Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering

Thermal Performance Assessment of Brick Lattice Surfaces in the Traditional Architecture of Dezful and Their Impact on Building Energy Consumption

1. Kolsoom Kamkar: Department of Architecture, Ahv.C, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Kourosh Momeni*: Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

3. Akbar Mousaeijoo: Department of Architecture, Ahv.C, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

***Corresponding Author's Email Address: K_Momeni@jsu.ac.ir**

How to Cite: Kamkar, K., Momeni, K., & Mousaeijoo, A. (2025). Thermal Performance Assessment of Brick Lattice Surfaces in the Traditional Architecture of Dezful and Their Impact on Building Energy Consumption. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 4(2), 1-16.

Abstract:

The present study aimed to investigate the thermal performance of brick lattice surfaces derived from the traditional architecture of Dezful and to evaluate the effects of porosity and the distance of these lattice skins from the main façade on reducing thermal load and building energy consumption in a hot semi-arid climate. This study was conducted using a descriptive–analytical approach based on energy simulation. Twelve selected brick lattice patterns extracted from traditional Dezful architecture were categorized according to their porosity and geometric characteristics. The patterns were parametrically modeled using Rhino and Grasshopper software. Climatic and thermal analyses were then performed using the Ladybug plugin and the EPW climatic data file of Dezful city. The lattice surfaces were evaluated at four distances of 10, 20, 30, and 40 cm from the glazed window surface to assess the effect of depth on building energy performance. The primary analytical indicator was total energy consumption expressed in kWh/m². The results demonstrated that increasing the distance between the lattice skin and the main façade improved thermal performance and reduced building energy consumption. The best overall performance was observed at the 40 cm distance, with an average energy consumption of 1164.81 kWh/m², whereas the weakest performance occurred at the 10 cm distance, with an average of 1173.92 kWh/m². Among the analyzed patterns, Pattern No. 5 at the 40 cm distance exhibited the most efficient performance with an energy consumption of 1160.94 kWh/m², while Pattern No. 2 at the 10 cm distance showed the highest energy consumption at 1181.59 kWh/m². The findings further indicated that increasing lattice depth and optimizing porosity significantly contributed to reducing thermal loads, controlling direct solar radiation, and enhancing overall building energy efficiency. The findings indicate that the application of brick lattice surfaces as a secondary façade skin is an effective strategy for reducing heat gain, improving thermal performance, and decreasing energy consumption in buildings located in hot and semi-arid climates. Furthermore, increasing the distance between the lattice skin and the main façade, particularly to approximately 40 cm, can substantially enhance building energy performance and provide a practical model for sustainable contemporary architectural design.

Keywords: Brick lattice surfaces, traditional architecture of Dezful, thermal performance, energy consumption, thermal load, double-skin façade.

Received: 17 January 2026

Revised: 11 May 2026

Accepted: 18 May 2026

Published: 22 June 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

تجلی هنر در معماری و شهرسازی

بررسی عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری موجود در معماری سنتی دزفول و تأثیر آن بر مصرف انرژی ساختمان

۱. کلثوم کامکار: گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. کوروش مومنی*: دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. اکبر موسی ئی جو: گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: K_Momeni@jsu.ac.ir

نحوه استناددهی: کامکار، کلثوم.، مومنی، کوروش.، و موسی ئی جو، اکبر. (۱۴۰۵). بررسی عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری موجود در معماری سنتی دزفول و تأثیر آن بر مصرف انرژی ساختمان. *تجلی هنر در معماری و شهرسازی*، ۴(۲)، ۱۶-۱.

