت، سهولت استفاده، پایگاه‌های داده، هزینه و مزایای بالقوه آینده انتخاب کردند. - سه ساختمان مسجد در شهر ابها را به عنوان مطالعات موردی انتخاب شد که بر اساس عواملی مانند اندازه، طراحی، سن و دسترسی به داده‌ها تفکیک شده بود.	- ساختمان‌های مساجد به دلیل افزایش دما در تابستان و افت دما در زمستان، به نارضایتی حرارتی دچار شدند که عمدتاً به کیفیت پایین پوسته‌های ساختمان‌ها مربوط می‌شود. - اقلیم، موقعیت و جهت‌گیری ساختمان‌های مساجد منجر به نتایج متفاوتی از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی‌ها شده است، بنابراین طراحی‌ها و راه‌حل‌ها باید متناسب با شرایط خاص هر ساختمان تنظیم شوند.
بررسی تجربی آسایش حرارتی و غلظت CO2 در مساجد: مطالعه موردی در اقلیم معتدل گرم بالوا، ترکیه^۲	Yüksel, A., Arıcı, M., Krajčák, M., & Karabay, H. (2020).	- بررسی استراتژی‌های مختلف برای بهبود آسایش حرارتی و کیفیت هوا در مسجد، از جمله باز کردن پنجره‌ها، روشن کردن سیستم‌های تهویه مطبوع، استفاده از فن‌ها و ترکیب آن‌ها - در نظر گرفتن تأثیر سطح اشغال بر روی این استراتژی‌ها - اندازه‌گیری تجربی احساس کلی حرارتی، خطر جریان هوای سرد و غلظت CO2 در طول ماه رمضان - ارزیابی اثربخشی و معایب هر استراتژی، مانند بهبود کیفیت هوا از طریق باز کردن پنجره‌ها و افزایش رطوبت، و پتانسیل فن‌ها برای بهبود کیفیت هوا و احساس حرارتی، و احتمال ناراحتی به دلیل سرعت بالای باد	- باز کردن پنجره‌ها می‌تواند کیفیت هوا را بهبود بخشد اما باعث افزایش رطوبت داخلی در مسجد می‌شود. - استفاده از فن‌ها می‌تواند کیفیت هوا و آسایش حرارتی را با کاهش آلاینده‌ها در ناحیه اشغال شده بهبود بخشد، اما ممکن است به دلیل نوسانات در سرعت باد موجب ناراحتی شود. - روشن کردن سیستم‌های تهویه مطبوع در طول نمازها استراتژی موثری برای بهبود آسایش حرارتی نبود و توصیه می‌شود که به جای آن، پیش‌خنک‌سازی مسجد در نظر گرفته شود و سیستم‌های تهویه مطبوع در طول نمازها خاموش باقی بمانند.
تعیین آسایش حرارتی در ساختمان‌های مذهبی با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری و نظرسنجی: نمونه‌هایی از مساجد در اقلیم معتدل-مرطوب^۳	Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2020).	- اندازه‌گیری‌های آسایش حرارتی در دو مسجد با سیستم‌های تهویه مطبوع مختلف - اجرای نظرسنجی احساس حرارتی با کاربران در روزهای جمعه طی هفته‌های اندازه‌گیری - مقایسه سطوح آسایش حرارتی اندازه‌گیری شده با سطوح آسایش حرارتی ادراک شده گزارش شده توسط کاربران	- سطوح آسایش حرارتی اندازه‌گیری شده در مساجد در محدوده استانداردهای قابل قبول بودند، اما کاربران محیط را گرم‌تر از آنچه که اندازه‌گیری‌ها نشان می‌داد، احساس کردند. - تغییرات طراحی یا مکانیکی در نواحی نماز مساجد ضروری است تا آسایش حرارتی به

1 Evaluation of Thermal and Energy Performance in Mosque Buildings for Current Situation (Simulation Study) in Mountainous Climate of Abha City

2 Experimental investigation of thermal comfort and CO2concentration in mosques: A case study in warm temperate climate of Yalova, Turkey

3 Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate

نحوی حاصل شود که با ادراک کاربران همخوانی داشته باشد.			
- مساجد استعماری مالزی با آبوهوا سازگاری کامل داشته‌اند. - این مساجد از پنج تکنیک غیرفعال استفاده می‌کنند که تکنیک ایوان بیشترین تأثیر را دارد، زیرا از بازشوها در برابر تابش خورشیدی محافظت می‌کند. همچنین، گنبد به عنوان یک ویژگی استعماری، فضای بزرگی در سقف ایجاد کرده و مساحت سقف را کاهش می‌دهد و از این طریق محیط داخلی را از تابش خورشید محافظت می‌کند.	- تحلیل تکنیک‌های طراحی غیرفعال در مساجد استعماری مالزی و بررسی سازگاری این تکنیک‌ها با شرایط آب‌وهوایی مالزی - بهره‌گیری از روش مشاهده برای جمع‌آوری داده‌ها و مدل‌سازی کامپیوتری برای شبیه‌سازی و تحلیل محیط داخلی مساجد منتخب	Sanusi, A. N. Z., Abdullah, F., Azmin, A. K., & Kassim, M. H. (2020)	استراتژی‌های طراحی غیرفعال مساجد استعماری در مالزی^۱
- گرمایش با رادیاتور برقی با برنامه‌های زمانی متناوب بهترین سناریو برای بهبود راحتی حرارتی نمازگزاران بود، در حالی که از میراث فرهنگی و آثار هنری در مسجد تاریخی محافظت می‌کرد. - برنامه‌ریزی گرمایش متناوب منجر به صرفه‌جویی ۴۶٫۹ درصدی در مصرف انرژی نسبت به گرمایش مداوم شد.	- پایش و ارزیابی راحتی حرارتی مسجد اولو در منیسا، ترکیه در طی یک دوره ۴ ساله از ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ در زمان‌های نماز با استفاده از روش ISO 7730. - مدل‌سازی مسجد با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان (DesignBuilder) و کالیبره کردن مدل با استفاده از داده‌های دمای داخلی ساعتی. - استفاده از مدل کالیبره شده برای ارزیابی شرایط موجود در مسجد و توسعه ۱۳ سناریوی مختلف نوسازی برای بهبود راحتی حرارتی نمازگزاران در زمان‌های عبادت.	Diler, Y., Turhan, C., Arsan, Z. D., & Akkurt, G. (2021)	تحلیل راحتی حرارتی مساجد تاریخی: مطالعه موردی مسجد اولو، منیسا، ترکیه^۲
- اقدامات فاصله‌گذاری اجتماعی در طول پاندمی به احساس خنکی در میان عبادت‌کنندگان به دلیل سیستم‌های خنک‌کننده موجود منجر شد. - غلظت CO₂ به طور قابل توجهی با افزایش مدت زمان اشغال افزایش یافت و در مدت زمان دو ساعت به میزان ۷۵٪ افزایش یافت. - سیستم‌های تهویه مطبوع در مکان‌های عبادت نیاز به بازنگری از نظر نرخ‌های تهویه و عملیات جزئی دارند تا شرایط راحتی را برای سطوح مختلف اشغال و زمان‌های مختلف فراهم کنند.	- مطالعه در یک مسجد واقع در بحرین انجام شد. - اندازه‌گیری‌های دما، رطوبت، سرعت باد و غلظت CO₂ در سطوح و زمان‌های مختلف اشغال در فصل تابستان ثبت شد. - شاخص‌های Predicted Mean Vote (PMV) و Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) برای ارزیابی آسایش حرارتی استفاده شدند.	Reda, I., AbdelMessih, R. N., Steit, M., & Mina, E. M. (2022)	ارزیابی تجربی آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی در مکان‌های عبادت: تأثیر سطح اشغال و زمان^۳

1 Passive Design Strategies of Colonial Mosques in Malaysia

2 Thermal comfort analysis of historical mosques. Case study: The Ulu mosque, Manisa, Turkey

3 Experimental assessment of thermal comfort and indoor air quality in worship places: The influence of occupancy level and period

بهبود راحتی حرارتی در مساجد مناطق گرم و مرطوب از طریق استراتژی‌های طراحی غیرفعال و کم‌مصرف انرژی^۱	Azmi, N. A., Baharun, A., Arici, M., & Ibrahim, S. H. (2023)	- شبیه‌سازی‌های عددی بر روی مدل تأیید شده از ساختمان مورد مطالعه - بررسی تأثیر دیوار قبله رو به غرب، به دلیل این‌که نمازگزاران در نزدیکی این دیوار قرار می‌گیرند. - آزمایش گزینه‌های طراحی در کنار استراتژی‌های تهویه. - ارزیابی جامع راحتی حرارتی ساکنان.	- با طراحی مناسب دیوار قبله، کاهش دمای سطح دیوار داخلی به اندازه ۴-۶ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر است، که منجر به کاهش دمای تابشی متوسط ساکنان به میزان ۲-۴ درجه سانتی‌گراد می‌شود. - ترکیب طراحی دیوار قبله با استراتژی‌های تهویه می‌تواند راحتی را به طور قابل توجهی بهبود بخشد، به طوری که حداقل ۴۰٪ برای نمازهای روزانه در گرم‌ترین ساعات روز و تا ۸۰٪ برای نمازهای شبانه افزایش یابد. - شرایط راحتی مناسب می‌تواند بدون نیاز به تهویه مطبوع برای حداقل دو یا سه از پنج نماز روزانه فراهم شود.
مقایسه مدل‌های مختلف آسایش حرارتی: نمونه‌های موردی مساجد و کلیساهای^۲	Atmaca, A. B., Gedik, G. Z., Wagner, A., & Schweiker, M. (2023)	- اندازه‌گیری‌های آسایش حرارتی در نواحی مختلف مناطق نماز در کلیساهای و مساجد در کارلسروهه، آلمان انجام شد. - نظرسنجی درباره احساس حرارتی به کاربران/ساکنان ساختمان‌های مذهبی پس از رویدادهای مذهبی انجام شد. - داده‌ها به طور آماری تحلیل شد.	- مدل‌های آسایش حرارتی aPMV و ATHB در پیش‌بینی ادراک کاربران از آسایش حرارتی نسبت به مدل PMV در ساختمان‌های مذهبی مورد مطالعه، دقت بیشتری داشتند. - تفاوت‌هایی بین مدل‌های آسایش حرارتی و ادراک کاربران از آسایش حرارتی در ساختمان‌های مذهبی مورد مطالعه وجود داشت.
مطالعات در رابطه با فضای باز			
عنوان	نویسندگان/سال	مؤلفه و روش	نتایج
ویژگی‌های حرارتی بهینه حیاط در اقلیم گرم و خشک اصفهان^۳	Hasehzadeh Haseh, R., Khakzand, M., & Ojaghloou, M. (2018)	- شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 3.1 - شبیه‌سازی عوامل مختلف: ۱- جهت‌گیری حیاط ۲- ارتفاع دیوار محصورکننده ۳- ضریب انعکاس مواد (Albedo) ۴- سطح پوشش گیاهی	- جهت‌گیری بهینه برای حیاط در اقلیم گرم و خشک اصفهان، جهت شمالی است. - استفاده از دیوارهای بلند توصیه می‌شود تا دماهای خنک در ظهر و گرمای مناسب در شب فراهم شود. - از مواد با ضریب انعکاس پایین باید در حیاط استفاده شود تا از تابش اضافی منعکس شده جلوگیری شود. - بیش از ۵۰٪ از طرح حیاط باید با پوشش گیاهی پوشانده شود تا راحتی حرارتی تأمین شود.

1 Improving thermal comfort in mosques of hot-humid climates through passive and low-energy design strategies

2 Comparison of different thermal comfort models: mosque and church cases

3 Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan

ارزیابی عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز مسکونی بومی در اقلیم مدیترانه‌ای^۱	Philokyprou, M., Michael, A., Thravalou, S., & Ioannou, I. (2018)	- اندازه‌گیری‌های میدانی در پنج ساختمان سنتی در نیکوزیا، قبرس - تحلیل مقایسه‌ای تأثیر ویژگی‌های معماری اصیل و مداخلات معاصر بر عملکرد حرارتی پوشش‌های ساختمانی سنتی - ارزیابی عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز در ساختمان‌های سنتی، به‌ویژه در دوران خنک‌کننده - بررسی تأثیر مداخلات معماری معاصر (مانند تبدیل فضاهای نیمه‌باز به فضاهای داخلی بسته) و رفتار ساکنان بر عملکرد حرارتی پوشش‌های ساختمانی سنتی	- فضاهای نیمه‌باز در ساختمان‌های بومی به‌طور مثبت به راحتی حرارتی، به‌ویژه در دوران خنک‌کننده تابستان کمک کردند. - تغییرات معماری معاصر، مانند تبدیل فضاهای نیمه‌باز به فضاهای داخلی بسته، و همچنین رفتار ساکنان، تأثیر منفی بر عملکرد حرارتی پوشش‌های ساختمانی سنتی داشته است.
معیارهای آسایش تطبیقی در فضاهای انتقالی: پیشنهادی برای آسایش فضای باز^۲	Diz-Mellado, E., Galán-Marín, C., & Rivera-Gómez, C. (2020)	- انتخاب مجموعه‌ای از مطالعات موردی با نسبت ابعاد (AR - Aspect Ratios) مختلف از حیاط‌هایی که در شهرهای سویا و کوردوبا در اسپانیا واقع شده‌اند. - نظارت بر محدوده دمای روزانه (Diurnal Temperature Range - DTR) - بیرونی و حیاط برای هر مطالعه موردی - مقایسه محدوده دمای روزانه حیاط با محدوده راحتی حرارتی (Thermal Comfort - TC) - تجزیه و تحلیل درصد محدوده دمای روزانه حیاط که در محدوده‌های راحتی حرارتی و راحتی حرارتی تطبیقی برای هر مطالعه موردی قرار داشته	- عملکرد تنظیم حرارتی حیاط‌ها با افزایش نسبت ابعاد (AR) و افزایش حداکثر دمای بیرونی (MOT) بهبود می‌یابد. - دماهای حیاط‌ها اغلب خارج از محدوده آسایش حرارتی (TC) مشخص شده توسط مقررات اسپانیا قرار می‌گیرند، و این مسئله با افزایش دامنه دمای بیرونی (TR) بیشتر می‌شود. - زمانی که از استاندارد آسایش حرارتی تطبیقی (ATC) به جای استاندارد TC استفاده می‌شود، عملکرد حیاط‌ها به‌طور قابل توجهی بهتر می‌شود، به طوری که درصد قابل توجهی از دامنه دمای حیاط در محدوده آسایش ATC قرار می‌گیرد، حتی در دامنه‌های بالاتر دمای بیرونی نیز این چنین است.
مدل شبیه‌سازی محور برای طراحی مسکن حیاطی بر اساس راحتی حرارتی تطبیقی^۳	Soflaei, F., Shokouhian, M., Tabadkani, A., Moslehi, H., & Berardi, U. (2020)	- مدل‌سازی پارامتریک با استفاده از Ladybug، Grasshopper و Honeybee برای شبیه‌سازی طراحی‌های حیاط - بررسی تأثیر متغیرهای طراحی مانند جهت‌گیری، هندسه، مواد، اندازه‌های پنجره و تمرکز حیاط بر راحتی حرارتی	- طراحی بهبود یافته حیاط‌های مسکونی می‌تواند به‌طور قابل توجهی راحتی حرارتی را در اقلیم‌های گرم و خشک افزایش دهد. - این مطالعه به مقایسه راه‌حل‌های طراحی تولید شده به‌طور خودکار با شیوه‌های طراحی موجود و قوانین تجربی پرداخت. - مجموعه‌ای از معادلات برای پشتیبانی از طراحی حیاط‌های مسکونی در اقلیم‌های گرم و خشک ارائه شد.

1 Thermal performance assessment of vernacular residential semi-open spaces in Mediterranean climate

2 Adaptive Comfort Criteria in Transitional Spaces. A Proposal for Outdoor Comfort

3 A simulation-based model for courtyard housing design based on adaptive thermal comfort

	انجام یک مطالعه پارامتریک وسیع با مقایسه بیش از ۸۰۶۰ گزینه طراحی مختلف حیاط		
تأثیر استراتژی‌های سایه‌زنی خارجی بر راحتی حرارتی دانش‌آموزان در فضاهای باز بین ساختمان‌های آموزشی ^۱	- اندازه‌گیری‌های میدانی شرایط حرارتی در فضاهای مختلف باز بین ساختمان‌های آموزشی - استفاده از مدل میکروآب و هوای-ENVI met برای ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف سایه‌زنی بر بهبود راحتی حرارتی دانش‌آموزان - نظرسنجی از احساس حرارتی دانش‌آموزان (TSV) در فضاهای باز	Abdallah, A. S. H., Hussein, S. W., & Nayel, M. (2020)	
اثرات صرفه‌جویی در انرژی فضاهای حیاط با توجه به الگوهای فعالیت زمانی و مکانی خانوارهای روستایی چینی ^۲	- بررسی مدل‌های فیزیکی خانه‌های روستایی چین و نرخ اشغال ساکنان در ۹ منطقه اقلیمی مختلف - شبیه‌سازی دما و رطوبت داخل خانه بدون استفاده از تهویه مطبوع و اندازه‌گیری و مقایسه پیش‌بینی شده میانگین آراء حسی حرارتی داخل و خارج خانه به صورت ساعتی - محاسبه و تحلیل تعداد ساعاتی که فضای داخلی خارج از محدوده آسایش بود اما فضای حیاط در محدوده آسایش قرار داشت - محاسبه و مقایسه مصرف انرژی تهویه مطبوع در خانه‌های روستایی با فضای حیاط و بدون فضاهای حیاط، با در نظر گرفتن تفاوت‌های رفتاری زمانی و مکانی در ساختمان‌های روستایی مختلف	Huang, Z., Liu, Y., Pan, C., Wang, Y., Yu, H., & He, W. (2022)	
تأثیر طراحی حیاط بر راحتی حرارتی داخلی و هزینه‌های انرژی برای خانوارهای مسکونی: تحلیل مقایسه‌ای و مدل پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری عمیق ^۳	- استفاده از روش جستجوی فراگیر-brute force) برای تولید مجموعه‌ای گسترده از گزینه‌های طراحی - شبیه‌سازی گزینه‌های طراحی با استفاده از نرم‌افزارهای Ladybug ، Grasshopper و Honeybee - ارزیابی راحتی حرارتی ساکنان، بار انرژی و هزینه‌های انرژی بر اساس متغیرهای طراحی مانند هندسه حیاط، نسبت پنجره به دیوار، مواد پوشش، نقاط تنظیم گرمایش و سرمایش، و مکان ساختمان	Tabadkani, A., Aghasizadeh, S., Banihashemi, S., & Hajirasouli, A. (2022)	
- دماهای بالای هوا در فضاهای باز خارجی با چگالی کم درخت و عامل نمای آسمان بالا مشاهده شد.			
- افزایش پوشش گیاهی و چگالی درختان می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی دماها را کاهش داده و آسایش حرارتی دانش‌آموزان را در فضاهای باز بهبود بخشد.			
- فضاهای حیاط در ساختمان‌های روستایی تأثیر مکملی بر آسایش حرارتی داشته و می‌توانند مصرف انرژی ساختمان‌های مزرعه‌ای را بین ۷،۲۱٪ تا ۳۳،۹۹٪ کاهش دهند.			
- این مطالعه اثرات مکمل فضاهای داخلی و خارجی بر آسایش حرارتی را کمی‌سازی کرده است تا پتانسیل فعالیت‌های رفتاری برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان را درک کند.			
- فضاهای حیاط با کیفیت بالا می‌توانند ساکنان را تشویق کنند تا زمان بیشتری را در خارج از خانه بگذرانند و استفاده از فضای داخلی و مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهند.			
- همبستگی بالایی بین تغییرات آب و هوای بیرونی، دامنه‌های مرده (dead-band) و بارهای حرارتی، هزینه‌ها و شاخص راحتی حرارتی داخلی (PMV) وجود دارد.			
- در اقلیم‌های شدید مانند سنگاپور، فضاهای حیاط ممکن است به اندازه‌ای که انتظار می‌رود در بهبود راحتی حرارتی و کاهش هزینه‌های انرژی مؤثر نباشند.			