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر بررسی عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری برگرفته از معماری سنتی دزفول و ارزیابی تأثیر میزان تخلخل و فاصله این پوسته‌ها از جداره اصلی بر کاهش بار حرارتی و مصرف انرژی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه‌خشک بود. این پژوهش با رویکرد توصیفی ـ تحلیلی و مبتنی بر شبیه‌سازی انرژی انجام شد. در این راستا، ۱۲ الگوی منتخب از سطوح مشبک آجری موجود در معماری سنتی دزفول استخراج و بر اساس میزان تخلخل و ویژگی‌های هندسی دسته‌بندی شدند. الگوها در نرم‌افزار Rhino و افزونه Grasshopper به‌صورت پارامتریک مدل‌سازی شدند و سپس تحلیل‌های اقلیمی و حرارتی با استفاده از افزونه Ladybug و داده‌های اقلیمی فایل EPW شهر دزفول انجام گرفت. سطوح مشبک در چهار فاصله ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از سطح شیشه‌ای پنجره مورد ارزیابی قرار گرفتند تا تأثیر عمق پوسته بر عملکرد انرژی ساختمان بررسی شود. شاخص اصلی تحلیل، میزان مصرف کل انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع بود. نتایج نشان داد که افزایش فاصله پوسته مشبک از جداره اصلی موجب بهبود عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. بهترین عملکرد کلی مربوط به فاصله ۴۰ سانتی‌متری با میانگین مصرف انرژی ۱۱۶۴/۸۱ کیلووات ساعت بر مترمربع و ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میانگین ۱۱۷۳/۹۲ کیلووات ساعت بر مترمربع بود. در میان الگوهای بررسی‌شده، پوسته شماره ۵ در فاصله ۴۰ سانتی‌متری با مصرف انرژی ۱۱۶۰/۹۴ کیلووات ساعت بر مترمربع مناسب‌ترین عملکرد را نشان داد، در حالی که پوسته شماره ۲ در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با مصرف انرژی ۱۱۸۱/۵۹ کیلووات ساعت بر مترمربع نامناسب‌ترین عملکرد را داشت. همچنین نتایج بیانگر آن بود که افزایش عمق پوسته و تنظیم مناسب میزان تخلخل می‌تواند در کاهش بار حرارتی، کنترل تابش مستقیم خورشید و بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان مؤثر باشد. یافته‌های پژوهش نشان داد که استفاده از سطوح مشبک آجری به‌عنوان پوسته دوم نما، راهکاری مؤثر برای کاهش دریافت حرارت، بهبود عملکرد حرارتی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های واقع در اقلیم گرم و نیمه‌خشک است. همچنین افزایش فاصله پوسته از جداره اصلی، به‌ویژه در حدود ۴۰ سانتی‌متر، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد انرژی ساختمان را ارتقا دهد و الگویی کاربردی برای طراحی معماری پایدار معاصر ارائه کند.

کلیدواژگان: *سطوح مشبک آجری، معماری سنتی دزفول، عملکرد حرارتی، مصرف انرژی، بار حرارتی، نمای دوپوسته.*

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۲۱ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش: ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ انتشار: ۱ تیر ۱۴۰۵

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

مقدمه

افزایش بی‌رویه مصرف انرژی در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه پایدار در جهان تبدیل شده است. رشد سریع شهرنشینی، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی و افزایش تقاضا برای تأمین آسایش حرارتی در ساختمان‌ها، موجب شده است که بخش ساختمان سهم قابل‌توجهی از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص دهد. در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک، این مسئله به دلیل وابستگی گسترده به سیستم‌های سرمایشی شدت بیشتری یافته است. در ایران نیز مصرف انرژی در ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی شناخته می‌شود و ناکارآمدی بسیاری از ساختمان‌ها در کنترل شرایط حرارتی، فشار مضاعفی بر منابع انرژی وارد کرده است (1, 2). این وضعیت ضرورت بازنگری در الگوهای طراحی معماری و استفاده از راهکارهای غیرفعال اقلیمی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در این میان، توجه به تجربیات معماری بومی و سنتی ایران می‌تواند زمینه مناسبی برای دستیابی به الگوهای پایدار و سازگار با اقلیم فراهم کند.

معماری سنتی ایران طی قرن‌ها با تکیه بر شناخت دقیق شرایط اقلیمی، موفق به خلق فضاهایی شده است که بدون وابستگی به فناوری‌های مکانیکی پیچیده، آسایش حرارتی ساکنان را تأمین می‌کرده‌اند. در این معماری، عناصر مختلفی نظیر حیاط مرکزی، بادگیر، ایوان، جرزهای ضخیم و سطوح مشبک به‌عنوان ابزارهایی برای تعدیل شرایط محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این معماری، توجه همزمان به جنبه‌های عملکردی و زیبایی‌شناختی بوده است؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از عناصر معماری علاوه بر ارزش بصری، دارای عملکرد اقلیمی نیز بوده‌اند (3). در اقلیم‌های گرم و نیمه‌خشک ایران، کنترل تابش مستقیم خورشید و کاهش انتقال حرارت به فضای داخلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و معماران سنتی با بهره‌گیری از پوسته‌های نیمه‌شفاف و سطوح مشبک، توانسته‌اند تعادلی میان نور طبیعی، تهویه و آسایش حرارتی ایجاد کنند.