- 1 The impact of outdoor shading strategies on student thermal comfort in open spaces between education building
- 2 Energy-saving effects of yard spaces considering spatiotemporal activity patterns of rural Chinese farm households
- 3 Courtyard design impact on indoor thermal comfort and utility costs for residential households: Comparative analysis and deep-learning predictive model

	- توسعه مدل یادگیری عمیق برای پیش‌بینی راحتی حرارتی و هزینه‌های انرژی طراحی‌های حیاط		
ارزیابی استراتژی‌های سایه‌زنی خارجی برای بهبود راحتی حرارتی بیرونی در حیاط‌های مدارس در اقلیم‌های گرم و خشک ^۱	- نظارت بر شرایط موجود در حیاط‌های مدارس - اجرای ۹ استراتژی مختلف سایه‌زنی غیرفعال و پوشش گیاهی در حیاط‌ها با دو نسبت ارتفاع به عرض (H/W) مختلف، ۰٫۴ و ۰٫۷ - استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) برای ارزیابی بهبودهای راحتی حرارتی در سناریوهای مختلف	Mahmoud, R. M. A., & Abdallah, A. S. H. (2022).	- کاهش قابل توجهی در دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) تا ۱۸٫۵°C در حیاط مدرسه با استفاده از استراتژی‌های سایه‌زنی مختلف دیده شد. - ادغام رویکرد ترکیبی سایه‌زنی تدریجی و درختان، چه در مدارس موجود و چه در مراحل اولیه طراحی، برای بهبود راحتی حرارتی بیرونی در حیاط‌های مدارس توصیه می‌شود. - بهترین بهبود آسایش حرارتی بیرونی در حیاط‌های وسیع‌تر با نسبت ارتفاع به عرض (H/W) برابر با ۰٫۴، در مقایسه با حیاط‌های عمیق‌تر با نسبت H/W برابر با ۰٫۷ به دست آمد.
ارزیابی متقابل راحتی حرارتی در فضاهای نیمه‌باز بر اساس هندسه در جنوب اسپانیا ^۲	- ارزیابی راحتی حرارتی در فضاهای نیمه‌باز محصور (حیاط‌ها) با استفاده از سه معیار مختلف: PET و UTCI، EN16798 - بررسی ۲۰ حیاط با هندسه‌های مختلف در چندین شهر در جنوب اسپانیا - تجزیه و تحلیل تأثیر هندسه حیاط، به‌ویژه نسبت ابعاد (Aspect Ratio - AR)، بر راحتی حرارتی داخل حیاط‌ها در فصل گرم	Diz-Mellado, E., Nikolopoulou, M., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., & Galán-Marín, C. (2023).	- حیاط‌ها در جنوب اسپانیا در بیشتر ساعات روز در طول تابستان شرایط حرارتی راحتی را فراهم می‌کنند. - نسبت ابعاد (Aspect Ratio - AR) هندسه حیاط یک عامل تعیین‌کننده است، به طوری که نسبت ابعاد بالاتر (بیش از ۳) منجر به ۹۰-۱۰۰٪ ساعات راحتی می‌شود، و نسبت ابعاد پایین‌تر (۱-۲) همچنان بیش از ۷۰٪ ساعات راحتی را فراهم می‌کند. - حتی رایج‌ترین هندسه‌های حیاط در شهرهای مدیترانه‌ای (AR 1-2) شرایط راحتی را برای بیش از ۷۰٪ ساعات در طول فصل گرم فراهم می‌کنند.
برقراری ارتباط بین فضاهای حیاط پیچیده و آسایش حرارتی: پیشرفتی عمده در طراحی مبتنی بر شواهد ^۳	- محاسبه شاخص‌های فضایی در سطح پیکسل با استفاده از الگوریتم‌های هندسه محاسباتی مانند Ray Tracing، Flood و A* Fill - تولید نقشه‌های شاخص‌های فضایی برای حیاط‌ها	Wu, R., Fang, X., Brown, R., Liu, S., & Zhao, H. (2023)	- شش شاخص فضایی کلیدی که بر آسایش حرارتی در حیاط‌های مسکونی تأثیر می‌گذارند شناسایی شد: عامل نمای ساختمان (BVF)، کسری پرتو خورشید (BEAM)، عامل نمای میانگین (AVF)، عامل نمای آسمان جھتی (DSVF(W))،

1 Assessment of Outdoor Shading Strategies to Improve Outdoor Thermal Comfort in School Courtyards in Hot and Arid Climates

2 Cross-evaluation of thermal comfort in semi-outdoor spaces according to geometry in Southern Spain

3 Establishing a link between complex courtyard spaces and thermal comfort: A major advancement in evidence-based design

عامل نمای درختان (TVF) و نسبت آب پلان (PWR). - دامنه‌های بهینه برای این شاخص‌ها تعیین شد تا ناراحتی حرارتی به حداقل برسد. - این یافته‌ها می‌توانند در ابزارهای طراحی ادغام شوند تا تنظیم میکروآب و بهبود راحتی حرارتی برای ساکنان شهری ارتقا یابد.	- استفاده از فناوری شبیه‌سازی سریع آسایش حرارتی مبتنی بر GPU برای تولید نقشه‌های راحتی حرارتی - به‌کارگیری روش‌های داده‌کاوی مانند رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)، همبستگی پیرسون و درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه برای بررسی روابط بین شاخص‌های فضایی و راحتی حرارتی و شناسایی شاخص‌های کلیدی و آستانه‌ها و روندهای مربوط به فراوانی ناراحتی حرارتی		
- جهات شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی حیاط برای راحتی حرارتی بهتر در زمستان در اقلیم‌های نیمه‌خشک توصیه می‌شود. - نسبت ارتفاع به عرض (H/W) کمتر از ۰٫۸ برای شرایط محیطی بهتر در زمستان در اقلیم‌های نیمه‌خشک توصیه می‌شود.	- مرور ادبیات برای شناسایی هندسه‌های معمولی حیاط برای شرایط تابستان گرم - اندازه‌گیری‌های میدانی شامل: ۱- دمای سطح خارجی جهات داخلی حیاط ۲- متغیرهای میکرو اقلیمی ۳- رای‌های پیش‌بینی شده متوسط (PMV) ساکنان داخل حیاط ۴- تحلیل همبستگی بین PMV و جهات داخلی حیاط با نسبت ارتفاع به عرض (H/W) در ارتباط با استرس سرد	Sahnoune, S., & Benhassine, N. (2023)	راحتی حرارتی زمستانی یک هندسه معمولی حیاط در اقلیم نیمه‌خشک^۱
- حیاط‌های دارای تهویه طبیعی و فضاهای نیمه‌باز در محدوده قابل قبول راحتی حرارتی قرار داشتند. - فضای داخلی دارای تهویه مطبوع نیز مطابق با استانداردهای راحتی حرارتی ASHRAE 55 بود. - پاسخ‌دهندگان دمای راحتی بالاتری را در فضاهای نیمه‌باز نسبت به فضاهای داخلی دارای تهویه مطبوع احساس کردند، اما هر دو در محدوده توصیه‌شده استاندارد ASHRAE 55 قرار داشتند.	- اندازه‌گیری‌های فیزیکی دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای تابشی متوسط در دو نقطه نمونه‌برداری در هر یک از سه ناحیه بررسی شده (حیاط، کافه‌تريا و اتاق سمینار) در طول سه روز و در دو بازه زمانی (۹-۱۱ صبح و ۲-۴ بعدازظهر) - اندازه‌گیری‌های ذهنی از طریق پرسشنامه‌ای که به ۱۵۰ پاسخ‌دهنده توزیع شد تا احساس حرارتی آن‌ها در هر یک از سه ناحیه بررسی شده ارزیابی شود - تحلیل داده‌های اندازه‌گیری فیزیکی برای محاسبه شاخص‌های راحتی حرارتی مانند PMV و PPD و مقایسه آن‌ها با استانداردهای ASHRAE 55 برای شرایط راحتی حرارتی قابل قبول در فضاهای دارای تهویه طبیعی و تهویه مطبوع	Allah, M. Z., Hariri, A., & Kamar, H. M. (2023)	مقایسه شرایط راحتی حرارتی حیاط‌های تهویه طبیعی، فضاهای نیمه‌باز و فضاهای داخلی دارای تهویه مطبوع در اقلیم‌های گرمسیری^۲
- اینرسی حرارتی و تهویه طبیعی تأثیر مشابهی بر عملکرد حرارتی حیاط‌ها دارند	- استفاده از یک نمونه Prototype در مقیاس واقعی از مسابقات Solar Decathlon 2019 به عنوان مطالعه موردی	López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C.,	تأثیر اینرسی حرارتی و تهویه طبیعی بر راحتی کاربران در

1 WINTER THERMAL COMFORT OF A TYPICAL COURTYARD GEOMETRY IN A SEMI-ARID CLIMATE

2 Comparison of Thermal Comfort Condition of Naturally Ventilated Courtyard, Semi-Outdoor and Indoor Air-Conditioned Spaces in Tropical Climate

همان‌طور که بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های داخلی دارند. - اینرسی حرارتی در یک حیاط بسته می‌تواند اثر تعدیل دما را تا 1.6°C و راحتی حرارتی را تا 1.4°C UTCI افزایش دهد. - تهویه می‌تواند پتانسیل تعدیل دما را در طول روز کاهش دهد، اما هم‌چنین می‌تواند از گرمای بیش از حد در شب بکاهد و بسته به سرعت باد، راحتی حرارتی را افزایش دهد.	- جمع‌آوری داده‌های نظارتی از نمونه Prototype - کالیراسیون مدل شبیه‌سازی که ترکیبی از شبیه‌سازی انرژی ساختمان (BES) و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بود - شبیه‌سازی سه پیکربندی دیوار با اینرسی حرارتی متفاوت و دو وضعیت حیاط (بسته و تهویه‌شده)	Roa-Fernández, J., Hernandez-Valencia, M., & Herrera-Limones, R. (2023)	حیاط‌ها تحت شرایط تابستان گرم
--	---	--	--------------------------------------

حرارتی و شرایط آسایش حرارتی در ساختمان‌های مذهبی در اقلیم‌های گرم دارد ([Mushtaha, & Helmy, 2017](#)). هم‌چنین در اقلیم‌های کوهستانی تأثیر پوشش‌های ساختمانی ضعیف بر آسایش حرارتی و نیازهای انرژی در مساجد با ورود گرما در تابستان و اتلاف گرما در زمستان مرتبط است ([Shohan, & Gadi, 2020](#)). بهبود آسایش حرارتی در مساجد مناطق گرم و مرطوب با استفاده از استراتژی‌های طراحی غیرفعال و کم‌انرژی به طور قابل توجهی امکان‌پذیر است ([Azmi, Baharun, Arıcı, & Ibrahim, 2023](#)). در این میان مطالعاتی هستند که پاسخ‌گویی مناسب مساجد سنتی به اقلیم را نشان داده‌اند. تحلیل آسایش حرارتی در مسجد تاریخی اولوی مانيسا، ترکیه، نشان می‌دهد که با وجود قدمت، این مسجد هم‌چنان سطح قابل قبولی از آسایش حرارتی را فراهم می‌کند ([Diler, Turhan, Arsan, & Akkurt, 2021](#))، و استراتژی‌های طراحی غیرفعال در مساجد دوران استعمار مالزی به بهبود عملکرد حرارتی و آسایش حرارتی کمک قابل توجهی کرده است ([Sanusi, Abdullah, Azmin, & Kassim, 2020](#)).

مطالعات در رابطه با فضای باز عموماً در رابطه با حیاط در مسکونی صورت گرفته است. تأثیر قابل توجه بهره‌گیری از فضاهای حیاط با توجه به الگوهای فعالیت زمانی و مکانی خانوارهای روستایی چین ([Huang et al, 2022](#))، تأثیر هندسه در فضای نیمه باز حیاط در جنوب اسپانیا ([Diz-Mellado, Nikolopoulou, López-Cabeza, Rivera-Gómez, & Galán-Marín, 2023](#))، و

تحقیقات در مورد آسایش حرارتی در مساجد چندین یافته‌ی کلیدی را ارائه کرده است. دو مطالعه به مقایسه مدل‌های آسایش حرارتی پرداخته‌اند. مطالعه‌ای نشان داده است که مدل Predicted Mean Vote (PMV) معمولاً نسبت به Actual Mean Vote (AMV) دماهای راحتی در مساجد مجهز به سیستم‌های تهویه مطبوع را کمتر از حد واقعی برآورد می‌کند ([Hussin, Salleh, Chan, & Mat, 2016](#))، و هم‌چنین مدل‌های adaptive PMV و Adaptive Thermal Heat Balance (aPMV) (ATHB) نسبت به مدل استاندارد PMV در ساختمان‌های مذهبی به طور نزدیک‌تری با درک کاربران هم‌راستا هستند ([Atmaca, Gedik, Wagner, & Schweiker, 2023](#)). مطالعات دیگر بر بهره‌گیری از تاسیسات مکانیکی در کنار تهویه مطبوع اشاره دارند. سطح و مدت زمان اشغال تأثیر قابل توجهی بر غلظت دی اکسید کربن و آسایش حرارتی دارد و تطبیق استراتژی‌های تهویه برای تطابق با سطوح و دوره‌های اشغال مختلف ضروری می‌باشد ([Reda, AbdelMessih, Steit, & Mina, 2022](#)). در مطالعه‌ای دیگر اشاره می‌کند، باز کردن پنجره‌ها کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد اما ممکن است رطوبت را افزایش دهد، در حالی که فن‌ها می‌توانند احساس حرارتی را افزایش داده و آلودگی را کاهش دهند ([Yüksel, Arıcı, Krajčik, & Karabay, 2020](#)).

برخی مطالعات به نوع طراحی معماری اشاره داشته، و ثابت کرده‌اند که فرم‌های ساختمانی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد

[Hussein, & Nayel, 2020](#); [Mahmoud, & Abdallah, 2022](#)).

تمام مطالعات در زمینه‌ی مساجد در رابطه با آسایش حرارتی در فضای داخلی صورت گرفته است، و این نشان دهنده‌ی خلاء در زمینه‌ی تحقیقاتی بررسی آسایش حرارتی در فضای باز مساجد می‌باشد. از آن‌جا که بسیاری از فریضه‌های عبادی در حیاط مساجد صورت می‌گیرد، لذا آسایش حرارتی در آن به اندازه‌ی آسایش حرارتی در فضای داخلی اهمیت پیدا می‌کند که تا کنون مطالعه‌ای در رابطه با آن صورت نگرفته است. هم‌چنین در مطالعات فضای باز نیز عموماً به حیاط‌های خانه‌های مسکونی و یا در تعداد محدودی به آسایش حرارتی در فضای باز آموزشی پرداخته شده است، که این موضوع ضرورت انجام پژوهش را به دلیل خلاء تحقیقاتی بیشتر نمایان می‌کند.

مبانی نظری

۱) فضای باز مسجد

فضای باز مسجد در اسلام و بازتاب آن در تاریخ معماری مسجد، عنصری غیرقابل انکار است ([Hojjat, & Maliki, 2013](#)). فضای باز در مسجد از ابتدا، یکی از بخش‌های اصلی کالبد بوده، به نحوی که نخستین مسجد اسلام تا دوران معاصر فضای باز در مسجد حضوری چشمگیر داشته است. مسجد پیامبر(ص) بنابر اقوال مشهور محققین مستشرق و علمای اسلام بر مبنای فضای باز محصور شکل گرفته بود و در طول گذر زمان، اضافاتی بر آن به عنوان بخش‌هایی برای صرف سایه‌اندازی عارض گردید ([Salmani, Rahimi, & Khakzad, 2014: 34](#)). رنه دالمانی در سفرنامه‌ی از خراسان تا بختیاری از اقامه نماز در فضای باز مسجد، سخن گفته است ([Rene Dalmani, 1956: 183](#)). فضای باز در مسجد چیزی بیش از یک فضای تقسیم یا تنوع معمارانه است. اضافه نمودن حیاط به بسیاری از نیایشگاه‌های ماقبل اسلام که بعد از اسلام تغییر کاربری داده‌اند، دلیلی بر این مدعاست ([Salmani, Rahimi, & Khakzad, 2014: 34](#)). علاوه بر این احکام خاصی درباره‌ی عبادت در فضای باز نیز وجود دارد، و برخی از اعمال واجب یا مستحب در فضای باز صورت می‌گیرد.

طراحی مناسب هندسه‌ی حیاط‌های اقلیم نیمه‌خشک در آسایش حرارتی شرایط سرد ([Sahnoune, & Benhassine, 2023](#)) از این دسته مطالعات هستند. هم‌چنین وجود حیاط‌ها با تهویه طبیعی معمولاً آسایش حرارتی بهتری نسبت به فضاهای نیمه‌باز و دارای تهویه مطبوع ایجاد می‌کنند ([Allah, Hariri, & Kamar, 2023](#); [López-Cabeza, Rivera-Gómez, Roa-Fernández, Hernandez-Valencia, & Herrera-Limones, 2023](#)).

علاوه بر این معیارهای آسایش تطبیقی در فضاهای انتقالی در تطبیق با شرایط متغییر محیطی در ایجاد آسایش حرارتی نقش دارند ([Diz-Mellado, Galán-Marín, & Rivera-Gómez, 2020](#)). ایجاد ارتباط بین فضاهای حیاط پیچیده و آسایش حرارتی نمایانگر پیشرفتی بزرگ در طراحی مبتنی بر شواهد است که به بهبود کیفیت محیط‌های داخلی و خارجی کمک می‌کند ([Wu, Fang, Brown, Liu, & Zhao, 2023](#)). طراحی مناسب برای مدیریت تابش خورشیدی و تهویه طبیعی به بهبود آسایش حرارتی در حیاط‌های اقلیم گرم‌وخشک اصفهان کمک می‌کند ([Hasehzadeh Haseh, Khakzand, & Ojaghlo, 2018](#)). و طراحی مناسب حیاط تأثیر قابل توجهی بر آسایش حرارتی داخلی نیز دارد ([Tabadkani, Aghasizadeh, Banihashemi, & Hajirasouli, 2022](#)). هم‌چنین وجود حیاط بر اساس آسایش حرارتی تطبیقی به آسایش حرارتی فضاهای داخلی مسکونی نیز کمک می‌کند ([Soflaei, Shokouhian, Tabadkani, Moslehi, & Berardi, 2020](#)). مطالعه‌ای نیز فضای نیمه باز را مورد ارزیابی قرار داده است و نشان داده است که، ارزیابی عملکرد حرارتی فضاهای نیمه‌باز مسکونی بومی در اقلیم مدیترانه‌ای نشان می‌دهد که طراحی‌های سنتی می‌توانند به طور مؤثری آسایش حرارتی را در این نوع اقلیم‌ها بهبود بخشند ([Philokyrou, Michael, Thravalou, & Ioannou, 2018](#)). تنها دو مطالعه به آسایش حرارتی در فضای باز مدرسه پرداخته‌اند، که هر دو مطالعه به استراتژی‌های سایه‌اندازی خارجی و تأثیر قابل توجه آن بر آسایش حرارتی دانش‌آموزان در فضاهای باز بین ساختمان‌های آموزشی اشاره دارند ([Abdallah,](#)

فضای باز مسجد در شریعت، سیره عملی و روایات: تأکید بر فضای باز مساجد در سیره و سنت پیامبر و در شریعت نیز مطرح شده است. به طور مثال، نماز عید فطر، قربان و نماز استسقا و درخواست باران از خداوند هنگام بروز خشکسالی جزء نمازهایی هستند که کراهت دارد زیر سقف خوانده شود (Bani Hashemi Khomeini, 1999: 856). اعمال روز عرفه نیز پس از نماز ظهر و عصر و پیش از اشتغال به دعا، دو رکعت نماز در زیر آسمان بهجا آورده می شود (Meshkini, 2002: 461). برخی از اعمال مستحب مانند نماز شب، نماز استغاثه، نماز حاجت، زیارت امام حسین(ع)، اعمال شب نیمه شعبان، شب بیست و سوم رمضان و اعمال مسجد سهله نیز توصیه در فضای باز شده اند (Qomi, 2001). این موضوع در سیره عملی پیامبران نیز دیده می شود. تمامی اقوال تاریخی در دسترس، از مستشرقین تا محدثین تأکید می نمایند اصولاً مسجد اولیه ای که پیامبر(ص) بنا نمودند یک چهار دیواری بود که دارای هیچ گونه سقفی نبود (Salmani, Rahimi, & Khakzad, 2014: 34). در روایات نیز بر فضای باز مساجد و حفظ آن تأکیدی تحت عنوان «احکام تسقیف مسجد» وجود دارد. این احکام در رابطه با نهی ساخت سقف مسجد در دو دسته استحباب و کراهت قرار می گیرد. در روایاتی دیگر آمده است: «مکروه است مسقف بودن مساجد اما داشتن سایه بان اشکالی ندارد» (Al-Qami, 1997: 235).

کارکرد و عملکرد فضای باز مسجد: مساجد کانون عبادی، اجتماعی و فرهنگی هویتی دیرینه است و نمی توان آن را از ساختار اجتماعی و شهری جدا نمود (Behzadfar, 1997: 11). حیاط مسجد می تواند یکی از فضاهای شهری باشد که نقش اجتماعی آن قابل توجه است (Shaterian, 2011: 390). محققین بر این عقیده هستند که در شهرهای اسلامی، حیاط مسجد با ورودی های متعدد به عنوان فضای شهری عمل می کند (Tavasli, & Bonyadi, 2014: 49). همچنین وجود ورودی های متعدد به مسجد، به عنوان یک ویژگی فضای شهری تلقی می گردد (Naghizadeh, 2010: 383). در مسجد مفهومی مثبت از سهولت دسترسی و سهل الوصول بودن

مسجد در اذهان جای گرفته است. انتقال تدریجی فرد از بیرون به درون، از طریق سامان دهی مدرانه فضاهای متنوع، ارتباط او را از دنیای مادی و پرهیاهوی بیرون می گسلد و زمینه حضور او را در فضای درون و آرام مسجد آماده می سازد (Hemmati, Zabih, & Kamali, 2013: 44). حیاط در معماری مسجد، علاوه بر کاربردهای آن در تعامل با سایر فضاها، به عنوان یک فضای تجمعی و خدمات دهنده به سایر فضاها، نقشی اساسی بر عهده دارد که وجود آن در پیکربندی بنا، تأثیر بسزایی در عملکرد مطلوب مسجد دارد. علاوه بر این، نقش وحدت بخش حیاط در معماری مسجد، علاوه بر جنبه های کارکردی، از منظر ادراکی نیز حائز اهمیت است و با استقرار آن در مرکز بنا، به عنوان یک فضای خالی در تعامل با توده فضا، ضمن ایجاد گشایش فضایی و افزایش نورگیری آن، امکان ادراک کلیت فضا را برای کاربر فراهم آورده و این موضوع، دسترسی به بخش های مختلف بنا و استفاده پذیری بیشتر از آن را فراهم می آورد که مجموع این عوامل باعث افزایش راندمان عملکردی در مساجد حیاط دار می شود (Heydari, Peyvastegar, & Kiaei, 2017: 92).

۲) آسایش حرارتی در فضای باز

آسایش حرارتی بر مبنای استاندارد اشری «شرایط ذهنی که رضایت از محیط حرارتی را بیان می نماید» تعریف می گردد (ASHRAE, 2004)، که در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (Dhariwal et al, 2019; Nasrollahi, Hatami, Khastar, & Taleghani, 2017). برخی آسایش حرارتی مقوله ای ذهنی باشد، غیر قابل اندازه گیری است و عوامل متعددی باعث تغییر آن خواهد شد (Heijs, Oseland, & Humphreys, 1994). قابل ذکر است که برای آسایش حرارتی تعاریف متعددی ارائه گردیده است. اما نکته قابل تامل این است، که تئوری آسایش حرارتی در فضای باز و بسته یکسان است.

آسایش حرارتی به عوامل متعددی در فضاهای باز وابسته است. این عوامل شامل دمای هوا^۱ (Ta)، رطوبت نسبی^۲ (Rh)، سرعت باد^۳ (W_s)، دمای تابشی متوسط^۴ (Mrt)، متابولیسم حرارتی^۵ (Met) و مقاومت لباس^۶ (Iclo) می‌شوند. ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز نیازمند بررسی ریز اقلیم و همچنین عناصر فیزیولوژیکی و رفتاری است که به تجربه کلی کمک می‌کنند (Karimimoshaver, & Shahrak, 2022; Yang, Wong, & Jusuf, 2013; Amindeldar, Heidari, & Khalili, 2017). در این راستا، برای ارزیابی دقیق آسایش حرارتی، در نظر گرفتن دقیق شرایط ریز اقلیم و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری فرد ضروری است (Bokaie, Zarkesh, Arasteh, & Hosseini, 2016). عوامل دیگری هم‌چون قرارگیری فرد، رفتار، جنس، سن، فرم بدن، غذای مصرفی، فرهنگ اقتصاد و ... نیز از درجه تأثیر بالایی برخوردار هستند (Szokolay, 2004). رای‌گیری احساس حرارتی^۷ (TSV) و رای‌گیری آسایش حرارتی^۸ (TCV) شاخص‌های ذهنی رایجی هستند که می‌توانند احساس آسایش حرارتی را نشان دهند (Wang, Parkinson, Li, & Lin, 2019; Lam et al. 2020; Sun, Wu, & Wu, 2021). با این حال، تفاوت‌های فردی (فیزیکی و روانشناختی)، تأثیر ترکیبی چندین عامل محیطی و تأثیرات متقاطع بین احساسات

مختلف (مانند آسایش صوتی و بصری) روشن کردن رابطه پیچیده بین احساسات حرارتی و محیط اطراف را دشوار می‌کند (Lau, & Choi, 2021; Pierson, Wienold, & Bodart, 2018; Buratti, Belloni, Merli, & Ricciardi, 2018). مدل‌های دمای معادل برای ارزیابی آسایش حرارتی محیطی به طور گسترده استفاده می‌شوند. دمای معادل به دمای هوای یک فضای معمولی اشاره دارد که همان پاسخ فیزیولوژیکی را مانند شرایط پیچیده واقعی ایجاد می‌کند.

شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای باز: شاخص‌های آسایش حرارتی را می‌توان به دو دسته شاخص‌های تجربی و شاخص‌های مکانیسمی تقسیم کرد (Li, & Liu, 2020). محققان محیط زیست شهری شاخص‌های مکانیسم آسایش حرارتی فضای باز مختلفی را برای ایجاد رابطه متناظر بین محیط بیرونی و احساس حرارتی انسان و شناسایی اقدامات بهبودی پیشنهاد کرده‌اند (Xu et al, 2017). شاخص‌های مکانیسم بر اساس معادله ترمودینامیکی استوار هستند و در درجه اول شامل شاخص فشار حرارتی^۹ (HIS)، شاخص دمای موثر^{۱۰} (ET)، دمای موثر استاندارد^{۱۱} (SET)، دمای موثر استاندارد فضای باز^{۱۲} (OUT-SET)، رای متوسط پیش‌بینی شده^{۱۳} (PMV)، دمای معادل فیزیولوژیکی^{۱۴} (PET)، شاخص جهانی اقلیم حرارتی^{۱۵} (UTCI) و غیره می‌شوند (Chen, Xue, Liu, Gao, & Liu, 2018).

1 temperature

2 humidity

3 wind speed

4 Mean radiant temperature

5 metabolic heat

6 clothing insulation

7 Thermal sensation vote

8 thermal comfort vote

9 Heat-stress Index

10 Effective Temperature index

11 Standard Effective Temperature

12 Outdoor Standard Effective Temperature

13 Predictive Mean Vote

14 Physiological Equivalent Temperature

15 Universal Thermal Climate Index

(Monteiro, & Alucci, 2009; Honjo, 2009: 44). هم‌چنین از طریق تجزیه و تحلیل پارامترهای ریزاقلیم، مشخص شده است که یک رابطه‌ی خطی قوی بین PMV و دمای عملیاتی فضای باز وجود دارد (Fang, Feng, & Lin, 2017). علاوه بر این، مطالعه فضای باز به وسیله نرم‌افزارهای موجود، Envi-met خروجی‌های دقیق‌تری ارائه می‌دهد و پاسخ مناسبی برای شاخص PMV برای شروع یک مدل ریزاقلیم سه‌بعدی را ارائه می‌کند (Fabbri, Di Nunzio, Gaspari, Antonini, & Boeri, 2017)، و در مطالعات متعددی برای سنجش فضای باز استفاده شده است (Du et al, 2022; Honjo, 2009; Kwon, & Parsons, 2009).

شاخص PMV: شاخص PMV توسط فانگر به منظور تعیین معیاری برای ارزیابی میزان آسایش حرارتی افرادی که دارای فعالیت‌ها و پوشش‌های متنوع هستند، ارائه گردید (Fanger, 1972). در پژوهش حاضر از این شاخص برای سنجش آسایش حرارتی فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ استفاده شده است. شاخص PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی هفت‌درجه‌ای است که دامنه آن از ۳- (بسیار سرد) تا ۳+ (بسیار گرم) تغییر می‌کند و صفر در این مقیاس، نشان‌دهنده احساس حرارتی خنثی است. این هفت درجه توسط سازمان ASHRAE ارائه شده و به وسیله فانگر مورد استفاده قرار گرفته است. از آن‌جا که در این روش بسیاری از معیارهای آسایش از قبیل متغیرهای اقلیمی، نوع پوشاک و فعالیت به‌طور هم‌زمان به کار گرفته می‌شوند، یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین محدوده آسایش شناخته می‌شود. در این معیار، اعدادی که کمی بالاتر از ۱+ یا اندکی پایین‌تر از ۱- باشند، موجبات نارضایتی را فراهم می‌آورند؛ بنابراین محدوده آسایش شامل $1 < PMV < 1+$ خواهد بود. البته شاخص PMV تابع آب‌وهوای محلی است و می‌تواند به مقادیر بالاتر از ۳+ یا پایین‌تر از ۳- نیز برسد. (Berkovic, Yezioro, & Bitan, 2012). یعنی شرایط آسایش حرارتی از شخصی به

این شاخص‌ها بیشتر بر اساس مدل‌های تعادل حرارتی انسان در فضای باز هستند که به طور گسترده در مطالعات فعلی استفاده می‌شوند. فانگر^۱ و همکاران معادله حالت پایدار انرژی انسان را پیشنهاد کردند که از PMV به عنوان شاخص ارزیابی استفاده کرده است (American National Standards Institute, 2004). مدل دو گره‌ای پیشنهادی توسط گنزالز^۲ و همکاران از دمای موثر جدید (ET) و دمای موثر استاندارد (SET) به عنوان شاخص‌های ارزیابی استفاده کرده‌اند (Gonzalez, Nishi, & Gagge, 1974). مدل MEMI پیشنهادی توسط مایر^۳ و همکاران مدل دو گره‌ای را گسترش داد و از دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) به عنوان مدل شاخص استفاده کردند (Mayer, & Höppe, 1987).

هم‌چنین برخی شاخص‌ها مانند ETVO (Nagano, & Horikoshi, 2011a)، ETU (Nagano, & Horikoshi, 2011b)، ETF (Tsuchikawa, Kondo, Horikoshi, & Matsubara, 2010)، COMFA (Warland, Brown, & Gillespie, 2009) به طور گسترده استفاده نشده‌اند. شاخص‌های ارزیابی آسایش حرارتی قابل اعمال در مناطق باز عمدتاً شامل رأی متوسط پیش‌بینی شده PMV، دمای معادل فیزیولوژیکی PET و شاخص جهانی اقلیم حرارتی UTCI می‌شوند (McQuinston, & Spitler, 1992). PET آسایش انسان را در نظر می‌گیرد و برای اقلیم‌های مختلف مناسب است، اما به پارامترهای آزمایشی بیشتری نیاز دارد (Höppe, 1999). UTCI دمای معادل محیط مرجع را بیان می‌کند و برای شرایط اقلیمی در مقیاس‌های مختلف قابل اعمال است (Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger, & Tinz, 2012).

اما شاخص PMV مستقیماً بر اساس دمای واقعی برای رأی‌گیری حرارتی است و تأثیر دما بر آسایش انسان را به طور شهودی از طریق داده‌های آماری نشان می‌دهد

1 Fanger

2 Gonzalez

3 Mayer

شخص دیگر و از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر متفاوت است. فردی که در اقلیم سردوخشک زندگی می‌کند، نسبت به فردی که در اقلیم گرم‌وخشک است، تحمل سرمای بیشتری دارد. چنین تفاوت‌های منطقه‌ای تأثیر قابل توجهی در مصرف انرژی دارد.

روش تحقیق

رویکرد پژوهش حاضر کاربردی بوده و هدف آن، تحلیل تأثیر مساحت و تناسبات فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ بر ایجاد آسایش حرارتی و ارائه الگوی بهینه برای مساجد معاصر است. در گام نخست، به صورت کیفی، ادبیات و مبانی نظری موجود در زمینه آسایش حرارتی، فضای باز مساجد، مساحت و تناسبات فضای باز و تأثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی بررسی شد و بر این اساس، شهرهای نمونه بر مبنای پهنه‌های اقلیمی مختلف خطه خراسان بزرگ انتخاب گردیدند. از آن‌جا که منطقه خراسان دارای چهار پهنه اقلیمی است، از هر پهنه یک شهر به عنوان نمونه انتخاب شد: برای اقلیم کوهپایه‌های مرتفع (پهنه اقلیمی ۱) شهر قوچان، برای اقلیم کوهپایه‌های کم‌ارتفاع (پهنه اقلیمی ۲) شهر مشهد، برای اقلیم دشتی (پهنه اقلیمی ۳) شهر سبزوار و برای اقلیم کویری (پهنه اقلیمی ۴) شهر طبس. در گام بعد، برای سنجش آسایش حرارتی از روش کمی و شبیه‌سازی استفاده شد. شبیه‌سازی شرایط حرارتی بر مبنای مساحت و تناسبات فضایی مساجد با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 4 صورت گرفت و نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار Leonardo مصورسازی و تحلیل گردید. در این پژوهش،

شاخص آسایش حرارتی PMV به دلیل اعتبار قابل قبول و جامعیت، برای تحلیل آسایش حرارتی به کار گرفته شد.

بررسی محدوده‌های مورد مطالعه: شهرستان قوچان با وسعت تقریبی ۳۹۸۱ کیلومتر مربع از شمال شرق به درگز، از جنوب به نیشابور، از غرب به فاروج و از شرق به چناران محدود است و از لحاظ اقلیمی نیمه خشک سرد می‌باشد (Kamyabi, 2015: 96). شهر مشهد بالغ بر ۱۰۳۲۹ کیلومتر مربع وسعت دارد از جنوب به ارتفاعات بینالود، از شمال به کوه‌های هزار مسجد، از شرق به شهرستان سرخس و از غرب به شهرستان نیشابور و چناران محدود می‌شود (Hosseini, 2007) و طبق پژوهش‌های انجام شده اقلیم این شهر از ۴۰ سال گذشته تا کنون نیمه سردوخشک است (Sabeti Ashjaee, Mehdizadeh Seraj, & Faizi, 2014: 124). شهر سبزوار به عنوان دومین شهر بزرگ خراسان رضوی در فاصله ۲۴۰ کیلومتری غرب شهر مشهد قرار دارد و اقلیم حاکم آن خشک می‌باشد (Sabziparvar, Mirgaluye bayat, & Qiaemi, 2011: 31). شهرستان طبس با مساحت ۵۵۶۶۴ کیلومترمربع در دشت کاملاً هموار و باتلاق‌های نمک قرار گرفته. این منطقه جزء مناطق کویری با آب‌وهوای خشک و قاره‌ای محسوب می‌شود که نوسانات درجه حرارت شبانه‌روزی و ماهیانه آن زیاد است (Qazavi, & Mousaviyan, 2017: 43). اطلاعات جغرافیایی شهرهای منتخب در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه

شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	اقلیم
شهر قوچان	۵۸° و ۳۰	۳۸° و ۱۱	کوهپایه‌های مرتفع
شهر مشهد	۱۵° و ۵۹° تا ۳۶° و ۶۰	۳۷° و ۳۵° تا ۸° و ۴۳	کوهپایه‌های کم ارتفاع
شهر سبزوار	۴۳° و ۵۷	۳۶° و ۱۳	دشتی
شهر طبس	۱۵° و ۵۷° تا ۴۵° و ۵۶	۲۲° و ۵۰ تا ۲۲° و ۵	کویری

وهوایی آنلاین که در بعضی شهرها موجود است، به صورت میان‌یابی یا درون‌یابی از نزدیک‌ترین پایگاه‌های اطراف شهر و بر حسب طول و عرض جغرافیایی برای شهرهایی که اطلاعات آن‌ها موجود نیست فایل آب‌وهوایی را تنظیم می

تنظیم شرایط داده‌های اقلیمی: داده‌های اقلیمی چهار شهر منتخب از فایل EPW (فایل آب‌وهوایی) با استفاه از نرم افزار meteonorm ساخته شده است که، به صوت آنلاین داده‌ها به‌روز و پشتیبای می‌گردد. همچنین نرم افزار meteonorm با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های آب

کند. داده‌های اقلیمی چهار شهر نام برده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ورودی داده‌های نرم افزار انویمنت با استفاده از فایل EPW در روز (July ۲۳) شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار، طبس

شهر شبیه سازی	قوچان	مشهد	سبزوار	طبس
روز شبیه سازی	July ۲۳	July ۲۳	July ۲۳	July ۲۳
مدت شبیه سازی	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
ساعت شروع شبیه سازی	۴	۴	۴	۴
ساعت پایان شبیه سازی	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
سرعت باد	۳	۳٫۶	۳٫۸	۲
میانگین دمای هوا	۲۶	۲۸	۲۹	۳۱٫۵
جهت باد (0:N. 90:E.180:S 270:W)	۲۱۲	۲۰۴	۲۱۲	۲۱۲
دمای داخلی	۲۹۸ کلوین	۲۹۸ کلوین	۳۰۱ کلوین	۳۰۲ کلوین
رطوبت خاص در ۲۵۰۰ متر	۱۰	۸	۷	۷
رطوبت نسبی	۵۲	۵۵	۵۴	۵۰

جهت اعتبارسنجی، داده‌های اقلیمی فایل EPW مستخرج از نرم افزار meteonorm، داده‌های اقلیمی کامل شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و طبس از سایت داده‌های هواشناسی در تاریخ ۲۳ ام ماه July سال ۲۰۲۲ دریافت شد و سپس از نرم‌افزار Excel 2018 به منظور محاسبه ضرایب همبستگی مقادیر دریافتی از سایت داده‌های هواشناسی کشور و مقادیر به دست آمده از نرم‌افزار استفاده گردید. وجود ضرایب همبستگی بالا، میان متغیرهای نرم‌افزار و داده‌های هواشناسی نشان دهنده معتبر و قابل استناد بودن مدل نرم افزاری ساخته شده و شبیه‌سازی می‌باشد.

سناریوی شبیه‌سازی: نرم افزار ENVI MENT4 تنها نرم‌افزاری است که تمامی فاکتورهای مؤثر در آسایش حرارتی مانند سرعت و جهت باد، دمای متوسط تابشی، دمای هوا و غیره را به صورت یکپارچه با شاخص‌های آسایش حرارتی شبیه سازی می‌نماید (Lenzholzer, 2012: 42)، و تأثیرات جوی محیط را بر فضای باز شبیه‌سازی می‌کند (Bruse, 2009: 13). با توجه به جامعیت ENVI-met و همچنین قابلیت شبیه‌سازی شاخص PMV به عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی در فرایند شبیه‌سازی از این نرم‌افزار استفاده شد. از همین‌رو، جهت شبیه‌سازی فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ از این نرم‌افزار بهره گرفته شد، و تناسبات طول به عرض و

مساحت در نرم افزار ENVI MENT4 مورد تحلیل قرار گرفت. اکثر مساجد خراسان بزرگ دارای فضای باز هستند (Rene Dalmani, 1956: 183)، و تنها حدود ۱۵ درصد مساجد بدون صحن می‌باشند (Hojjat, & Maliki, 2013). در پژوهش حاضر مساجد دارای فضای باز طبق جدول شماره ۴ مد نظر بوده و مورد تحلیل قرار گرفته است.

رفتار خرداقلیمی صحن‌ها یا به عبارتی حیاط‌های مرکزی با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 4 تحلیل گردید. منطقه خراسان دارای چهار پهنه اقلیمی است که تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد را تجربه می‌کند. تأثیر مساحت و تناسبات عرض به ارتفاع فضای باز مساجد، به‌عنوان پارامترهای بالقوه، شرایط خرداقلیم را بهبود می‌بخشد. بر اساس پژوهش انجام‌شده، سه الگو برای صحن مساجد خراسان یافت شده است: مربع‌شکل، مستطیل‌شکل با کشیدگی در راستای قبله، و مستطیل‌شکل با کشیدگی در جهت عمود بر قبله. ابتدا مساحت فضای باز مساجد در این چهار الگو در نرم‌افزار ENVI-met 4 شبیه‌سازی و تحلیل شد تا مساحت بهینه برای هر پهنه اقلیمی مشخص گردد. پیش از این، مطالعات نسبتاً وسیعی در حوزه فضای باز شهری، معابر و همچنین ابعاد و تناسبات حیاط مرکزی صورت گرفته بود. با الهام از این پژوهش‌ها، در گام بعد،

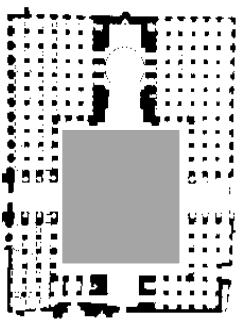
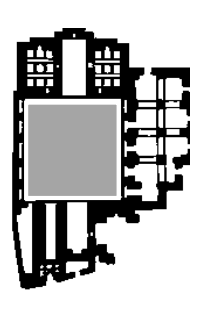
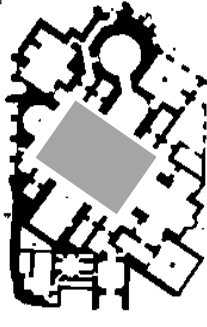
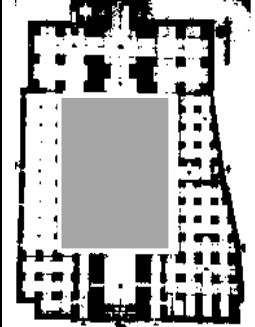
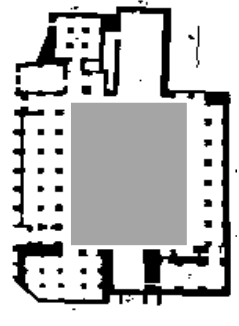
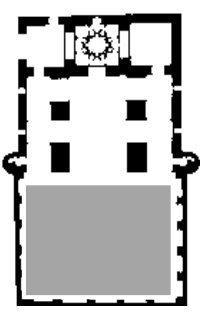
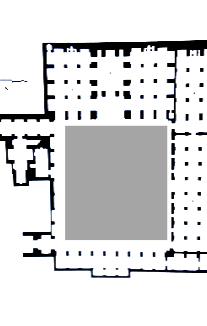
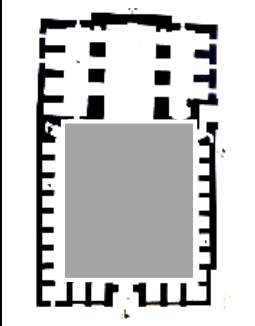
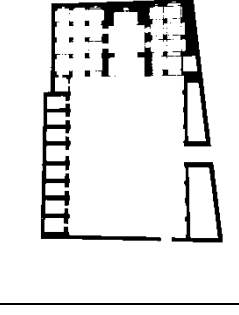
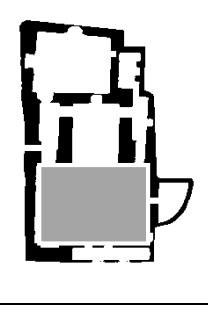
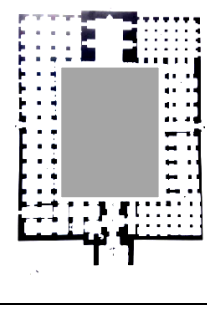
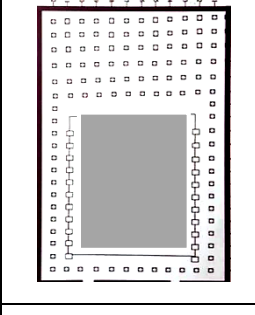
صحن این مساجد به سه الگوی اصلی تقسیم‌پذیر است: مستطیل‌شکل با کشیدگی در راستای قبله، مستطیل‌شکل عمود بر راستای قبله، و مربع‌شکل. همان‌طور که بیان شد، فضای باز در مساجد به‌عنوان فضایی اجتناب‌ناپذیر در کالبد غالب مسجد حضور دارد و حدوداً بین ۲۰ تا ۶۳ درصد از مساحت مساجد سنتی خراسان به فضای باز اختصاص یافته است و نسبت طول به عرض آن‌ها بین ۱ تا ۱,۷ می‌باشد

(Mousavi, & Hamzenejad, 2019: 11). در جدول ۴ اطلاعات مساجد قرن پنجم تا قاجار در خراسان بزرگ ارائه شده است، که تناسبات به صورت عددی و مساحت صحن نسبت به کل عرصه‌ی بنا به صورت درصدی ارائه شد. در ادامه بر اساس اطلاعات این مساجد، شبیه‌سازی و آنالیز صورت گرفت.

نسبت ارتفاع به عرض حیاط سنجش شد و شاخص PMV به‌عنوان معیار آسایش حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. میانگین دمای تابشی و سرعت باد، مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی صحن‌ها محسوب می‌شوند. پارامترهای هندسی یادشده شاید به‌تنهایی نتوانند شرایط مطلوب را فراهم آورند، اما می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی به بهبود آسایش حرارتی حیاط در تابستان و زمستان و دستیابی به سطح مطلوبی از آسایش کمک کنند. بر این اساس، ۱۰ حالت مختلف که از تنوع ارتفاع جداره‌های صحن به دست آمد، به‌طور مجزا برای هر شهر با نرم‌افزار ENVI-met 4 تحلیل شد و نسبت بهینه برای هر شهر تعیین گردید.

مساحت و تناسبات صحن مساجد خراسان بزرگ: فضای باز در تمامی مساجد خراسان بزرگ به‌عنوان نقطه مشترک دیده می‌شود، اما تناسبات آن‌ها با یکدیگر متفاوت است.

جدول ۴- مساجد سنتی خراسان بزرگ

بررسی شکلی فضای باز مساجد خراسان، پهنه زمانی (قرن پنجم تا قاجار) - پهنه مکانی (خراسان بزرگ)				
				پلان
۱-۱،۱	۱-۱	۱-۱،۴	۱-۱،۳	تناسبات صحن
۲۸	۲۹	۲۲	۲۱	درصد نسبی صحن نسبت به کل عرصه
مسجد جامع سبزوار	مسجد جامع بجستان	مسجد کیود گنبد کلات نادری	مسجد جامع سبزوار	نام مسجد
				پلان
۱-۱،۲	۱-۱،۲	۱-۱	۱-۱،۱	تناسبات صحن
۳۸	۴۰	۳۷	۴۵	درصد نسبی صحن نسبت به کل عرصه
مسجد جامع گناباد	مسجد جامع افین	مسجد جامع طبس	مسجد جامع قاین	نام مسجد
				پلان
۱-۱،۳	۱-۱	۱-۱،۳	۱-۱،۲	تناسبات صحن

درصد نسبی صحن نسبت به کل عرصه	۲۳	۳۷	۴۰	۴۸
نام مسجد	مسجد جامع تابران توس	مسجد جامع نیشابور	مسجد مرندیز	مسجد جامع سنگان
نتیجه گیری	تناسبات شکلی فضای باز			
		a > b	a = b	a < b

وجود فضای باز در مساجد معاصر نیز امری ضروری به شمار می‌رود. درصد مساحت فضای باز به مساحت کل در مسجدالنبی را می‌توان ۱۰۰ درصد در نظر گرفت. این نسبت در مساجد سنتی خراسان، طبق تحلیل‌های صورت گرفته، بین ۲۰ تا ۵۰ درصد است.