سطوح مشبک آجری در معماری سنتی شهر دزفول نمونه‌ای شاخص از این رویکرد اقلیمی محسوب می‌شوند. این عناصر که در بسیاری از خانه‌ها، گذرها و بناهای تاریخی دزفول مشاهده می‌شوند، علاوه بر ایجاد جلوه‌های بصری منحصربه‌فرد، نقش مؤثری در کنترل تابش خورشید، ایجاد سایه و کاهش بار حرارتی ساختمان داشته‌اند. استفاده از آجر به‌عنوان مصالح بومی و ایجاد الگوهای متنوع مشبک، امکان تنظیم میزان نور، تهویه طبیعی و کاهش شدت تابش مستقیم را فراهم می‌کرده است. در حقیقت، سطوح مشبک را می‌توان نوعی پوسته دوم دانست که با فاصله گرفتن از جداره اصلی بنا، عملکردی مشابه نماهای دوپوسته معاصر ایجاد می‌کنند. چنین رویکردی نشان می‌دهد که معماری سنتی دزفول دارای ظرفیت بالایی برای الهام‌بخشی به طراحی‌های معاصر در حوزه بهینه‌سازی انرژی است.

در سال‌های اخیر، توجه به پوسته‌های دوپوسته و نماهای هوشمند در معماری معاصر افزایش یافته است. این پوسته‌ها با ایجاد لایه‌ای واسط میان فضای داخلی و محیط بیرونی، نقش مهمی در کنترل تبادل حرارتی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان ایفا می‌کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که طراحی مناسب پوسته‌های خارجی می‌تواند میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را به شکل قابل‌توجهی کاهش دهد (4). از سوی دیگر، توسعه فناوری‌های نوین و رویکردهای طراحی پایدار موجب شده است که نماها از حالت صرفاً تزئینی خارج شده و به‌عنوان سامانه‌هایی فعال در کنترل شرایط محیطی شناخته شوند. در این زمینه، استفاده از مصالح هوشمند و نماهای واکنش‌گرا به شرایط اقلیمی، به یکی از گرایش‌های مهم معماری پایدار تبدیل شده است (5).

با وجود پیشرفت فناوری‌های معاصر، بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که راهکارهای سنتی معماری همچنان می‌توانند الهام‌بخش طراحی‌های نوین باشند. بررسی عملکرد عناصر سنتی نظیر شباک، فخر و مدین و سطوح مشبک نشان می‌دهد که این عناصر علاوه بر ایجاد کیفیت‌های فضایی و زیبایی‌شناختی، در تنظیم شرایط محیطی نیز نقش مؤثری داشته‌اند. پژوهش مهدوی‌نژاد و کیا نشان داد که بازتفسیر سطوح مشبک سنتی در معماری معاصر می‌تواند موجب بهینه‌سازی دریافت نور و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری شود (6). همچنین، نژاد ابراهیمی و توران‌پور با بررسی عنصر فخر و مدین در مساجد تاریخی، به این نتیجه رسیدند که این عناصر علاوه بر ایجاد حس مکان و کیفیت بصری، در کنترل نور، ایجاد محرمیت و آسایش محیطی نیز نقش داشته‌اند (7). چنین یافته‌هایی نشان می‌دهد که عناصر سنتی معماری ایرانی نه‌تنها دارای ارزش فرهنگی هستند، بلکه می‌توانند در پاسخ به چالش‌های معاصر انرژی نیز کارآمد باشند.

در حوزه معماری اقلیمی، موضوع آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی کیفیت محیط داخلی مطرح است. آسایش حرارتی تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر دمای هوا، رطوبت، جریان هوا و شدت تابش قرار دارد و طراحی پوسته ساختمان نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل این عوامل ایفا می‌کند. مطالعات انجام‌شده بر روی خانه‌های سنتی ایران نشان داده است که بهره‌گیری از نور طبیعی و جهت‌گیری مناسب ساختمان می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های آسایش حرارتی داشته باشد (8). در این میان، سطوح مشبک به دلیل قابلیت ایجاد سایه و کنترل شدت نور، می‌توانند شرایط حرارتی مطلوب‌تری برای فضاهای داخلی فراهم کنند. این ویژگی به‌ویژه در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول اهمیت بیشتری می‌یابد؛ زیرا شدت بالای تابش خورشید در این مناطق موجب افزایش بار سرمایشی ساختمان می‌شود.

پژوهش‌های متعددی در زمینه عملکرد انرژی نماهای دوپوسته و پوسته‌های اقلیمی انجام شده است. میرمحمدی و تقی‌زاده با بررسی جداره‌های دوپوسته در اقلیم‌های سرد و گرم ایران نشان دادند که این سیستم‌ها می‌توانند موجب کاهش چشمگیر بار سرمایشی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان شوند (9). همچنین مردانی در مطالعه‌ای درباره تأثیر هندسه نماهای دوپوسته بر تهویه طبیعی و عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری، به این نتیجه رسید که تغییر در شکل و هندسه پوسته می‌تواند میزان مصرف انرژی را در اقلیم‌های مختلف ایران کاهش دهد (10). این مطالعات بیانگر آن هستند که ویژگی‌های هندسی پوسته، از جمله عمق، میزان تخلخل و فاصله از جداره اصلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد حرارتی ساختمان دارند.

در پژوهش‌های جدید، مفهوم پوسته‌های تطبیق‌پذیر و خودسایه‌انداز نیز مورد توجه قرار گرفته است. احمدی در پژوهشی درباره پوسته‌های خودسایه‌انداز نشان داد که تغییر در هندسه و عمق نماهای دوپوسته می‌تواند انتقال حرارت به داخل ساختمان را به‌طور محسوسی کاهش دهد و موجب بهبود رفتار حرارتی ساختمان شود (11). همچنین مهیاری و همکاران با ارائه یک پوسته هوشمند تطبیق‌پذیر مبتنی بر الگوهای بیومیمتیک، بر اهمیت طراحی پوسته‌های واکنش‌گرا در کاهش مصرف انرژی تأکید کردند (5). این رویکردها نشان می‌دهد که پوسته ساختمان در معماری معاصر به‌عنوان یک عنصر فعال و پویا در کنترل انرژی شناخته می‌شود؛ در حالی که بسیاری از این ایده‌ها ریشه در راهکارهای سنتی معماری دارند.

از سوی دیگر، مطالعات انجام‌شده در زمینه مشربیه و سطوح مشبک در معماری اسلامی نیز اهمیت این عناصر را در کنترل اقلیم نشان داده‌اند. آلوثمن با بررسی مشربیه در معماری معاصر، بیان کرد که این عنصر سنتی علاوه بر ایجاد هویت بصری، نقش مهمی در کاهش تابش مستقیم خورشید، کنترل نور و بهبود آسایش حرارتی ایفا می‌کند (12). این یافته‌ها با ویژگی‌های سطوح مشبک آجری دزفول همخوانی دارد و نشان می‌دهد که استفاده از پوسته‌های مشبک می‌تواند راهکاری مؤثر برای طراحی پایدار در اقلیم‌های گرم باشد.

اگرچه مطالعات متعددی در زمینه نماهای دوپوسته، پوسته‌های هوشمند و عناصر مشبک سنتی انجام شده است، اما بررسی دقیق عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری دزفول و تأثیر ویژگی‌های هندسی آن‌ها بر مصرف انرژی ساختمان همچنان با محدودیت مواجه است. بخش عمده‌ای از پژوهش‌های پیشین بر نماهای مدرن یا عناصر سنتی در مقیاس توصیفی متمرکز بوده‌اند و کمتر پژوهشی به تحلیل پارامتریک الگوهای مشبک آجری دزفول و مقایسه عملکرد آن‌ها در فواصل مختلف از جداره اصلی پرداخته است. در واقع، هنوز مشخص نیست که تغییر در میزان تخلخل و فاصله این سطوح از پوسته اصلی تا چه اندازه می‌تواند در کاهش بار حرارتی و بهبود عملکرد انرژی مؤثر باشد. این خلأ پژوهشی ضرورت انجام مطالعات دقیق‌تر در زمینه بازشناسی عملکرد اقلیمی این عناصر بومی را آشکار می‌کند.