با توجه به اینکه ارائه الگو در این پژوهش بر مبنای مسجد در سطح ناحیه و منطقه است، حداقل مساحت عرصه برای مساجد ناحیه‌ای ۱۰۰۰ مترمربع و برای مساجد منطقه‌ای ۲۰۰۰ مترمربع در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، عرصه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع که کمترین میزان مساحت مسجد در سطح ناحیه است، مبنای قرار گرفته است. به‌طور کلی، درصد سطح اشغال در چهار شهر مورد مطالعه تقریباً ۶۰ درصد زمین است و با توجه به تبصره‌های مختلف شهرداری، محدودیت سطح اشغال برای مساجد وجود ندارد. نظر به اینکه درصد فضای باز در مساجد سنتی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد بوده، مناسب‌ترین درصد مساحت فضای باز به کل مساحت عرصه از منظر آسایش حرارتی، از طریق شبیه‌سازی بررسی شد. بر این اساس، برای قطعه ۱۰۰۰ متری مفروض، ۲۰ تا ۵۰ درصد مساحت به حیاط اختصاص داده شد و چهار مدل با درصدهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد مساحت فضای باز به مساحت کل در نظر گرفته شد. جدول ۵، مدل‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار ENVI-met 4 را برای شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و طبس نشان می‌دهد.

در معماری مساجد سنتی، صحن مسجد یا به عبارتی حیاط مرکزی آن با چهار جداره محصور است. ارتفاع چهار جداره نه تنها یکسان نبود بلکه در صورتی که ایوانی در جداره‌ای قرار می‌گرفت، ارتفاع آن معمولاً ۲ یا ۳ برابر دیوارهای دو سمت دیگر بود. در مساجد دیواری که در جهت قبله قرار داشت، معمولاً بلندتر از سه جهت دیگر بود. در معماری سنتی نسبت ارتفاع ایوان به عرض صحن کمتر از ۱ است و نسبت ارتفاع جداره رواق‌ها به عرض و طول ایوان کمتر ۰٫۵ است.

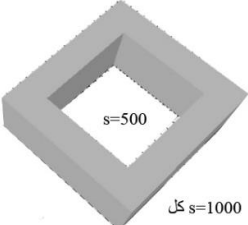
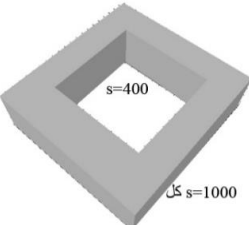
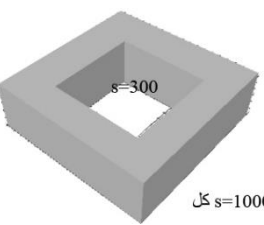
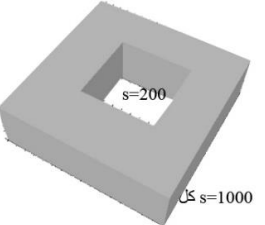
یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج پژوهش پیشین، پلان با هندسه مربع برای شهر قوچان، صحن مستطیل‌شکل با کشیدگی در راستای قبله برای شهر مشهد، پلان مستطیل‌شکل عمود بر جهت قبله برای شهر سبزوار و صحن مستطیل‌شکل با کشیدگی در راستای قبله برای شهر طبس، بهینه‌ترین هندسه پلان بوده‌اند ([Mousavi, Hamzenejad and Zamani, 2023: 91](#)). بر این اساس، مدل‌سازی تناسبات صحن با تکیه بر این هندسه‌ها انجام شد. از آن‌جا که پژوهش حاضر در پی ارائه الگوی بهینه برای معماری مساجد معاصر است، تلاش شده فرآیند شبیه‌سازی نمونه‌ها تا حد امکان به واقعیت نزدیک باشد.

۱) بررسی مساحت فضای باز مساجد

با استناد به کالبد معماری مسجدالنبی که از صحن و سایبانی کوچک تشکیل شده بود و نیز مساجد دوران سنت که در آن‌ها حضور صحن و عبادت در آن اصالت داشت،

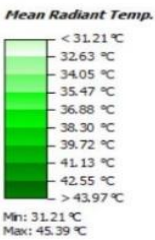
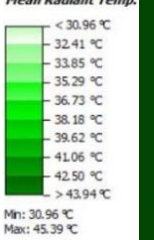
جدول ۵- مدل‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI MENT4 بر اساس مساحت‌های ۲۰ تا ۵۰ درصد از ۱۰۰۰ متر کل عرصه

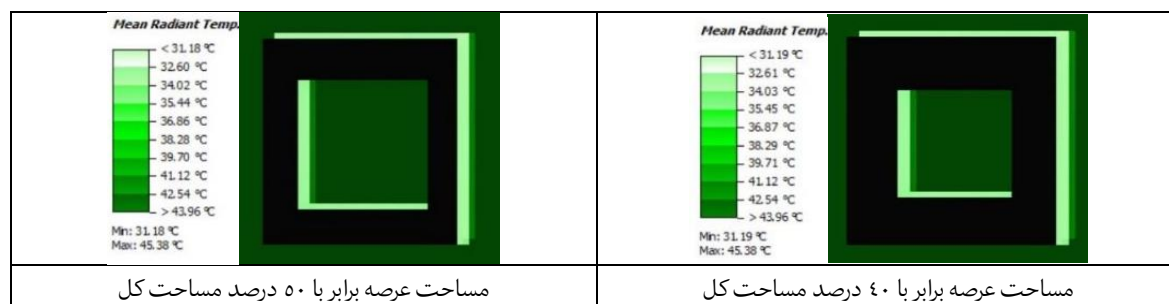
۵۰ درصد مساحت کل	۴۰ درصد مساحت کل	۳۰ درصد مساحت کل	۲۰ درصد مساحت کل
گزینه اول (مساحت عرصه برابر با ۵۰ درصد مساحت کل)	گزینه دوم (مساحت عرصه برابر با ۴۰ درصد مساحت کل)	گزینه سوم (مساحت عرصه برابر با ۳۰ درصد مساحت کل)	گزینه چهارم (مساحت عرصه برابر با ۲۰ درصد مساحت کل)
			
۵۰۰ متر	۴۰۰ متر	۳۰۰ متر	۲۰۰ متر

تأثیر مساحت صحن بر میزان آسایش حرارتی فضای باز مسجد در شهر قوچان: همان‌گونه که بیان شد، در فرآیند شبیه‌سازی از درصدهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ استفاده گردید. در تحلیل آماری داده‌های خروجی از نرم‌افزار ENVI-met 4 برای تعیین درصد بهینه، تفاوت قابل‌توجهی در میزان دمای هوای این درصدها مشاهده نشد و تنها ۰٫۰۲ درجه اختلاف میان بیشترین و کمترین مقدار وجود دارد. در میزان میانگین دمای تابشی (Tmrt)، اختلافی معادل ۰٫۲۲ درجه میان نمونه ۲۰ درصدی و ۵۰ درصدی دیده می‌شود. در ساعات اولیه صبح (۶ تا ۸ صبح)، نمونه ۵۰ درصدی به دلیل داشتن ضریب دید به آسمان بیشتر، میزان تابش بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دریافت می‌کند؛ اما در ادامه روز، با توجه به ارتفاع ساختمان و ارتفاع خورشید، مجموع تابش

مستقیم و غیرمستقیم نمونه‌ها تقریباً برابر است و تنها در برخی ساعات، مقدار Tmrt نمونه ۵۰ درصدی اندکی بیشتر از سایر نمونه‌هاست. از ساعت ۱۸:۰۰ به بعد، به علت کاهش محسوس ارتفاع خورشید و افزایش سطح سایه در حیاط، مقدار میانگین تابشی به سرعت کاهش می‌یابد و در ساعت ۲۰:۰۰ به کمترین مقدار خود در طول روز می‌رسد. با توجه به عدم تفاوت چشمگیر در میزان میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۲۰ تا ۴۰ درصد، نمونه ۴۰ درصدی به دلیل برخورداری از مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها، به‌عنوان درصد مناسب برای ادامه شبیه‌سازی انتخاب گردید. جدول ۶- اطلاعات خروجی از نرم افزار انویمنت، نمایش میانگین دمای تابشی در قوچان ارائه شده است.

جدول ۶- اطلاعات خروجی از نرم افزار انویمنت، نمایش میانگین دمای تابشی در شهر قوچان

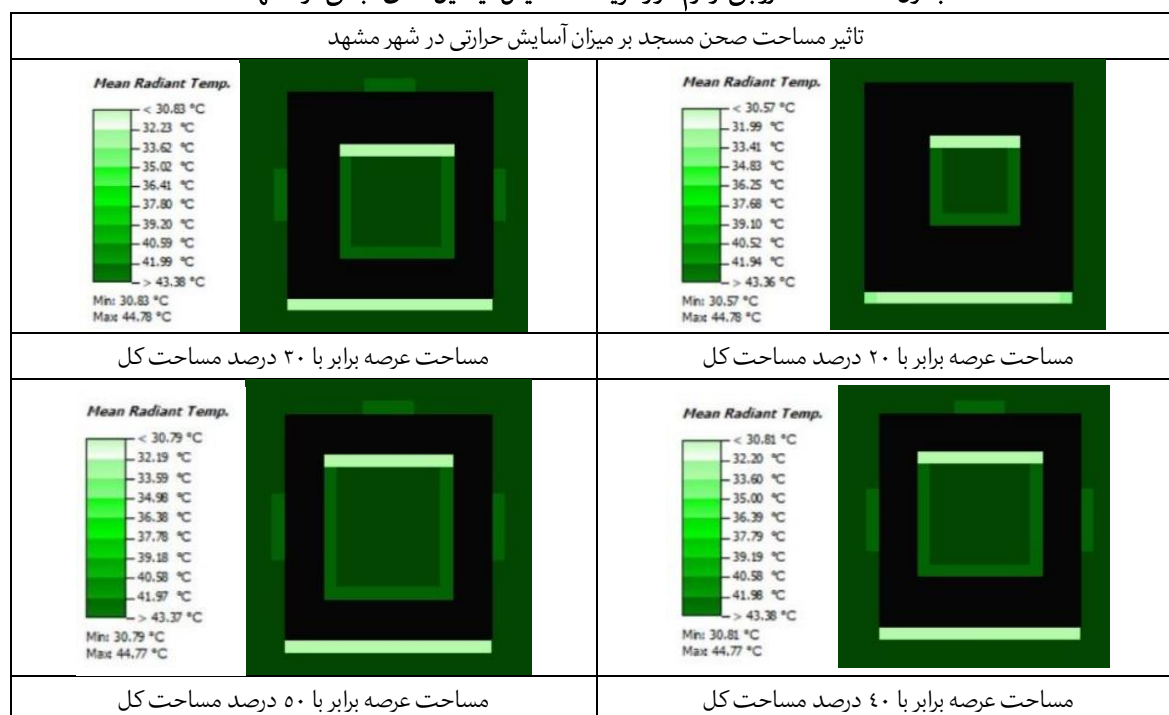
تأثیر مساحت صحن مسجد بر میزان آسایش حرارتی در شهر قوچان	
	
مساحت عرصه برابر با ۳۰ درصد مساحت کل	مساحت عرصه برابر با ۲۰ درصد مساحت کل



نمونه‌ها تقریباً برابر است و تنها در برخی ساعات، مقدار Tmrt در نمونه ۵۰ درصدی اندکی بیشتر از سایر نمونه‌هاست. از ساعت ۱۸:۰۰ به بعد، به علت کاهش محسوس ارتفاع خورشید و افزایش سطح سایه در حیاط، مقدار میانگین تابشی به سرعت کاهش می‌یابد و در ساعت ۲۰:۰۰ به کمترین مقدار خود در طول روز می‌رسد. با توجه به عدم تفاوت چشمگیر در میزان میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۲۰ تا ۴۰ درصد، نمونه ۴۰ درصدی به دلیل برخورداری از مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها، به‌عنوان درصد مناسب برای ادامه شبیه‌سازی انتخاب گردید.

تأثیر مساحت صحن بر میزان آسایش حرارتی فضای باز مسجد در شهر مشهد: در تحلیل آماری داده‌های خروجی از نرم‌افزار ENVI-met 4 برای تعیین درصد بهینه در این اقلیم، تفاوت قابل‌توجهی در میزان دمای هوای درصدهای مختلف مشاهده نمی‌شود و تنها ۰,۰۱ درجه اختلاف میان بیشترین و کمترین مقدار وجود دارد. در میزان میانگین دمای تابشی، اختلافی معادل ۰,۲۳ درجه میان نمونه ۲۰ درصدی و ۵۰ درصدی دیده می‌شود. در ساعات اولیه صبح (۶ تا ۸ صبح)، نمونه ۵۰ درصدی به دلیل داشتن ضریب دید به آسمان بیشتر، میزان تابش بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دریافت می‌کند؛ اما در ادامه روز، با توجه به ارتفاع ساختمان و ارتفاع خورشید، مجموع تابش مستقیم و غیرمستقیم

جدول ۷- اطلاعات خروجی از نرم‌افزار انویمنت، نمایش میانگین دمای تابشی در مشهد



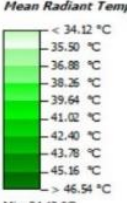
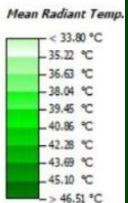
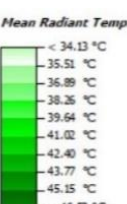
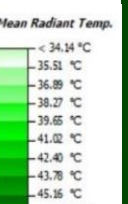
نرم‌افزار ENVI-met 4 برای تعیین درصد بهینه، تفاوت قابل‌توجهی در میزان دمای هوای درصدهای مختلف

تأثیر مساحت صحن بر میزان آسایش حرارتی فضای باز مسجد در شهر سبزوار: در تحلیل آماری داده‌های خروجی از

Tmrt در نمونه ۵۰ درصدی اندکی بیشتر از سایر نمونه‌هاست. در این نمونه نیز، از ساعت ۱۸:۰۰ به بعد مقدار میانگین تابشی کاهش می‌یابد و در ساعت ۲۰:۰۰ به کمترین مقدار خود در طول روز می‌رسد. با توجه به عدم تفاوت چشمگیر در میزان میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۲۰ تا ۵۰ درصد، نمونه ۴۰ درصدی به دلیل برخورداری از مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها، به‌عنوان درصد مناسب برای ادامه شبیه‌سازی انتخاب گردید.

مشاهده نمی‌شود و تنها ۰,۰۳ درجه اختلاف میان بیشترین و کمترین مقدار وجود دارد. در میزان میانگین دمای تابشی، اختلافی معادل ۰,۲۶ درجه میان نمونه ۲۰ درصدی و ۵۰ درصدی دیده می‌شود. در ساعات اولیه صبح (۶ تا ۸ صبح)، نمونه ۵۰ درصدی به دلیل داشتن ضریب دید به آسمان بیشتر، میزان تابش بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دریافت می‌کند؛ اما در ادامه روز، با توجه به ارتفاع ساختمان و ارتفاع خورشید، مجموع تابش مستقیم و غیرمستقیم نمونه‌ها تقریباً برابر است و تنها در برخی ساعات، مقدار

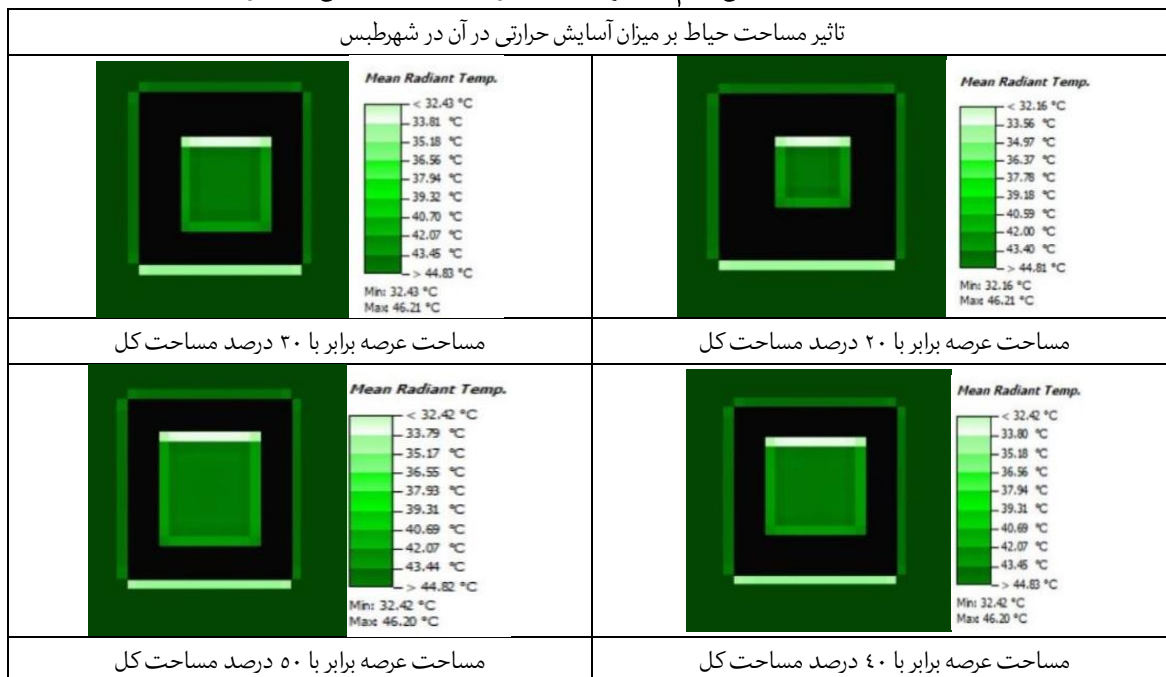
جدول ۸- اطلاعات خروجی از نرم افزار انویمنت، نمایش میانگین دمای تابشی در سبزواری

تأثیر مساحت صحن مسجد بر میزان آسایش حرارتی در شهرسبزواری	
	
مساحت عرصه برابر با ۳۰ درصد مساحت کل	مساحت عرصه برابر با ۲۰ درصد مساحت کل
	
مساحت عرصه برابر با ۵۰ درصد مساحت کل	مساحت عرصه برابر با ۴۰ درصد مساحت کل

می‌کند، اما در ادامه روز با توجه به ارتفاع ساختمان و ارتفاع خورشید میزان مجموع تابش مستقیم و غیرمستقیم نمونه‌ها تقریباً برابر است و در برخی از ساعات روز اندکی مقدار Tmrt نمونه ۵۰ درصدی از سایر نمونه‌ها بیشتر است. از ساعت ۱۸:۰۰ مقدار میانگین تابشی کاهش یافته و در ساعت ۲۰:۰۰ به کمترین مقدار می‌رسد. با توجه عدم تفاوت زیاد در میزان میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۲۰ تا ۴۰ درصدی، نمونه ۴۰ درصدی با توجه به میزان مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها به‌عنوان درصد مناسب جهت ادامه شبیه‌سازی انتخاب گردید.

تأثیر مساحت صحن بر میزان آسایش حرارتی در آن در شهر طبس: در این شهر نیز، در تحلیل آماری اطلاعات خروجی از نرم افزار ENVI MENT4 در بخش تعیین درصد بهینه تفاوت زیادی در میزان دمای هوای این درصدها مشاهده نمی‌شود و تنها اختلاف ۰,۰۳ درجه‌ای میان بیشترین و کمترین مقدار وجود دارد. در مقدار میانگین دمای تابشی اختلاف ۰,۳۰ درجه‌ای میان نمونه ۲۰ درصدی و ۵۰ درصدی وجود دارد. در ساعات اولیه صبح (۶-۸ صبح)، نمونه ۵۰ درصدی به علت داشتن ضریب دید به آسمان ۱۴ بیشتر میزان تابش بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دریافت

جدول ۹- اطلاعات خروجی از نرم افزار انویمنت، نمایش میانگین دمای تابشی در طبس



کافی در جهت تابش آفتاب کشیده باشد. حیاط‌های باریک و بلند در اقلیم‌های گرم و خشک نیز ممکن است مفید واقع شوند، زیرا در این اقلیم سایه مطلوب است و جداره‌های بلند آن‌ها مانع نفوذ گردوغبار می‌شوند. بر این اساس، تناسبات ارتفاع به عرض فضای باز مساجد تأثیر چشمگیری بر آسایش حرارتی دارد. ازاین‌رو، شاخص آسایش حرارتی PMV که مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی را یکجا در نظر می‌گیرد و نتیجه‌ای کلی ارائه می‌دهد، به کار گرفته شد و تناسبات مساجد خراسان بزرگ طبق جدول ۱۰ بررسی گردید. در ابتدا، بر اساس یافته‌های مستخرج از مساجد سنتی خراسان بزرگ و جدول ۴، بیشترین فراوانی تناسبات به مقادیر ۰٫۲، ۰٫۵، ۱ و ۱٫۴ تعلق دارد. ازاین‌رو، نخست شرایط حرارتی بر پایه این تناسبات سنجیده شد و سپس در هر شهر، با توجه به شرایط غالب صحن، تناسبات جدید مورد ارزیابی قرار گرفت.

به طور کلی گذر زمان بر دریافت انرژی و سایه‌اندازی در طول روز موثر است. ساعت ۱۲ ظهر حرکت خورشید متقارن است و در طول روز هرچه به ظهر نزدیک می‌شود به دلیل این‌که نور خورشید عمودی‌تر می‌تابد میزان سطوح آفتابی بیش‌تر و سطوح سایه‌دار کم‌تر می‌گردد. در ادامه‌ی فرآیند شبیه‌سازی، مساحت صحن ۴۰ درصد عرصه در نظر گرفته شد.