با توجه به اهمیت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، ظرفیت بالای معماری سنتی ایران در ارائه راهکارهای اقلیمی، و نقش سطوح مشبک آجری در کنترل شرایط حرارتی، پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری برگرفته از معماری سنتی دزفول و ارزیابی تأثیر میزان تخلخل و فاصله این پوسته‌ها از جداره اصلی بر مصرف انرژی ساختمان انجام شده است.

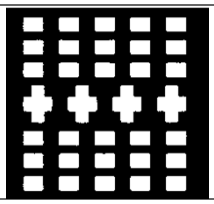
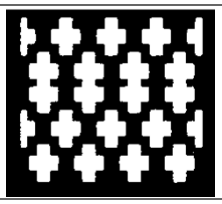
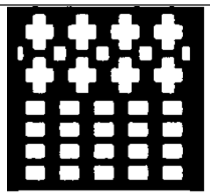
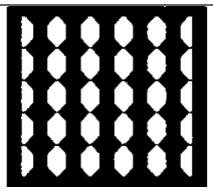
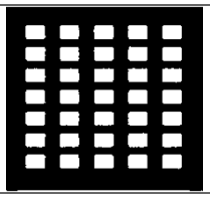
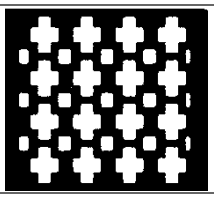
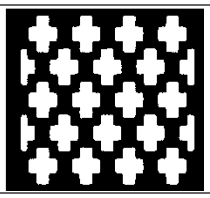
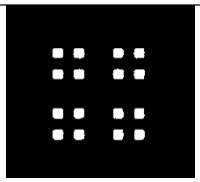
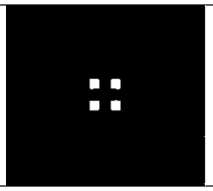
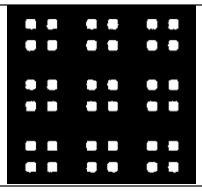
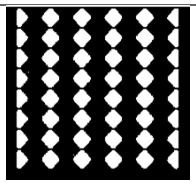
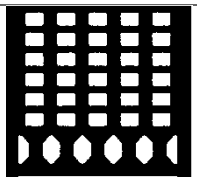
روش‌شناسی

در این پژوهش به‌منظور بررسی عملکرد حرارتی سطوح مشبک آجری برگرفته از معماری سنتی دزفول، ۱۲ الگوی منتخب از میان نمونه‌های شاخص معماری بومی این شهر استخراج و بر اساس میزان تخلخل و نوع طرح سطوح مشبک طبقه‌بندی شدند. الگوها در محیط Rhino و با استفاده از افزونه Grasshopper به‌صورت پارامتریک مدل‌سازی شدند تا امکان کنترل متغیرهایی نظیر درصد تخلخل، فاصله سطوح مشبک از جدار اصلی فراهم گردد. سپس به‌منظور ارزیابی عملکرد انرژی، شبیه‌سازی‌های اقلیمی و حرارتی با استفاده از افزونه Ladybug و داده‌های اقلیمی فایل EPW شهر دزفول انجام شد. تمامی نمونه‌ها در شرایط یکسان بر روی یک مدل پایه مورد تحلیل قرار گرفتند و شاخص میزان بار حرارتی بررسی و مقایسه گردید. در نهایت، داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به‌صورت تطبیقی تحلیل شدند تا رابطه میان عمق و درصد تخلخل سطوح مشبک با میزان کاهش بار حرارتی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان مشخص شود.

نتایج

در معماری سنتی دزفول، سطوح مشبک آجری یکی از عناصر شاخص نما محسوب می‌شوند، که علاوه بر جنبه‌های زیبایی‌شناختی، نقش مؤثری در تعدیل شرایط اقلیمی بنا دارند. این سطوح با ایجاد سایه، کاهش تابش مستقیم خورشید و کنترل میزان نفوذ نور، به بهبود شرایط حرارتی فضاهای داخلی کمک می‌کنند. تنوع در الگوهای هندسی، میزان تخلخل و عمق چیدمان آجرها باعث شکل‌گیری گونه‌های مختلفی از این سطوح در بناهای تاریخی دزفول شده است. در این پژوهش، ۱۲ الگوی منتخب از میان نمونه‌های موجود در معماری سنتی دزفول شناسایی شده و بر اساس برداشت از نمونه‌ها، ترسیم و مدلسازی هندسی شده‌اند. این الگوها با توجه به تفاوت در میزان تخلخل و عمق مشبک انتخاب شده‌اند تا امکان بررسی و مقایسه عملکرد آن‌ها از نظر بار حرارتی و تأثیر بر مصرف انرژی فراهم شود. همچنین فاصله سطوح مشبک از سطح شیشه‌ای پنجره در چهار حالت ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است تا تأثیر میزان فاصله بر عملکرد حرارتی و کاهش دریافت تابش خورشیدی مورد ارزیابی قرار گیرد. جدول ۱ تا ۳ الگوهای سطوح مشبک آجری، درصد پر به خالی و فاصله‌های تعریف شده سطوح مشبک آجری از جداره شیشه ای را نشان می‌دهند.