۲) بررسی تناسبات ارتفاع به عرض فضای باز مساجد در ایجاد آسایش حرارتی

حیاط‌های کوچک در اقلیم‌های سرد، باد را بهتر مهار می‌کنند، اما باید به‌اندازه کافی در جهت شمال-جنوب عریض باشند تا آفتاب زمستان به آن‌ها بتابد. بهتر است نسبت عرض به ارتفاع آن‌ها کمتر از ۱ باشد تا باد مهار شود و ارتفاع ضلع جنوبی حیاط نیز کمتر از سایر جداره‌ها در نظر گرفته شود تا تابش آفتاب افزایش یابد؛ یا آنکه حیاط به‌اندازه

جدول ۱۰- مدل‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI MENT4 بر اساس تناسب ارتفاع به عرض مساجد خراسان بزرگ

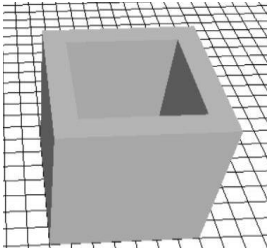
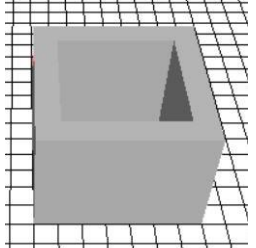
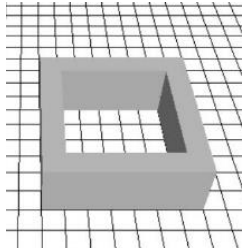
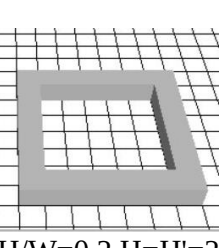
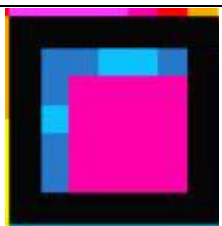
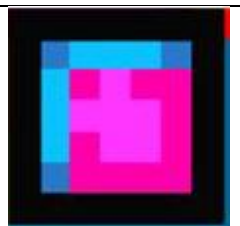
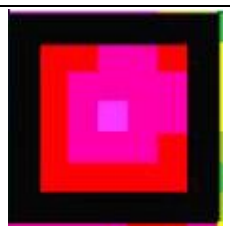
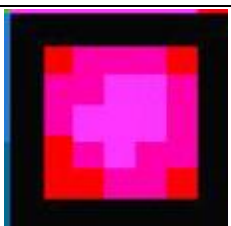
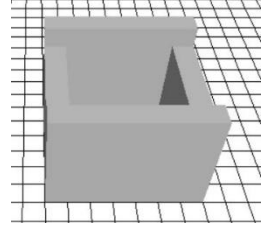
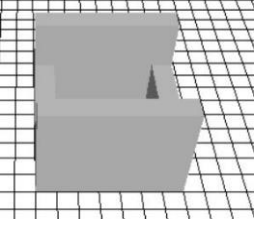
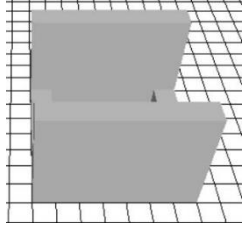
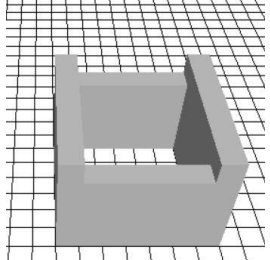
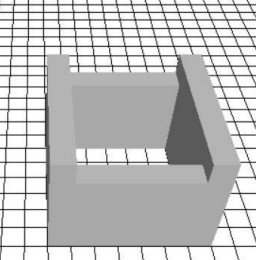
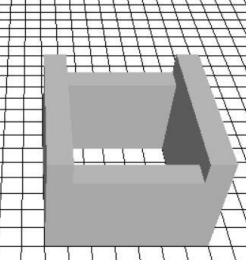
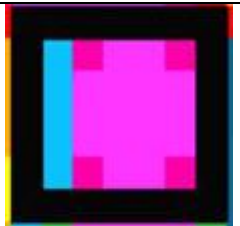
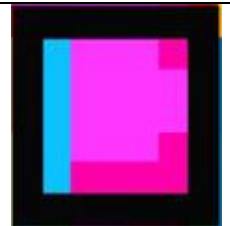
شهر قوچان				
ارتفاع چهار جداره یکسان	۰,۲	۰,۵	۱	۱,۴
ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی متغیر	۰,۲	۰,۵	۰,۸	
شهر مشهد				
ارتفاع چهار جداره یکسان	۰,۲	۰,۵	۱	۱,۴
ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی متغیر	۰,۱۴	۰,۳۵	۰,۷	
شهر سبزوار				
ارتفاع چهار جداره یکسان	۰,۲	۰,۵	۱	۱,۴
ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی متغیر	۰,۱۴	۰,۳۵	۰,۷	
شهر طبس				
ارتفاع چهار جداره یکسان	۰,۲	۰,۵	۱	۱,۴
ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی متغیر	۰,۱۴	۰,۳۵	۰,۷	

نسبت ارتفاع به عرض صحن مسجد در شهر قوچان: طبق

تحلیل داده‌های انرژی، صحن مربع شکل به عنوان فرم بهینه در شهر قوچان شناسایی شد. برای بررسی تأثیر ارتفاع به عرض، ابتدا ارتفاع چهار جداره یکسان در نظر گرفته شد و با نسبت‌های ۰,۲، ۰,۵، ۱ و ۱,۴ مدل‌سازی و تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد که هرچه ارتفاع جداره‌ها کمتر می‌شود، شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش می‌یابد؛ به این معنا که آسایش مخاطب کاهش پیدا می‌کند. در گام بعد، جداره قبله و روبه‌روی آن که معمولاً در مساجد سنتی به دلیل قرارگیری ایوان‌های جنوبی و شمالی مرتفع‌تر است، ثابت فرض شد و نسبت آن به عرض صحن ۱ در نظر گرفته شد؛ زیرا نسبتی بیشتر از این در معماری سنتی مشاهده نشده است. همچنین، نسبت اضلاع شرقی و غربی به صورت متغیر و با مقادیر ۰,۲، ۰,۵ و ۰,۸ در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که با کاهش ارتفاع اضلاع شرقی و غربی، شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش می‌یابد. در گام سوم، ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی ثابت و ارتفاع

جداره‌های شمالی و جنوبی متغیر در نظر گرفته شد. در این گام نیز با کاهش ارتفاع، شاخص PMV افزایش پیدا می‌کند. در میان نمونه‌های تحلیل‌شده، دو مدل $H/W=1.4$ ، $H=8$ ، $H'/W=1$ و $H'=14$ ، $H/W=0.8$ آسایش حرارتی بهتری را نشان می‌دهند. در نمونه نخست، از آن‌جا که ارتفاع بیشتر از عرض است و فرم مربع شکل دارد، دید به آسمان محدود می‌شود. در الگوی سنتی مسجد، همچون مسجدالنبی، ارتفاع جداره متناسب با قد آدمی بوده است؛ چراکه دید به آسمان و ارتباط با طبیعت، اصلی بنیادین در طراحی مسجد به شمار می‌رفته و در معماری سنتی نیز رعایت می‌شده است. در نمونه دوم، ضلع روبه‌قبله کوتاه‌تر است که اگر ارتفاع ضلع جنوبی کمتر باشد، تابش آفتاب در زمستان افزایش یافته و شرایط مطلوب‌تر می‌شود؛ اما این ویژگی در مساجد سنتی برای تأکید بر جهت قبله مرسوم نبوده است. این محدودیت را می‌توان با قرار دادن یک ایوان منفرد در این جداره جبران نمود.

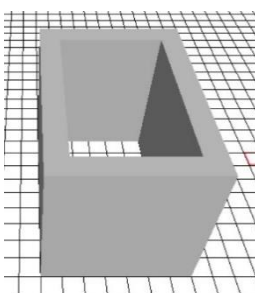
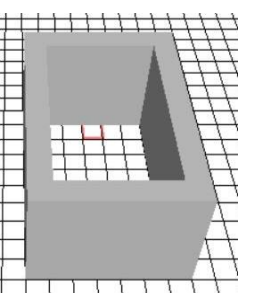
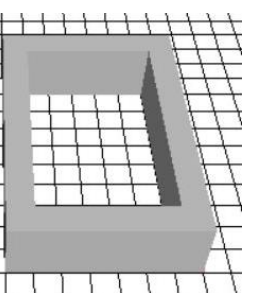
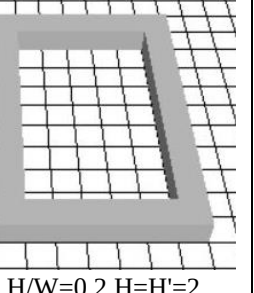
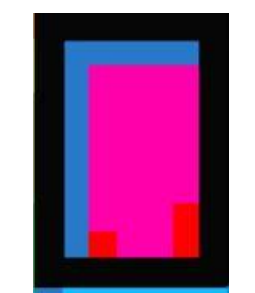
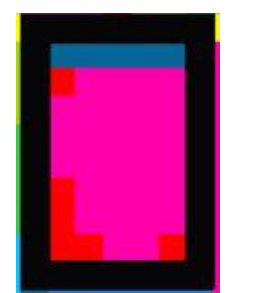
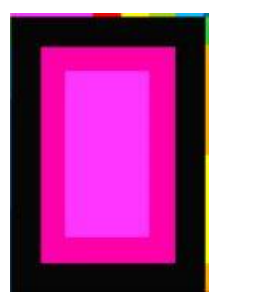
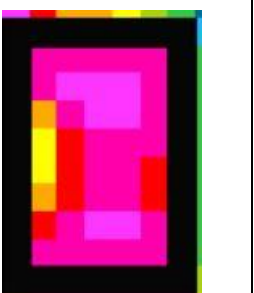
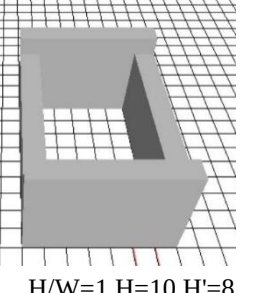
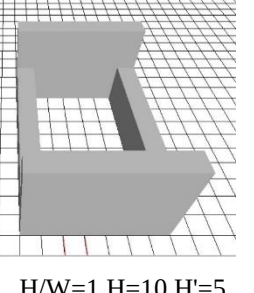
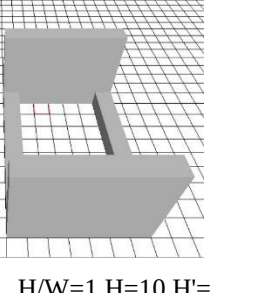
جدول ۱۱- نمایش شاخص PMV نسبت ارتفاع به عرض صحن در نرم افزار ENVI-MET در شهر قوچان

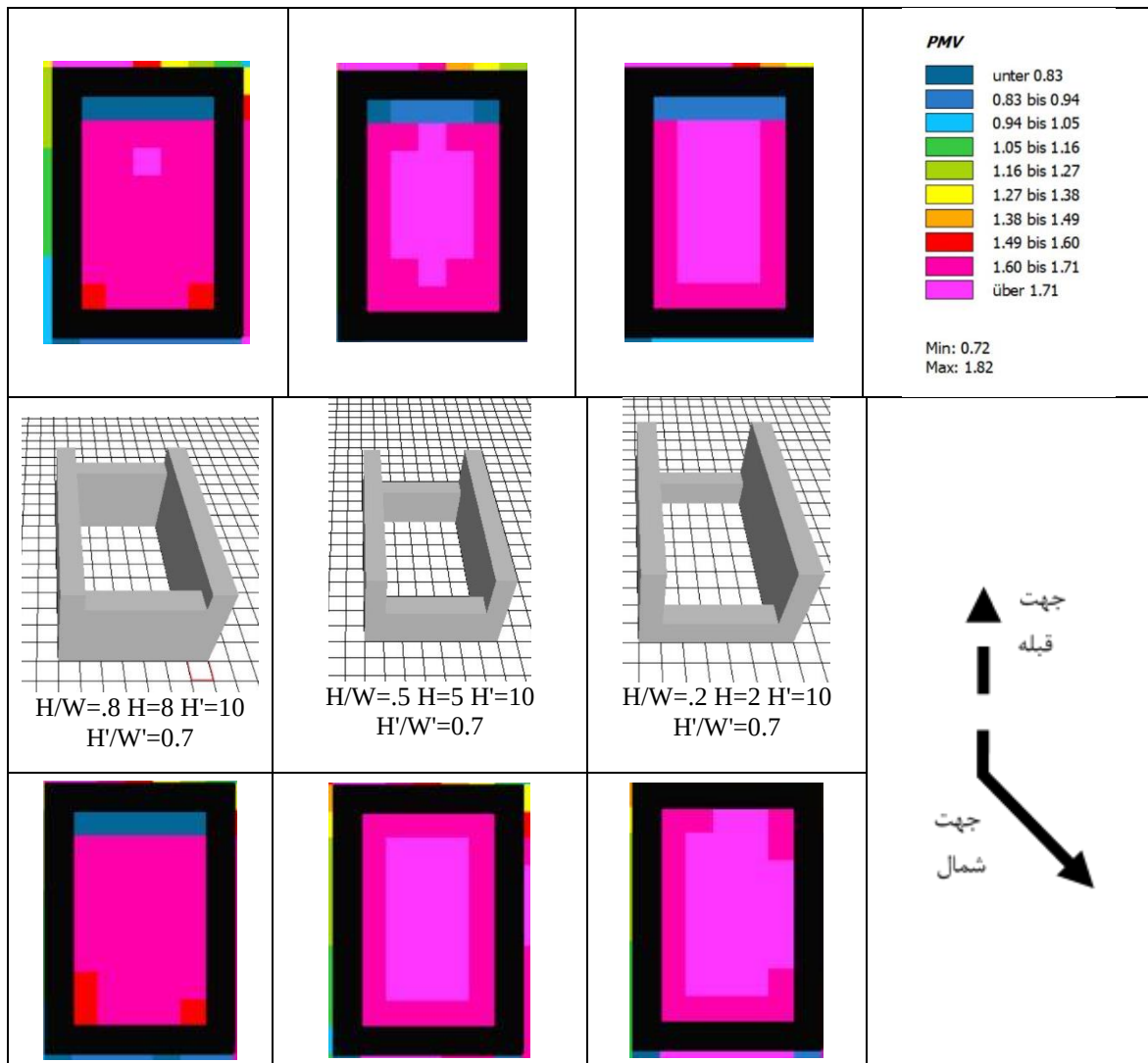
آنالیز نسبت ارتفاع به عرض صحن در شهر قوچان			
 $H/W=1.4 \ H=H'=14$	 $H/W=1 \ H=H'=10$	 $H/W=0.5 \ H=H'=5$	 $H/W=0.2 \ H=H'=2$
			
 $H/W=1 \ H=10 \ H'=8$ $H'/W=0.8$	 $H/W=1 \ H=10 \ H'=5$ $H'/W=0.5$	 $H'=2 \ H/W=1 \ H=10$ $H'/W=0.2$	PMV - unter 1.16 1.16 bis 1.28 1.28 bis 1.39 1.39 bis 1.51 1.51 bis 1.63 1.63 bis 1.75 1.75 bis 1.87 1.87 bis 1.99 1.99 bis 2.11 - über 2.11 Min: 1.04 Max: 2.22
			
 $H'/W=1 \ H=8 \ H'=10$ $H/W=0.8$	 $H'/W=1 \ H=5 \ H'=10$ $H/W=0.5$	 $H'/W=1 \ H=2 \ H'=10$ $H/W=0.2$	جهت قبله جهت شمال
			

نسبت ارتفاع به عرض صحن مسجد در شهر مشهد: طبق تحلیل داده‌های انرژی صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله به عنوان فرم بهینه با عملکرد بهتر در شهر مشهد مشخص گردید. ابتدا ارتفاع چهار جداره یکسان در نظر گرفته شده است و با نسبت‌های ۱،۴ - ۱ - ۰،۵ - ۰،۲ - مدل‌سازی و آنالیز گردید. نتایج نشان دهنده آن است که هر چه ارتفاع جداره‌ها کم‌تر می‌شود، شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش می‌یابد. از همین‌رو، در گام بعد جداره قبله و روبروی آن که معمولاً در مساجد سنتی به خاطر قرارگیری ایوان‌های جنوبی و شمالی مرتفع‌تر است ثابت در نظر گرفته شده است و نسبت آن به عرض صحن ۱ است چرا که نسبت بیشتر در سنت دیده نشده است و همچنین نسبت ضلع شرقی و غربی متغییر در نظر گرفته شده است. نسبت ارتفاع

جداره‌های شرقی و غربی با طول مستطیل ۰،۷ - ۰،۲۵ - ۰،۱۴ است. نتایج بیانگر این موضوع است، که با کاهش ارتفاع ضلع‌های شرقی و غربی شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش پیدا می‌کند. در گام سوم ارتفاع جداره شرقی و غربی ثابت و ارتفاع جداره شمالی و جنوبی متغییر در نظر گرفته شد. در این بخش نیز با کاهش ارتفاع شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش پیدا می‌کند. در شهر مشهد گونه‌های مناسب به ترتیب $H/W=1.4$ $H=H'=14$ $H'/W'=1$ و $H/W=1$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.7$ و $H/W=1$ $H=H'=8$ $H'/W'=0.5$ و $H/W=0.8$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.7$ و $H/W=0.5$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.5$ است. گونه دوم و چهارم از نظر کالبدی شرایط مناسب‌تری برای مسجد دارند.

جدول ۱۲ - نمایش شاخص PMV نسبت ارتفاع به عرض صحن در نرم افزار ENVI-MET در شهر مشهد

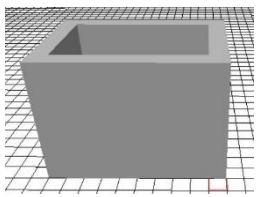
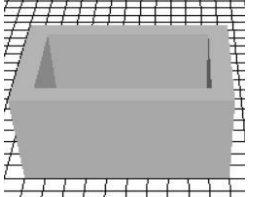
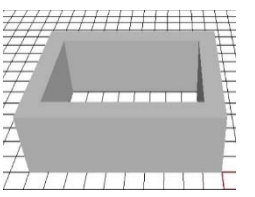
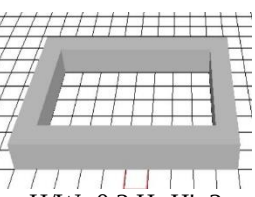
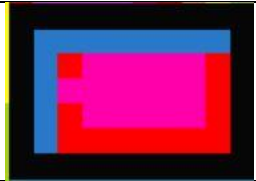
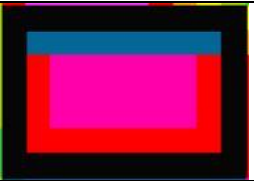
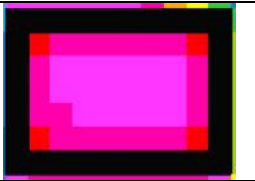
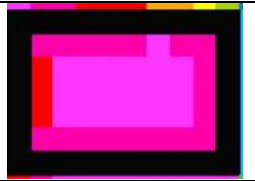
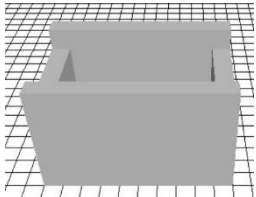
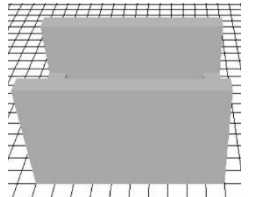
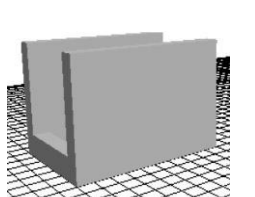
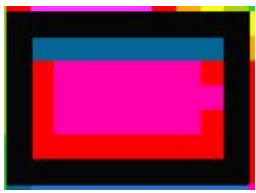
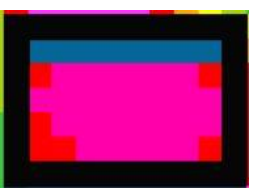
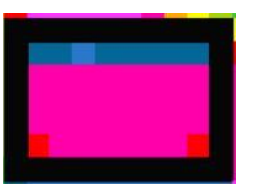
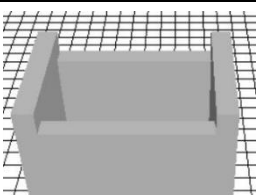
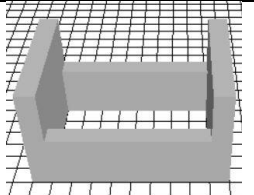
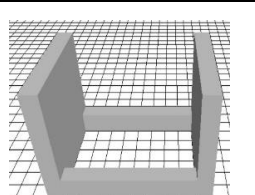
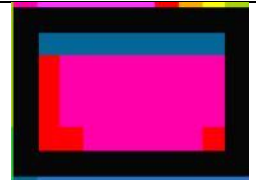
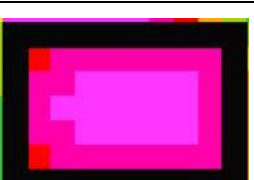
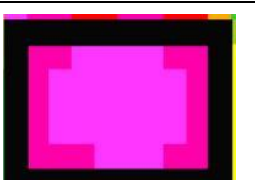
آنالیز نسبت ارتفاع به عرض صحن			
 $H/W=1.4$ $H=H'=14$ $H'/W'=1$	 $H/W=1$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.7$	 $H/W=0.5$ $H=H'=5$ $H'/W'=0.35$	 $H/W=0.2$ $H=H'=2$ $H'/W'=0.14$
			
 $H/W=1$ $H=10$ $H'=8$ $H'/W'=0.5$	 $H/W=1$ $H=10$ $H'=5$ $H'/W'=0.35$	 $H/W=1$ $H=10$ $H'=5$ $H'/W'=0.14$	



کاهش ارتفاع اضلاع شرقی و غربی، شاخص PMV افزایش می‌یابد. در گام سوم، ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی ثابت و ارتفاع جداره‌های شمالی و جنوبی متغیر در نظر گرفته شد. در این بخش نیز با کاهش ارتفاع، شاخص PMV افزایش پیدا می‌کند. در شهر سبزوار، گونه‌های مناسب به ترتیب عبارت‌اند از: $H=H'=14$ ، $H/W=1.4$ ، $H'/W'=1$ ؛ $H=H'=10$ ، $H/W=1$ و $H'/W'=0.7$ ؛ $H=H'=8$ ، $H/W=1$ و $H'/W'=0.5$. به نظر می‌رسد گونه مساجد هم‌خوانی بیشتری دارد؛ چراکه در این الگو، ضلع جنوبی مرتفع‌تر است و برای تأکید بر جهت قبله و قرارگیری ایوان در آن بخش، مناسب‌تر به شمار می‌رود.

نسبت ارتفاع به عرض صحن مسجد در شهر سبزوار: بر اساس داده‌های موجود، صحن مستطیل‌شکل عمود بر جهت قبله، فرم بهینه با تناسبات مناسب در شهر سبزوار شناخته شد. ابتدا ارتفاع چهار جداره یکسان در نظر گرفته شد و با نسبت‌های ۰٫۲، ۰٫۵، ۱ و ۱٫۴ مدل‌سازی و تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد که هرچه ارتفاع جداره‌ها کمتر می‌شود، شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش می‌یابد. در گام بعد، جداره قبله و روبه‌روی آن که معمولاً در مساجد سنتی به دلیل قرارگیری ایوان‌های جنوبی و شمالی مرتفع‌تر است، ثابت در نظر گرفته شد و نسبت آن به عرض صحن ۱ مدل‌سازی گردید. همچنین، نسبت اضلاع شرقی و غربی به‌صورت متغیر و با مقادیر ۰٫۱۴، ۰٫۳۵ و ۰٫۷ نسبت به طول مستطیل در نظر گرفته شد. نتایج بیانگر آن است که با

جدول ۱۳- نمایش شاخص PMV نسبت ارتفاع به عرض صحن در نرم افزار ENVI-MET در شهر سبزوار

آنالیز نسبت ارتفاع به عرض صحن در شهر طبس			
 $H/W=1.4$ $H=H'=14$ $H'/W'=1$	 $H/W=1$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.7$	 $H/W=0.5$ $H=H'=5$ $H'/W'=0.35$	 $H/W=0.2$ $H=H'=2$ $H'/W'=0.14$
			
 $H/W=1$ $H=10$ $H'=8$ $H'/W'=0.5$	 $H/W=1$ $H=10$ $H'=5$ $H'/W'=0.35$	 $H/W=1$ $H=10$ $H'=1$ $H'/W'=0.14$	PMV - unter 2.92 2.92 bis 2.97 2.97 bis 3.02 3.02 bis 3.07 3.07 bis 3.12 3.12 bis 3.17 3.17 bis 3.22 3.22 bis 3.28 3.28 bis 3.33 - über 3.33 Min: 2.87 Max: 3.38
			
 $H/W=0.8$ $H=8$ $H'=10$ $H'/W'=0.7$	 $H/W=0.5$ $H=5$ $H'=10$ $H'/W'=0.7$	 $H/W=0.2$ $H=2$ $H'=10$ $H'/W'=0.7$	
			جهت قبله  جهت شمال

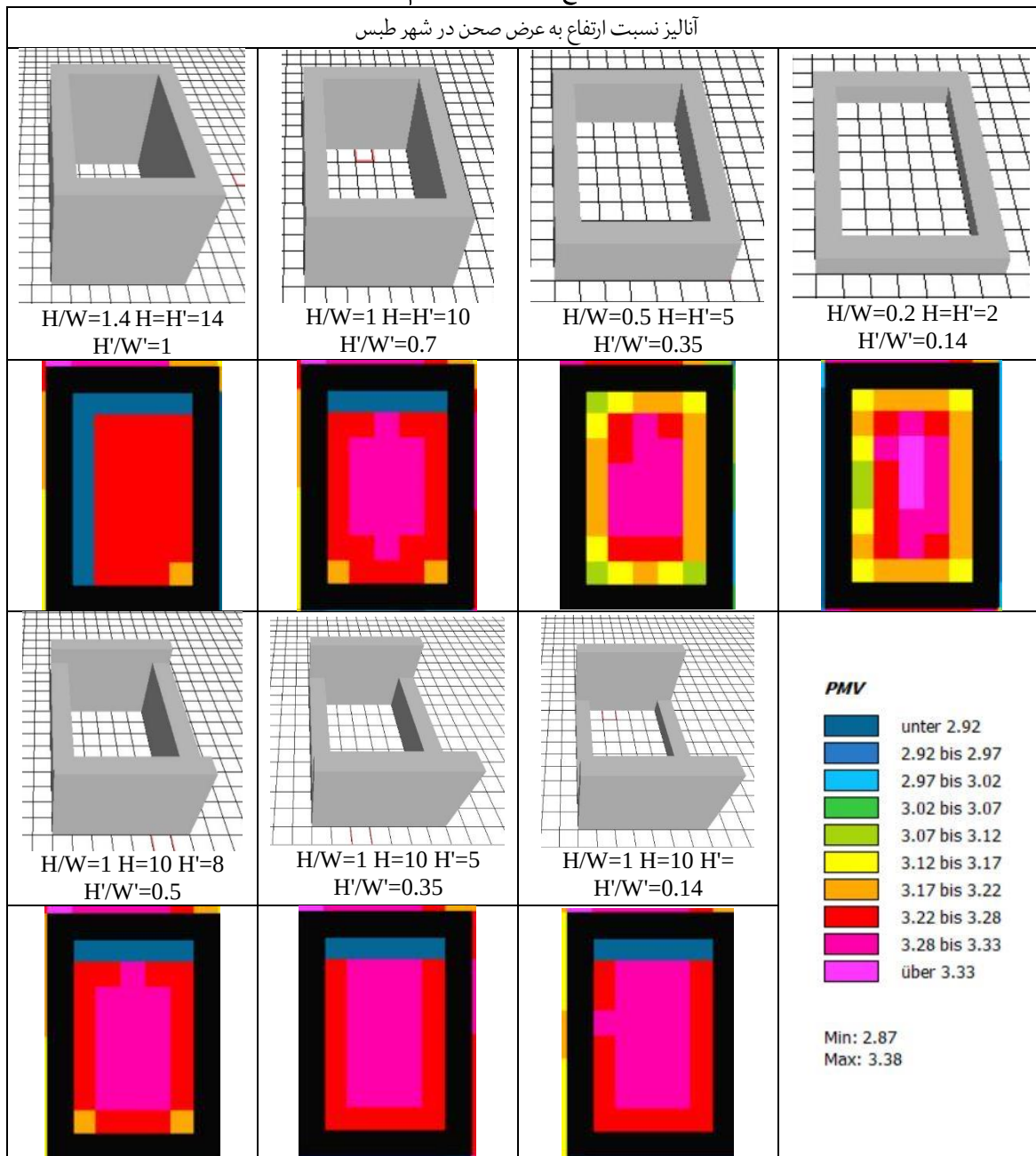
یکسان در نظر گرفته شده و با نسبت‌های ۱،۴ - ۱ - ۰،۵ - ۰،۲ - مدل سازی و آنالیز شده است. نتایج نشان دهنده آن است که هر چه ارتفاع جدارها کمتر می‌شود شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش پیدا می‌کند. در گام بعد

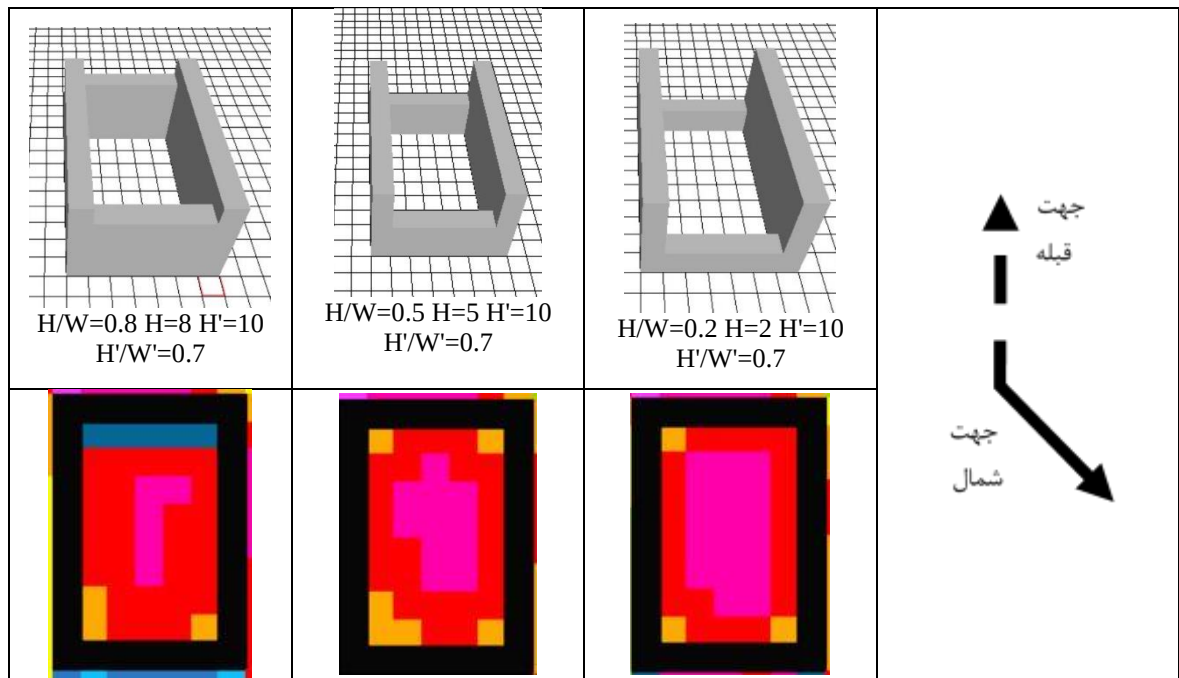
نسبت ارتفاع به عرض صحن مسجد در شهر طبس: بر اساس داده‌های انرژی صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله به عنوان فرم بهینه با عملکرد بهتر در شهر طبس مشخص شد. طبق فرآیند روش تحقیق، ابتدا ارتفاع چهار جداره

افزایش پیدا می‌کند. در گام سوم ارتفاع جداره شرقی و غربی ثابت و ارتفاع جداره شمالی و جنوبی متغییر در نظر گرفته شد. در این بخش نیز با کاهش ارتفاع شاخص آسایش حرارتی PMV افزایش پیدا می‌کند. در شهرطیس گونه‌های مناسب به ترتیب $H=8$ و $H'/W'=1$ $H/W=1.4$ $H=H'=14$ $H'/W'=0.7$ $H/W=1$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.35$ $H/W=0.5$ $H=H'=5$ $H'/W'=0.14$ $H/W=0.2$ $H=H'=2$ $H'/W'=0.14$ است.

جداره قبله و روبروی آن ثابت در نظر گرفته شده است و نسبت آن به عرض صحن ۱ مدل شده است، همچنین نسبت ضلع شرقی و غربی متغییر در نظر گرفته شده است. نسبت ارتفاع جداره‌های شرقی و غربی با طول مستطیل ۰,۷ - ۰,۳۵ - ۰,۱۴ است. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع ضلع‌های شرقی و غربی شاخص آسایش حرارتی PMV

جدول ۱۴- نمایش شاخص PMV نسبت ارتفاع به عرض صحن در نرم افزار ENVI-MET در شهر طیس

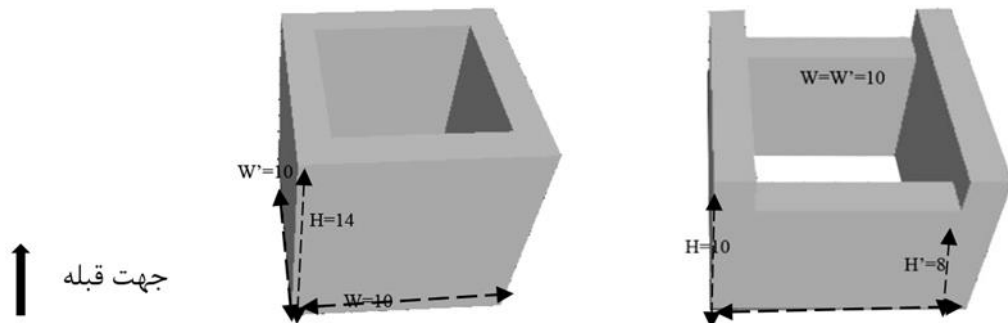




۳) تحلیل آنالیز انرژی

شهر قوچان: در شهر قوچان طبق آنالیز انرژی، پلان مربعی شکل عملکرد بهتری برای حیاط مرکزی و صحن دارد. در این اقلیم از میان ۱۰ نمونه‌ی شبیه‌سازی شده، دومدل

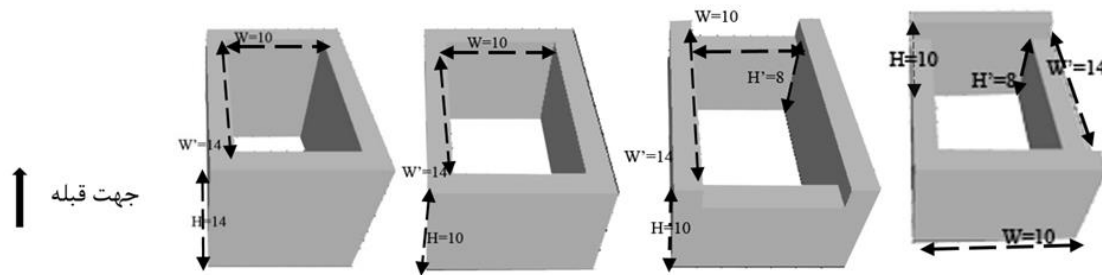
$H'/W=1$ $H=8$ $H'=10$ و $H/W=1.4$ $H=H'=1.4$ $H/W=0.8$ آسایش حرارتی بیشتری رو نمایش دادند. همچنین درصد بهینه مساحت صحن مسجد در شهر قوچان ۴۰ درصد است.



تصویر ۱- نمایش صحن با عملکرد مناسب‌تر در شهر قوچان، شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI-ment 4

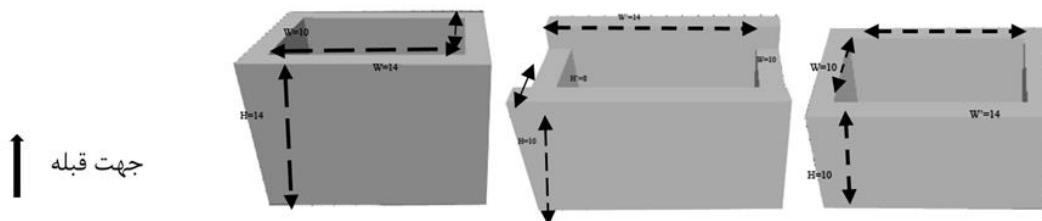
است. همچنین درصد بهینه مساحت صحن مسجد به عرصه ۴۰ درصد است.

شهر مشهد: در شهر مشهد پلان مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله عملکرد بهتری برای حیاط مرکزی و صحن دارد. در شهر مشهد گونه‌های مناسب صحن از نظر ارتفاع به ترتیب $H/W=1$ و $H=H'=14$ $H/W=1.4$ $H'/W'=1$ و $H=8$ $H'=10$ $H/W=.8$ و $H=H'=10$ $H'/W'=.7$ و $H/W=1$ $H=10$ $H'=8$ $H'/W'=.5$ و $H'/W'=.7$



تصویر ۲- نمایش صحن با عملکرد مناسب‌تر در شهر مشهد، شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI-ment 4

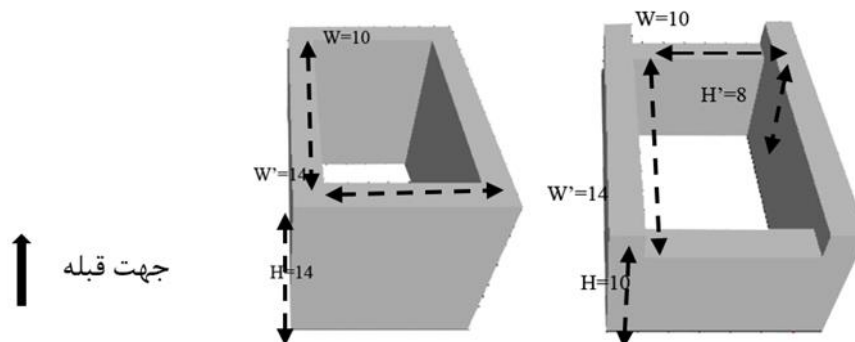
شهر سبزوار: حیاط مستطیل شکل عمود بر جهت قبله به عنوان فرم با تناسبات بهتر در شهر سبزوار است. در شهر سبزوار گونه‌های مناسب برای صحن به ترتیب $H=H'=14$ $H/W=1.4$ $H'/W'=1$ و $H/W=1$ $H=H'=10$ $H'/W'=0.7$ و $H/W=1$ $H=10$ $H'=8$ $H'/W'=0.5$ است. هم‌چنین درصد بهینه در این شهر ۴۰ درصد است.



تصویر ۳- نمایش صحن با عملکرد مناسب‌تر در شهر سبزوار، شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI-ment 4

$H=8$ $H'=10$ $H/W=0.8$ و $H'/W'=1$ $H/W=1.4$ $H'/W'=0.7$ است. هم‌چنین درصد بهینه مساحت عرصه مسجد در این شهر ۴۰ درصد است.

شهر طبس: حیاط مستطیل شکل هم راستا با جهت قبله به عنوان فرم با تناسبات بهتر در شهر طبس است. در شهر طبس گونه‌های مناسب به ترتیب $H=H'=14$



تصویر ۴- نمایش صحن با عملکرد مناسب‌تر در شهر طبس، شبیه‌سازی شده در نرم افزار ENVI-ment 4

مختلف می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به اینکه حداقل ارتفاع شبستان ۵ متر است، ارتفاع جداره صحن در تراکم کم ۱۰ متر، در تراکم متوسط ۱۵ متر و در تراکم زیاد ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. عرصه می‌تواند به شکل مربع، مستطیل یا اشکال دیگر باشد و در پیشنهاد الگو سعی شده شکل‌های متنوعی از زمین مد نظر قرار گیرد.

کاربری اصلی مسجد، اعمال عبادی، به‌ویژه نماز است. از این رو، رویکرد اصلی پژوهش بر انطباق حداکثری با این

۴) ارائه الگوی بهینه مساحت و تناسبات صحن در مساجد معاصر خراسان بزرگ

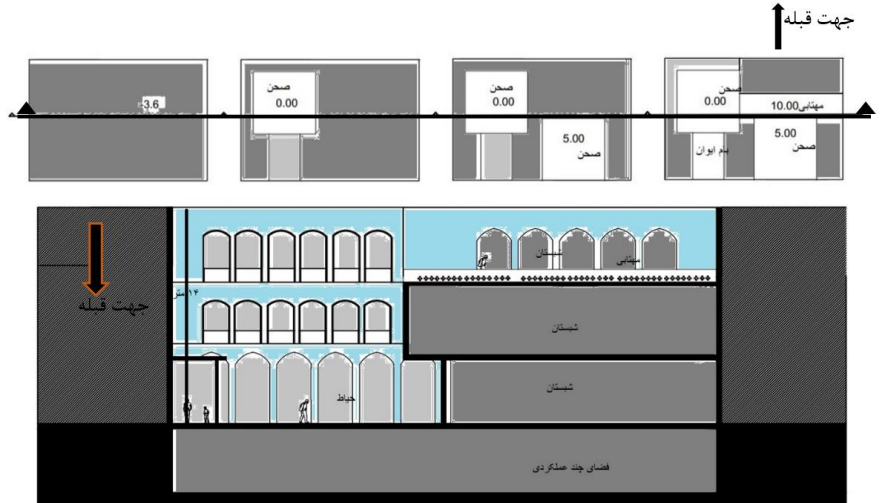
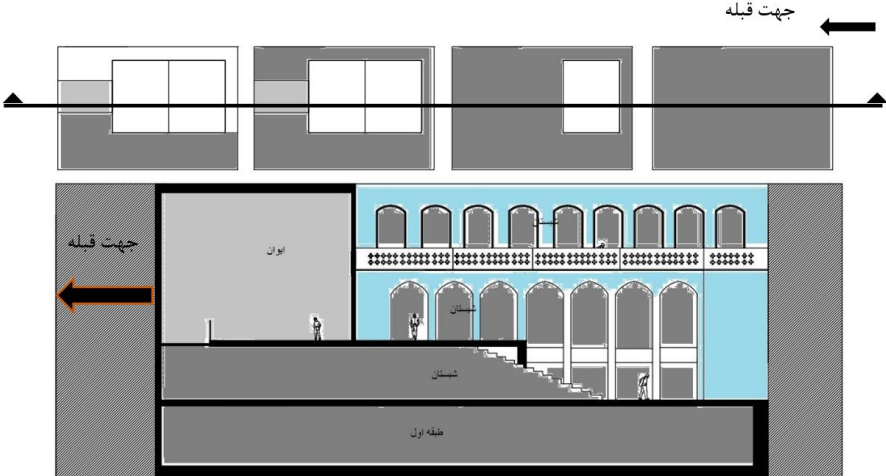
برای ارائه الگو، عرصه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع که کمترین میزان مساحت مسجد در سطح ناحیه است، در نظر گرفته شد. از آنجا که تراکم در مناطق مختلف شهری با یکدیگر متفاوت است، در پیشنهاد الگو تلاش شده سه سطح تراکم کم (۱۲۰ درصد)، متوسط (۱۸۰ درصد) و زیاد (۲۴۰ درصد) لحاظ گردد. البته درصد تراکم در طرح‌های

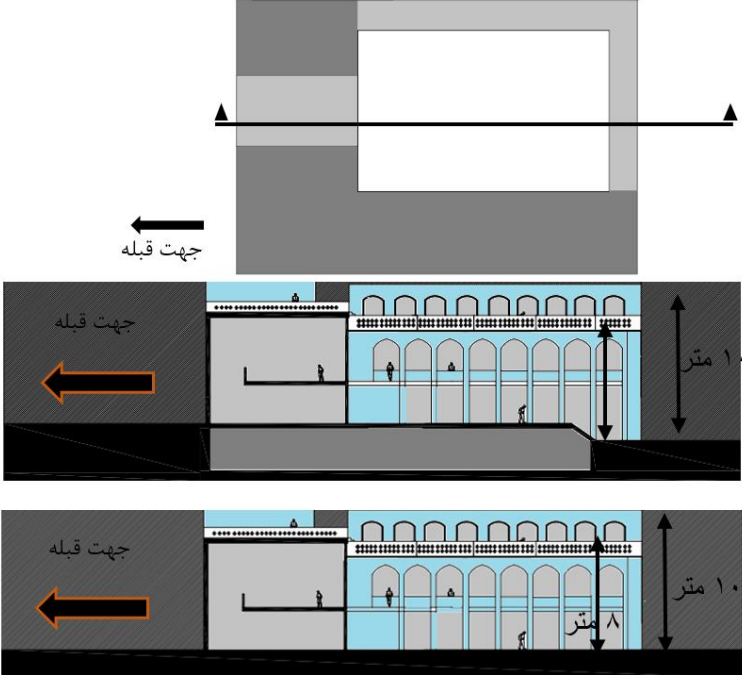
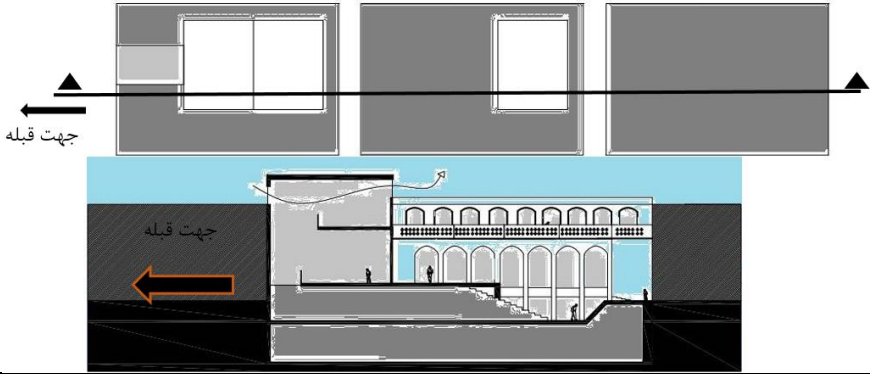
شبستان مسقف نیز گویی از صحن و شبستان روباز تبعیت می‌کند. بر این اساس، در چهار اقلیم مورد پژوهش، از آن‌جا که قرارگیری فضا در داخل زمین از نظر آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی مؤثر است، فضایی وسیع و منعطف در طبقه منفی یک برای انواع فعالیت‌های فرعی در نظر گرفته شده است.

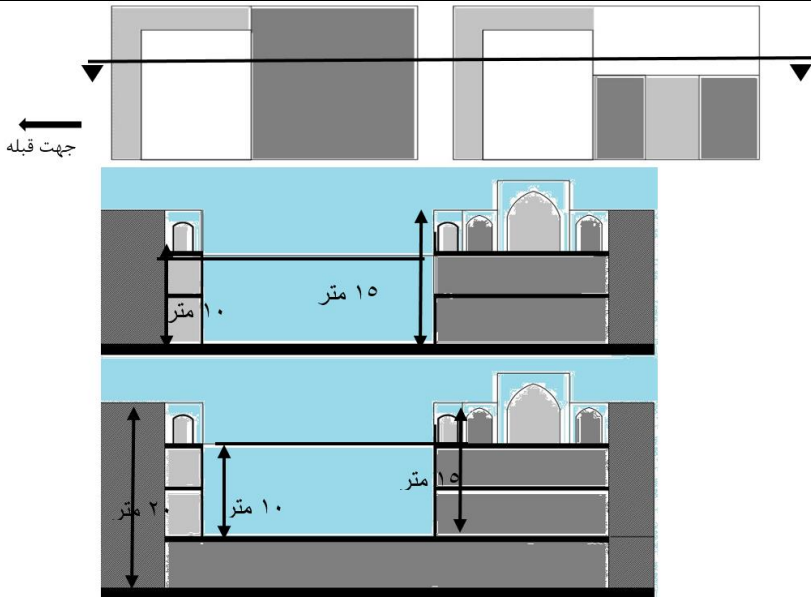
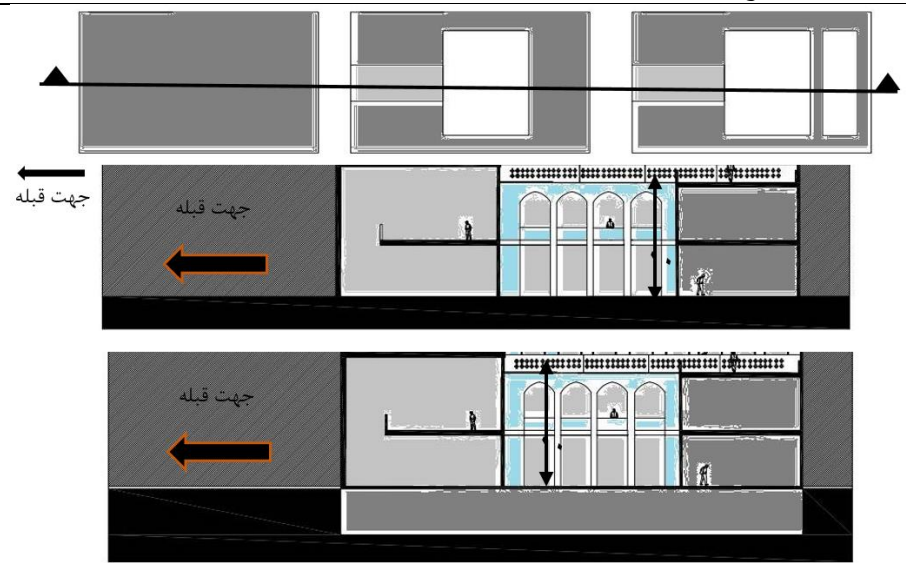
عملکرد اصلی و توجه به نقش‌های آبی آن استوار است. با این حال، از آن‌جا که الگوی ارائه‌شده برای دوران معاصر تدوین می‌شود، وجه غالب طراحی بر مبنای فضای باز و نیمه‌باز شکل گرفته و ایجاد شبستان‌های وسیع و منعطف که امکان انجام انواع فعالیت‌های عبادی، فرهنگی و آموزشی را فراهم می‌آورند، در کانون توجه قرار دارد. تمامی عناصر مسجد خود را با صحن تطبیق می‌دهند، تا آن‌جا که حتی

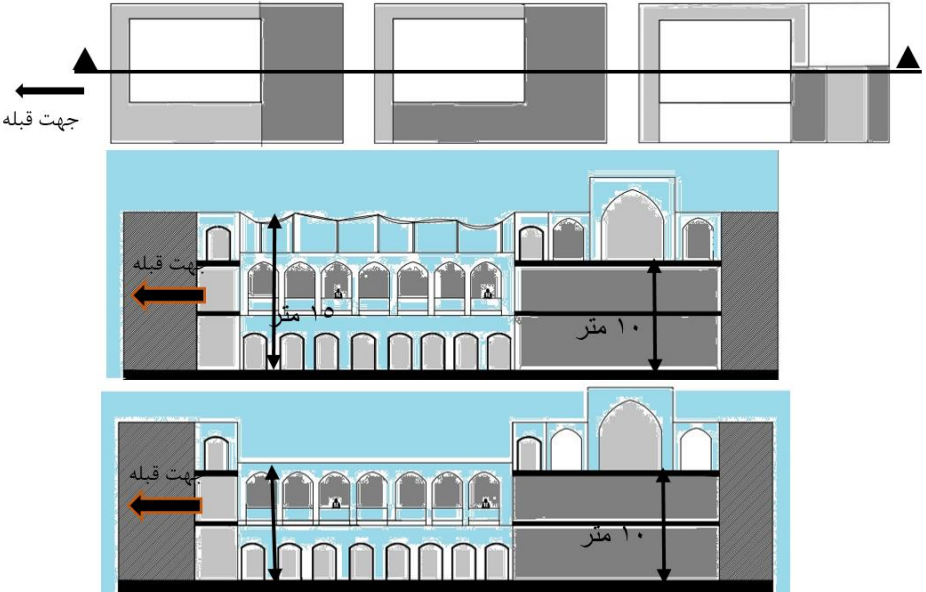
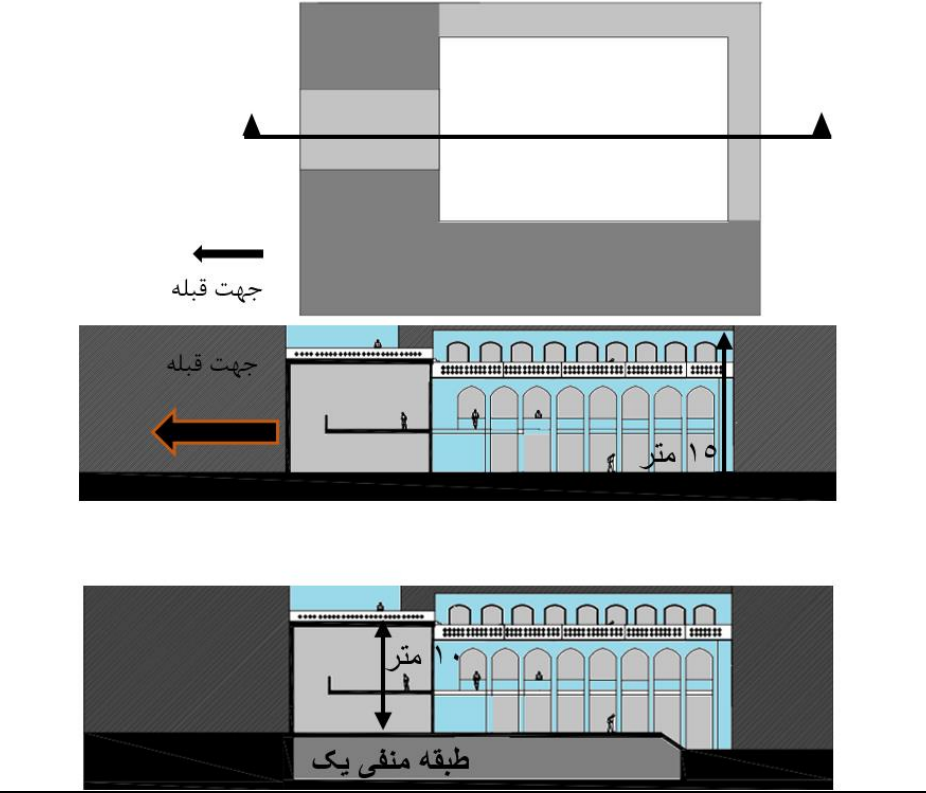
جدول ۱۵- الگوی پیشنهادی مساجد بر اساس صحن و ارتفاع به عرض بهینه

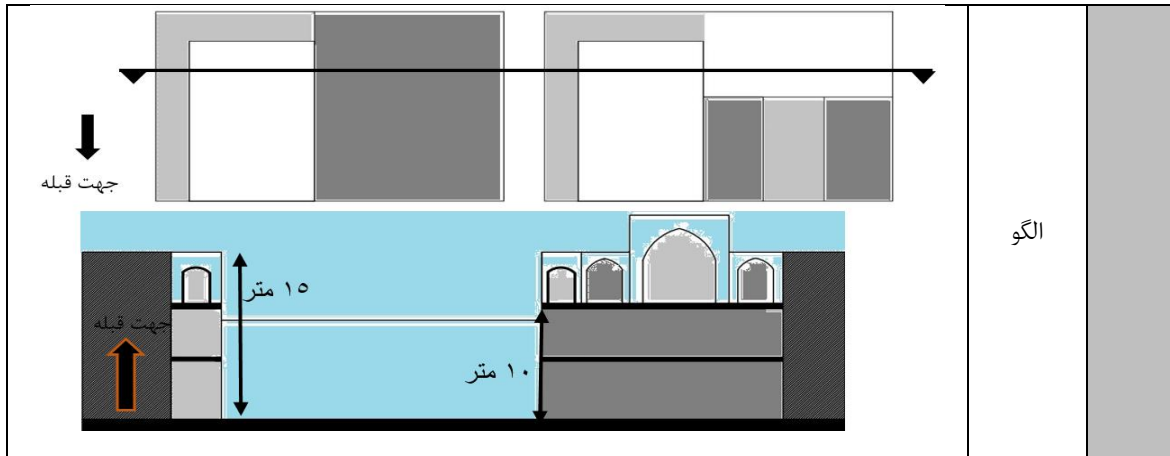
الگو	مشخصات	پیشنهاد الگوی بهینه در شهر قوچان
الگوی اول	توضیحات	زمین مستطیل شکل با ابعاد ۱۰۰۰ متر مربع فرض شده است. در صورتی که مسجد در منطقه کم تراکم باشد، الگو پیشنهادی هم‌چون مساجد دوران سنت یک طبقه و حیاط در سطح همکف قرار می‌گیرد. اما در صورتی که تراکم متوسط و زیاد باشد می‌توان با بردن ایوان و حیاط در طبقات به ارائه الگو پرداخت. حیاط حدود ۲ متر به داخل زمین فرو رفته است، تبادل حرارت میان داخل و خارج بنا و تبادل انرژی کاهش یافته و باعث تعدیل هوا در تابستان و زمستان و ایجاد ارتفاع مناسب، متناسب با شبیه سازی گشته است. در این الگو از صحنی (نمونه دو) استفاده شده است که جبهه جنوبی پایین‌تر از جداره‌های دیگر است. طبق آنالیز بهتر است توده فضا در جبهه جنوب، جنوب‌شرقی و غربی قرار گیرد. طبقه منفی یک برای کاربری مجالس عزاداری، کتابخانه و شبستان زمستانی در نظر گرفته شده است. می‌توان فضای منفی یک را در همکف در نظر گرفت اما در این حالت مسجد در منطقه‌ای با تراکم متوسط قرار می‌گیرد. در این الگو فضای عبادی در تابستان و بهار صحن و ایوان در نظر گرفته شده است.
	الگو	
الگوی دوم	توضیحات	حیاط‌های کوچک در اقلیم‌های سرد باد را بهتر مهار می‌کنند و بهتر است نسبت عرض به ارتفاع آن‌ها کمتر از ۱ باشد. بهتر است ارتفاع ضلع جنوبی حیاط نیز کمتر از سایر جداره‌ها باشد تا تابش آفتاب بیشتر شود یا حیاط به اندازه کافی در جهت تابش آفتاب کشیده باشد. در این الگو تنوع در جهت‌گیری زمین در نظر گرفته شد. بیش‌ترین توده در جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی استفاده شد. کشیدگی زمین در این الگو عمود در جهت قبله است. به جای یک صحن بزرگ از دو صحن برای دو فصل تابستان و زمستان استفاده شده است. صحن ایوان‌دار که در فصل تابستان مورد استفاده قرار می‌گیرد در سطح همکف بر روی سقف طبقه منفی یک قرار گرفته، که ارتفاع جداره به عرض آن بیش از ۱ متر است. صحن دوم در طبقه اول قرار دارد که صحن زمستانی است و ضلع جنوبی آن کم‌تر از سایر جداره‌هاست تا تابش آفتاب بیشتر شود و می‌تواند شبستان نیمه باز رو به جنوب با ارتفاع کم داشته باشد، تا از تابش آفتاب در زمستان استفاده شود. با افزایش طبقات می‌توان از این الگو در تراکم متوسط استفاده شود.

	الگو	
	توضیحات	الگوی پیشنهادی سوم هم‌راستا با قبله است. در این الگو صحن بر بام طبقه اول واقع بوده و در دو سطح اما پیوسته قرار گرفته است. این دو سطح از نظر بصری و فیزیکی با هم در ارتباط‌اند. در این الگو از نمونه اول صحن استفاده شده است. سطح اول دسترسی به شبستانی دارد که متناسب با فصل می‌تواند بسته یا نیمه باز باشد. این الگو در منطقه پر تراکم کاربرد دارد.
الگوی سوم	الگو	
الگو	مشخصات	پیشنهاد الگوی بهینه در شهر مشهد
الگوی اول	توضیحات	الگوی اول برای مناطق کم تراکم و تراکم میانه است. در این الگو هم‌چون مساجد سنتی جداره محصور کننده صحن دو طبقه است. ارتفاع جداره همسایه ۱۰ متر بوده. براساس آنالیز جانمایی فضاها بهتر است توده فضا در جنوب غربی و جنوب شرقی قرار گیرد. در صورتی که نیاز به فضای بسته بیشتری باشد می‌توان یک طبقه در زیر صحن در نظر گرفت. در این اقلیم نیز وجود بخشی از ساختمان داخل زمین باعث کاهش مصرف انرژی و به حداقل رسیدن نوسان دما در طی سال می‌گردد. در این الگو از نمونه سوم صحن استفاده شده است یعنی ضلع قبله ارتفاع کم‌تری دارد.

	الگو	
توضیحات		در الگوی دوم برای ایجاد فضای بسته متنوع در جهت پاسخگویی به کاربری‌های متعدد صحن در دو طبقه قرار گرفته است. از بام جهت ایجاد صحن و مهتابی استفاده شده است. با این روش علاوه بر تامین نور و تهویه طبیعی فضاهای دنج و دلنشینی با عملکردهای متفاوت ایجاد گردیده است. به این ترتیب در این الگو ترکیبی از گودال باغچه، حیاط و مهتابی دیده می‌شود. این الگو برای تراکم بوده و با افزوده شدن یک طبقه به آن حیاط در سطح بالاتری قرار می‌گیرد که می‌توان در تراکم بالا نیز از آن بهره برد. در این الگو جبهه شمالی جنوبی صحن مرتفع‌تر از شرقی غربی است یعنی از نمونه ۴ به عنوان صحن استفاده شده است.
الگوی دوم	الگو	
الگوی سوم	توضیحات	در صورتی که زمین مسجد عمود در راستای قبله باشد در این صورت می‌توان صحن و ایوان را در دو سطح مختلف قرار داد. از این الگو می‌توان در تراکم متوسط و زیاد استفاده کرد. در تراکم متوسط این الگو صحن در همکف قرار گرفته شده و ایوان مهتابی در بام طبقه همکف، صحن بر بام طبقه اول قرار گرفته‌اند.

	الگو	
الگو	مشخصات	پیشنهاد الگوی بهینه در شهر سبزوار
	توضیحات	در این الگو چهار جداره صحن ارتفاع یکسانی داشته و از صحن نمونه ۲ استفاده شده است. با قرارگیری فضا در داخل زمین از خاصیت برودتی زمین استفاده شده است، زیرا هوای داخل زمین در مواقع گرم، خنک‌تر و در مواقع سرد گرم‌تر از سطح زمین است. در صورتی که در منطقه پرتراکم قرار داشته باشد حیاط در بام طبقه اول قرار می‌گیرد و به این ترتیب سایر فضاها یک سطح بالاتر می‌آیند.
الگوی اول	الگو	
الگوی دوم	توضیحات	در صورتی که زمینی مستطیل شکل و عمود بر راستای قبله باشد صحن و ایوان می‌توانند در دو سطح مختلف قرار بگیرند. این الگو می‌تواند در تراکم متوسط و زیاد استفاده شود. در این الگو در طبقه همکف شبستان نیمه باز و بسته صحن را محصور کرده‌اند. طبقه اول از شبستان بسته تشکیل شده است و در بام طبقه اول مهتابی، صحن و ایوان قرار دارد. در این الگو می‌توان از سقف سبک مثل سقف‌های چادری برای پوشش مهتابی استفاده کرد سقف‌های سبکی که نور و جریان باد و... از لایه لای خود عبور دهند.

	الگو	
الگو	مشخصات	پیشنهاد الگوی بهینه در شهر طبس
	توضیحات	شهر طبس و مشهد از نظر الگو پیشنهادی مشابهتهایی با یکدیگر دارند. جداره شرقی و غربی صحن در این اقلیم بهتر است بلندتر از جداره شمالی و جنوبی باشد و یا چهار جداره هم ارتفاع و نسبت ارتفاع به عرض بیش از ۱ باشد. این الگو ترکیبی از حیاط و مهتابی بوده است. در صورتی که در منطقه کم تراکم واقع باشد، چهار جداره محصور کننده صحن هم ارتفاع است.
الگوی اول	الگو	
الگوی دوم	توضیحات	اگر زمین مسجد عمود بر راستای قبله باشد، در این صورت می‌توان صحن و ایوان را در دو سطح مختلف قرار داد. این الگو برای تراکم متوسط استفاده می‌شود. در این الگو صحن در همکف قرار گرفته شده و ایوان مهتابی در بام طبقه همکف قرار گرفته‌اند. در این الگو جبهه شرقی و غربی بلندتر از جبهه شمالی و جنوبی است.



نتیجه‌گیری

آسایش حرارتی همواره یکی از دغدغه‌های اصلی معماران در طول تاریخ بوده است. این موضوع نه تنها در فضای داخل، بلکه در فضای باز نیز مطرح است و حتی آسایش حرارتی در فضای باز بر تعدیل هوای فضای داخل نیز تأثیرگذار می‌باشد. مؤلفه‌های گوناگونی بر آسایش حرارتی در فضای باز اثر می‌گذارند که طبق تحقیقات پیشین شامل جهت‌گیری، هندسه و فرم، نوع مصالح و پوشش گیاهی هستند. در این میان، عواملی دیگر همچون مساحت فضای باز و تناسبات ارتفاع به عرض آن نیز تأثیر چشمگیری دارند. تمام این عوامل زمانی مؤثر واقع می‌شوند که مبتنی بر شرایط اقلیمی و جغرافیایی طرح‌ریزی گردند.

در معماری گذشته ایران، همسازی با اقلیم همواره در تمامی بناها، از خانه‌های مسکونی تا بناهای عام‌المنفعه، مشهود است. معماران سنتی با آگاهی کامل از شرایط اقلیمی، فضاهایی را ایجاد می‌کردند که آسایش ساکنان را فراهم می‌ساخت. مساجد، از جمله مهم‌ترین بناهای مذهبی و تاریخی ایران هستند که جایگاه ویژه‌ای داشته‌اند. خراسان بزرگ به دلیل اهمیت مکانی خود در برهه‌های مختلف تاریخی، همواره مورد توجه بوده و بناهای متعددی، بالخصوص مساجد، در آن ساخته شده است.

مساجد خراسان بزرگ بر مبنای شرایط اقلیمی منطقه برپا شده‌اند و منبعی ارزشمند برای مطالعه به شمار می‌روند. در پژوهش حاضر، با تکیه بر مساجد سنتی این منطقه، مساحت بهینه‌ی صحن و تناسبات ارتفاع به عرض آن‌ها بررسی شد. بر اساس تحلیل‌های حاصل از شبیه‌سازی، مشخص

گردید که درصد بهینه‌ی صحن در هر چهار پهنه اقلیمی ۴۰ درصد عرصه است. تناسبات بهینه عبارت‌اند از: در قوچان، دو مدل $H/W=1.4$ ، $H=H'=14$ و $H'/W=1$ و $H=8$ ، $H'=10$ ، $H/W=0.8$ ؛ در مشهد، به ترتیب $H=H'=14$ ، $H/W=1.4$ ، $H'/W=1$ و $H=8$ ؛ $H'/W=0.7$ ، $H=10$ ، $H/W=0.8$ ؛ در سبزوار، به ترتیب $H=H'=14$ ، $H'/W=0.5$ ، $H=10$ ، $H/W=1$ و $H'/W=0.7$ ؛ در طبس، $H=H'=14$ ، $H/W=1.4$ ، $H'/W=0.5$ و $H=8$ ؛ $H'/W=1$ و $H=10$ ، $H/W=0.8$ ؛ $H=8$ و $H'/W=0.7$ ؛ در نهایت، با توجه به درصد بهینه‌ی صحن و نسبت ارتفاع به عرض مناسب، الگوهایی برای طراحی مساجد معاصر ارائه گردید. پژوهش حاضر گامی در جهت ارائه الگوی مناسب برای مساجد معاصر برداشته است، اما هنوز مسیرهای زیادی برای تعیین حدود دقیق آسایش حرارتی با بهره‌گیری از مساجد سنتی خراسان بزرگ وجود دارد که تحقیقات آینده می‌توانند در این زمینه نتایج ارزشمندی کسب نمایند.

منابع

Abdallah, A. S. H., Hussein, S. W., & Nayel, M. (2020). The impact of outdoor shading strategies on student thermal comfort in open spaces between education building. *Sustainable Cities and Society*, 58, 102124. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102124>

season. *Sustainable Cities and Society*, 32, 153-159.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.024>

Aminzadeh Goharrizi, Behnaz. (1997). The courtyard of the mosque, a review of the historical course and transformation. In *The collection of papers of the mosque architecture conference, past, present, future* (Vol. 1, pp. 30-34). University of Arts, Tehran. **(In Persian).**

[HTTPS://WWW.NOORMAGS.IR/VIEW/A/ARTICLEPAGE/1736073](https://www.noormags.ir/view/A/ARTICLEPAGE/1736073)

Anderson, B. G., & Bell, M. L. (2009). Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 20(2), 205.

<https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318190ee08>

ASHRAE. (2004). Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: Author.

Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2020). Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate. *Journal of Building Engineering*, 30, 101246. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101246>

Atmaca, A. B., Gedik, G. Z., Wagner, A., & Schweiker, M. (2023). Comparison of different thermal comfort models: mosque and church cases. *Architectural Science Review*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2296489>

Amasyali, K., & El-Gohary, N. M. (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1192-1205.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>

Azmi, N. A., Baharun, A., Arıcı, M., & Ibrahim, S. H. (2023). Improving thermal comfort in mosques of hot-humid climates

Aldawoud, A. (2008). Thermal performance of courtyard buildings. *Energy and Buildings*, 40, 906-910.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.07.007>

Aldawoud, A., & Clark, R. (2008). Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. *Energy and Buildings*, 40, 209-214.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.017>

Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Arsalan, H., Mazroei, A., & Rana, M. (2023). Thermal comfort in buildings: Scientometric analysis and systematic review. *Journal of Architectural Engineering*, 29(2).

<https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1490>

Al-Masri, N., & Abu-Hijleh, B. (2012). Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1189-1892.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.008>

Allah, M. Z., Hariri, A., & Kamar, H. M. (2023). Comparison of thermal comfort condition of naturally ventilated courtyard, semi-outdoor and indoor air-conditioned spaces in tropical climate. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 101(1), 45-58.

<https://doi.org/10.37934/arfmts.101.1.4558>

Al-Qami, Abul-Qasim. (1997). *Ghanaim al-Ayyam fi al-Halal and Haram issues* (Vol. 2). Qom: Al-Nashar al-Taabi Publishing Center of Al-Alam al-Islami.

American National Standards Institute. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy (Vol. 55, No. 2004). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Amindeldar, S., Heidari, S., & Khalili, M. (2017). The effect of personal and microclimatic variables on outdoor thermal comfort: A field study in Tehran in cold

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.038>

Canton, M. A., Ganem, C., Gustavo, B., & Jorge, F. L. (2014). Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. *Renewable Energy*, 69, 437–446.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.065>

Chen, X., Xue, P., Liu, L., Gao, L., & Liu, J. (2018). Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area: A longitudinal survey in Harbin, China. *Building and Environment*, 143, 548–560.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.041>

DeKay, M., & Brown, G. Z. (2001). *Sun, wind & light: Architectural design strategies* (2nd ed.). JOHN WILEY & SONS, INC.

Dhariwal, J., Manandhar, P., Bande, L., Marpu, P., Armstrong, P., & Reinhart, C. F. (2019). Evaluating the effectiveness of outdoor evaporative cooling in a hot, arid climate. *Building and Environment*, 150, 281–288.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.016>

Diler, Y., Turhan, C., Arsan, Z. D., & Akkurt, G. G. (2021). Thermal comfort analysis of historical mosques. Case study: The Ulu mosque, Manisa, Turkey. *Energy and Buildings*, 252, 111441.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111441>

Diz-Mellado, E., Galán-Marín, C., & Rivera-Gómez, C. (2020). Adaptive comfort criteria in transitional spaces. A proposal for outdoor comfort. In *Proceedings* (Vol. 38, No. 1, p. 13).

MDPI. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019038013>

Diz-Mellado, E., Nikolopoulou, M., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., & Galán-Marín, C. (2023). Cross-evaluation of thermal comfort in semi-outdoor spaces

through passive and low-energy design strategies. *Frontiers of Architectural Research*, 12(2), 361-385.

<https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.07.001>

Bani Hashemi Khomeini, S. M. H. (1999). Explanation of Al-Masal al-Marajah (Vol. 1). Qom: Islamic. **(In Persian)**.

Behzad, Z., & Guilandoust, A. (2024). Enhancing Outdoor Thermal Comfort in a Historic Site in a Hot Dry Climate (Case study: Naghsh-e-Jahan Square, Isfahan). *Sustainable Cities and Society*, 105209.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105209>

Behzadfar, M. (1997). Mosque architecture and city view. In *The collection of articles of mosque architecture conference; Past, present, future* (Vol. 2, pp 9-34). Esfahan: Art university. **(In Persian)**.

Berkovic, S., Yezioro, A., & Bitan, A. (2012). Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.010>

Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56, 515–535. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>

Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>

Bruse, M. (2009). ENVI-ment website. Retrieved from <http://www.envi-ment.com>

Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., & Ricciardi, P. (2018). A new index combining thermal, acoustic, and visual comfort of moderate environments in temperate climates. *Building and Environment*, 139, 27-37.

Hasehzadeh Haseh, R., Khakzand, M., & Ojaghlo, M. (2018). Optimal thermal characteristics of the courtyard in the hot and arid climate of Isfahan. *Buildings*, 8(12), 166.

<https://doi.org/10.3390/buildings8120166>

Hassan Abdelhafez, M. H. (2012). Ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the hot desert climate. In 33rd AIVC Conference "Optimising Ventilative Cooling and Airtightness for [Nearly] Zero-Energy Buildings, IAQ and Comfort", Denmark.

<https://www.aivc.org/resource/ventilated-courtyard-passive-cooling-strategy-hot-desert-climate?collection=38488>

Heijs, W.J., Oseland, N., & Humphreys, M. (1994). The dependent variable in thermal comfort research some psychological considerations.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:134216182>

Hemmati, S., Zabihi, H., & Kamali, M. (2013). An analysis of the role of mosque courtyards in Islamic cities as an urban space, a case study: Islamic Revolution Hall, Shrine of Hazrat Masoumeh (PBUH) in Qom. *Journal of Studies on Iranian Islamic City*, 14, 43-50. **(in Persian with English abstract)**. <https://sid.ir/paper/177394/fa>

Heydari, A. A., Peyvastegar, Y., & Kiaei, M. (2017). The role of the courtyard in the configuration of the mosque in order to improve functional efficiency by using space syntax. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, 22(3), 91-104. **(in Persian with English abstract)**. <https://doi.org/10.22059/jfaup.2017.64779>

Hojjat, I., & Maleki, M. (2013). Convergence of three basic geometric types and the emergence of Iranian mosque geometry. *Journal of Fine Arts - Architecture and Urbanism*, 17(4), 5-16. **(in Persian with English abstract)**. <https://doi.org/10.22059/JFAUP.2012.36361>

according to geometry in Southern Spain. *Urban Climate*, 49, 101491. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101491>

Du, H., Lian, Z., Lai, D., Duanmu, L., Zhai, Y., Cao, B., ... & Hou, Z. (2022). Evaluation of the accuracy of PMV and its several revised models using the Chinese thermal comfort Database. *Energy and Buildings*, 271, 112334.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112334>

Fabbri, K., Di Nunzio, A., Gaspari, J., Antonini, E., & Boeri, A. (2017). Outdoor Comfort: The ENVI-BUG tool to evaluate PMV values Output Comfort point by point. *Energy Procedia*, 111, 510-519.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112334>

Fang, Z., Feng, X., & Lin, Z. (2017). Investigation of PMV Model for Evaluation of the Outdoor Thermal Comfort. *Procedia Engineering*, 205, 2457-2462.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.973>

Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw Hill. https://scholar.google.com/scholar?hl=fa&as_sdt=0%2C5&q=Thermal+Comfort+%3A+Analysis+and+applications+in+environmental+engineerin.+New+York%2C+McGraw+Hill&btnG=

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 87, 154-168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>

Gonzalez, R. R., Nishi, Y., & Gagge, A. P. (1974). Experimental evaluation of standard effective temperature a new biometeorological index of man's thermal discomfort. *International Journal of Biometeorology*, 18, 1-15. <https://doi.org/10.1007/BF01450660>

- Kenny, N. A., Warland, J. S., Brown, R. D., & Gillespie, T. G. (2009). Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity. *International Journal of Biometeorology*, 53(5), 415–428. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0226-3>
- Kiyani, M. Y. (2006). *History of Iranian Architectural Art in the Islamic Period* (8th ed.). Tehran: Organization for Studying and Compiling Humanities Books of Universities (Samt). **(in Persian)**.
- Kubota, T., & Toe, D. H. C. (2015). Application of passive cooling techniques in vernacular houses to modern urban houses: A case study of Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 179, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.408>
- Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Kondo, E., Horikoshi, T., & Matsubara, N. (2010). Conduction-corrected modified effective temperature as the indices of combined and separate effect of environmental factors on sensational temperature. *Energy and Buildings*, 42(4), 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.012>
- Kwon, J., & Parsons, K. (2009). Evaluation of the PMV thermal comfort index in outdoor weather conditions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics* (pp. 132-136). https://scholar.google.com/scholar?hl=fa&as_sdt=0%2C5&q=Evaluation+of+the+PMV+thermal+comfort+index+in+outdoor+weather+conditions&btnG=
- Lam, C. K. C., Yang, H., Yang, X., Liu, J., Ou, C., Cui, S., ... & Hang, J. (2020). Cross-modal effects of thermal and visual conditions on outdoor thermal and visual comfort perception. *Building and Environment*, 186, 107297. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107297>
- Lau, K. K. L., & Choi, C. Y. (2021). The influence of perceived aesthetic and acoustic Hosseini, S. A. (2007). The investigation of the horizontal expansion of Mashhad city in the last few decades and its impact on water and soil resources (Master's thesis). Faculty of Geography, University of Tehran, 45-48.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Honjo, T. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. *Global Environmental Research*, 13, 43-47. https://www.researchgate.net/publication/228521038_Thermal_Comfort_in_Outdoor_Environment
- Huang, Z., Liu, Y., Pan, C., Wang, Y., Yu, H., & He, W. (2022). Energy-saving effects of yard spaces considering spatiotemporal activity patterns of rural Chinese farm households. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131843. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131843>
- Hussin, A., Salleh, E., Chan, H. Y., & Mat, S. (2016). The reliability of Predicted Mean Vote model predictions in an air-conditioned mosque during daily prayer times in Malaysia. *Architectural Science Review*, 58(1), 67-76. <https://doi.org/10.1080/00038628.2014.976538>
- Kamyabi, S. (2015). Adaptation of the climatic classification system on the architecture of the cities of Razavi Khorasan province. *Land Geography*, 50, 91-105. **(in Persian with English abstract)**. https://journals.srbiau.ac.ir/article_9968.html
- Karimimoshaver, M., & Shahrak, M. S. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103720. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103720>

climates. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104147.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104147>

Manioğlu, G., & Oral, G.K. (2015). Effect of courtyard shape factor on heating and cooling energy loads in hot-dry climatic zone. *Energy Procedia*, 78, 2100–2210.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.250>

Mayer, H., & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 43–49.

<https://doi.org/10.1007/BF00866252>

McQuiston, F., & Spitler, J. (1992). *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. American Society of Heating.

Meshkini, A. (2002). *Miftah al-Jannan*. Tehran: Al-Hadi. **(in Persian)**.

Monteiro, L.M., & Alucci, M.P. (2009). Thermal comfort index for the assessment of outdoor urban spaces in subtropical climates; The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan.

https://scholar.google.com/scholar?hl=fa&as_sdt=0%2C5&q=Thermal+comfort+index+for+the+assessment+of+outdoor+urban+spaces+in+subtropical+climates%3B+The+seventh+International+Conference+on+Urban+Climate%2CYokohama%2C+Japan&btnG=

Muhaisen, A.S., & Mohamed, B.G. (2006). Effect of courtyard proportions on solar heat gain and energy requirement in the temperate climate of Rome. *Building and Environment*, 41(8), 245–253.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.031>

Muhaisen, A. S., & Gadi, B. M. (2005). Mathematical model for calculating the shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry. *Building and Environment*, 40(12), 1619–1625.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.018>

quality on outdoor thermal comfort in urban environment. *Building and Environment*, 206, 108333.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108333>

Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources Conservation and Recycling*, 64, 1–15.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.015>

Li, J., & Liu, N. (2020). The perception, optimization strategies and prospects of outdoor thermal comfort in China: A review. *Building and Environment*, 170, 106614.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106614>

López-Cabeza, V. P., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., Samuelson, H. W., Patricia, V., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C., & López-Cabeza, V. P. (2022). Thermal comfort modelling and empirical validation of predicted air temperature in hot-summer Mediterranean courtyards. *Building and Environment*, 15(1), 39–61.

<https://doi.org/10.1080/19401493.2021.2001571>

López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., Roa-Fernández, J., Hernandez-Valencia, M., & Herrera-Limones, R. (2023). Effect of thermal inertia and natural ventilation on user comfort in courtyards under warm summer conditions. *Building and Environment*, 228, 109812.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109812>

Mahdavinezhad, M.J., Mashayekhi, M., & Bahrami, M. (2015). Mosque design patterns in contemporary architecture. *JRIA*, 2(4), 1–15. **(in Persian with English abstract)**.

<http://jria.iust.ac.ir/article-1-107-en.html>

Mahmoud, R. M. A., & Abdallah, A. S. H. (2022). Assessment of outdoor shading strategies to improve outdoor thermal comfort in school courtyards in hot and arid

- Naghizadeh, M. (2010). *Analysis and Design of Urban Spaces*. Tehran: Culture and Art Research Institute. **(in Persian)**.
- Philokyprou, M., Michael, A., Thravalou, S., & Ioannou, I. (2018). Thermal performance assessment of vernacular residential semi-open spaces in Mediterranean climate. *Indoor and Built Environment*, 27(8), 1050-1068.
<https://doi.org/10.1177/1420326X17699037>
- Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (2018). Review of factors influencing discomfort glare perception from daylight. *Leukos*, 14(3), 111-148.
<https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1428617>
- Pirnia, M. K. (2008). Kiani, Y. (Ed.), *Mosques, architectural complex of Iran, Islamic period*. Tehran: Samit Publications. **(In Persian)**.
- Qomi, Sh. A. (2001). *Kliat Mufatih al-Jannan*. Camera translation. Tehran: Saba.
- Qazavi, R., & Mousavian, S. M. M. (2017). Investigation of climate anomalies using SDSM microscale model in Tabas city. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 8(1), 41-54.
[MAGIRAN.COM/P2475537](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107686)
- Reda, I., AbdelMessih, R. N., Steit, M., & Mina, E. M. (2022). Experimental assessment of thermal comfort and indoor air quality in worship places: The influence of occupancy level and period. *International Journal of Thermal Sciences*, 179, 107686.
- Rene Dalmani, H. (1956). *Travel book from Khorasan to Bakhtiari* (Vol. 1). Tehran: Amir Kabir Publications.
<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107686>
- Sabziparvar, A. K., Mirgaluye Bayat, R., & Qiaemi Shamami, F. (2011). Evaluation of the possible changes in the diurnal temperature difference in some dry climates of the country during the last five decades. *Iranian Journal of Physics Research*, 11(1), 27-37. https://ijpr.iut.ac.ir/article_907.html
- Mousavi, S. M., & Hamzeneja, M. (2019). Typology of traditional mosques of Khorasan (North-Razavi-South) based on open and semi-open space. *Journal of Great Khorasan*, 10(36), 1-18. **(in Persian with English abstract)**.
<https://doi.org/10.1001.1.22516131.1398.9.36.1.0>
- Mousavi, S. M., Hamzenejad, M., & Zamani, M. (2023). Evaluation of the thermal comfort of the outdoor space of the traditional mosques of Khorasan Bozor based on the PMV index (case study: the cities of Qochan, Mashhad, Sabzevar and Tabas). *Haft Hesar Environmental Studies*, 11(44), 77-96. **(in Persian with English abstract)**.
<http://hafthesar.iauha.ac.ir/article-1-1928-fa.html>
- Mushtaha, E., & Helmy, O. (2017). Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: A case study in Sharjah city. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(10), 926-944.
<https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1127234>
- Nagano, K., & Horikoshi, T. (2011a). Development of outdoor thermal index indicating universal and separate effects on human thermal comfort. *International Journal of Biometeorology*, 55, 219-227.
<https://doi.org/10.1007/s00484-010-0327-z>
- Nagano, K., & Horikoshi, T. (2011b). New index indicating the universal and separate effects on human comfort under outdoor and non-uniform thermal conditions. *Energy and Buildings*, 43(7), 1694-1701.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.012>
- Nasrollahi, N., Hatami, M., Khastar, S. R., & Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable Cities and Society*, 35, 449-467.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.017>

- Shohan, A. A. A., & Gadi, M. B. (2020). Evaluation of thermal and energy performance in mosque buildings for current situation (simulation study) in mountainous climate of Abha City. *Sustainability*, 12(10), 4014. <https://doi.org/10.3390/su12104014>
- Soflaei, F., Shokouhian, M., & Zhu, W. (2017). Socio-environmental sustainability in traditional courtyard houses of Iran and China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1147-1169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.130>
- Soflaei, F., Shokouhian, M., Tabadkani, A., Moslehi, H., & Berardi, U. (2020). A simulation-based model for courtyard housing design based on adaptive thermal comfort. *Journal of Building Engineering*, 31, 101335. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101335>
- Song, Y., Li, J., Wang, J., Hao, S., Zhu, N., & Lin, Z. (2015). Multi-criteria approach to passive space design in buildings: Impact of courtyard spaces on public buildings in cold climates. *Building and Environment*, 89, 295-307. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.025>
- Sun, X., Wu, H., & Wu, Y. (2021). Probability mass functions forecasting of occupants' sensation votes under the effects of temperature, illuminance, and sound level based on ANN. *Journal of Building Engineering*, 43, 102882. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102882>
- Szokolay, S. V. (2004, November). Architecture, science and technology. In *The 38th International Conference of Architectural Science Association ANZAScA "Contexts of Architecture"*, Launceston, Tasmania (pp. 10-12). https://scholar.google.com/scholar?hl=fa&as_sdt=0%2C5&q=Architecture%2C+science+and+technology.+In+The+38th+International+Conference+of+Architectural+Science+Association+ANZAScA+%E2%80%9CCo
- Sadafi, N., Salleh, E., Haw, L. C., & Jaafar, Z. (2011). Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation. *Energy and Buildings*, 43, 887-893. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.009>
- Sabeti Ashjaee, Sh., Mehdizadeh Seraj, F., & Faizi, M. (2014). Providing the solutions needed in architecture compatible with the climate in Mashhad city in order to achieve thermal comfort. *Journal of Greater Khorasan*, 5(15), 121-131. **(in Persian with English abstract)**. [20.1001.1.22516131.1393.4.15.6.8](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.009)
- Sahnoun, S., & Benhassine, N. (2023). Winter thermal comfort of a typical courtyard geometry in a semi-arid climate. *Journal of Green Building*, 18(1), 95-117. <https://doi.org/10.3992/jgb.18.1.95>
- Salmani, A., Rahimi, M. H., & Khakzand, M. (2014). Analysis of the importance, priority, and originality of open space in the mosque. *JRIA*, 3(4), 34-48. **(In Persian with English abstract)**. <http://jria.iust.ac.ir/article-1-352-fa.html>
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>
- Sanusi, A. N. Z., Abdullah, F., Azmin, A. K., & Kassim, M. H. (2020). Passive design strategies of colonial mosques in Malaysia. In *Green Buildings and Renewable Energy: Med Green Forum 2019 - Part of World Renewable Energy Congress and Network* (pp. 247-262). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30841-4_18
- Shaterian, R. (2011). *Analysis of the Architecture of Iranian Mosques*. Tehran: Nopardazan Publishing House. **(In Persian)**.

parameters of urban park in summer: A case of Beijing, China. *Energy and Buildings*, 149, 91-100.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.052>

Yaşa, E., & Ok, V. (2014). Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions. *Energy and Buildings*, 73, 192-199.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.042>

Yang, W., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2013). Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. *Building and Environment*, 59, 426-435.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.008>

Yüksel, A., Arıcı, M., Krajčák, M., & Karabay, H. (2020). Experimental investigation of thermal comfort and CO₂ concentration in mosques: A case study in warm temperate climate of Yalova, Turkey. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101809.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101809>

Zinzi, M., & Carnielo, E. (2017). Impact of urban temperatures on energy performance and thermal comfort in residential buildings. The case of Rome, Italy. *Energy and Buildings*, 157, 20-29.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.021>

nxtxts+of+architecture%E2%80%9D%2C+Launceston%2C+Tasmania+&btnG=

Tabadkani, A., Aghasizadeh, S., Banihashemi, S., & Hajirasouli, A. (2022). Courtyard design impact on indoor thermal comfort and utility costs for residential households: Comparative analysis and deep-learning predictive model. *Frontiers of Architectural Research*, 11(5), 963-980.

<https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.02.006>

Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A., & Sailor, D. J. (2014). Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*, 103, 108-124.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033>

Tavasli, M., & Bonyadi, N. (2014). *Urban space design: Urban spaces and their place in the life and appearance of the city*. Tehran: Shahidi. **(In Persian)**.

Vaisman, G., & Horvat, M. (2015). Influence of internal courtyards on the energy load and hours of illuminance in row houses in Toronto. *Energy Procedia*, 78, 1180-1799.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.312>

Wang, Z., Parkinson, T., Li, P., Lin, B., & Hong, T. (2019). The squeaky wheel: Machine learning for anomaly detection in subjective thermal comfort votes. *Building and Environment*, 151, 219-227.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.050>

Wu, R., Fang, X., Brown, R., Liu, S., & Zhao, H. (2023). Establishing a link between complex courtyard spaces and thermal comfort: A major advancement in evidence-based design. *Building and Environment*, 245, 110852.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110852>

Xu, X., Sun, S., Liu, W., García, E. H., He, L., Cai, Q., ... & Zhu, J. (2017). The cooling and energy saving effect of landscape design