جدول ۱: ۱۲ الگوی موجود سطوح مشبک آجری در بافت سنتی دزفول

			
مدل ۱	مدل۲	مدل ۳	مدل ۴
			
مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۸
			
مدل ۹	مدل ۱۰	مدل ۱۱	مدل ۱۲

جدول۲: درصد خالی به پر در ۱۲ الگوی سطوح مشبک آجری

مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۸	مدل ۹	مدل ۱۰	مدل ۱۱	مدل ۱۲
۷۳/۷	۶۹	۷۲	۶۹/۴	۷۷	۶۸	۶۷/۳	۹۱	۹۷/۷	۸۰	۷۶	۳۷/۳

جدول۳: فاصله‌های تعریف شده سطوح مشبک آجری از بدنه شیشه ای بر حسب سانتی متر

ردیف	فاصله سطوح مشبک تا پنجره
۱	۱۰
۲	۲۰
۳	۳۰
۴	۴۰

در جدول۴ میزان بار انرژی کل، برحسب Kwh/m^2 برای ۱۲ نمونه پوسته تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی عنوان شده‌است.

جدول ۴: آنالیز میزان انرژی کل برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع

مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل۹	مدل۸	مدل۷	مدل۶	مدل ۵	مدل۴	مدل ۳	مدل ۲	مدل ۱	فاصله Cm
۱۱۷/۵۵۶	۱۱۷/۱۰۲	۱۱۶/۷۰۶	۱۱۷/۱۴۰	۱۱۸۰/۴۳	۱۱۷/۳۰۵	۱۱۷/۳۶۳	۱۱۷/۳۰۶	۱۱۷/۵۴۰	۱۱۷/۹۴۱	۱۱۸/۵۹۱	۱۱۷/۰۵۲	۱۰
۱۱۷/۲۳۱	۱۱۷/۶۸۰	۱۱۶/۳۰۶	۱۱۶/۴۵۹	۱۱۷۱/۷۶	۱۱۶/۳۶۹	۱۱۶/۶۲۸	۱۱۷/۹۶۰	۱۱۶/۷۹۸	۱۱۶/۱۶۹	۱۱۷/۷۴۲	۱۱۶/۴۷۸	۲۰
۱۱۶/۲۱۷	۱۱۷/۷۸۰	۱۱۷/۷۸۰	۱۱۶/۱۵۸	۱۱۶۵/۶۶	۱۱۶/۴۰۵	۱۱۶/۷۹۷	۱۱۶/۵۶۲	۱۱۶/۱۷۷	۱۱۷/۸۷۰	۱۱۶/۸۳۶	۱۱۶/۶۳۹	۳۰
۱۱۶/۱۴۳	۱۱۶/۹۳۶	۱۱۶/۶۷۴	۱۱۶/۶۱۸	۱۱۶۷/۴۸	۱۱۶/۴۲۲	۱۱۶/۰۷۳	۱۱۶/۹۴۰	۱۱۶/۷۱۵	۱۱۶/۹۲۳	۱۱۶/۸۰۴	۱۱۶/۰۷۶	۴۰

با توجه به آنالیز میزان مصرف انرژی برای ۱۲ نمونه پوسته تعریف‌شده، مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین عملکرد این پوسته‌ها در مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع)، برای فواصل مختلف پوسته از جداره‌ی اصلی، به شرح زیر است:

مدل ۱: قرارگیری پوسته در فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۶ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۲ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۲: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۵ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۸۲ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۳: قرارگیری پوسته در فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۴ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۲ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۴: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۶ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۱ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۵: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۱ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۶ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۶: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۳ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۳ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۷: قرارگیری پوسته در فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۲ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۵ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

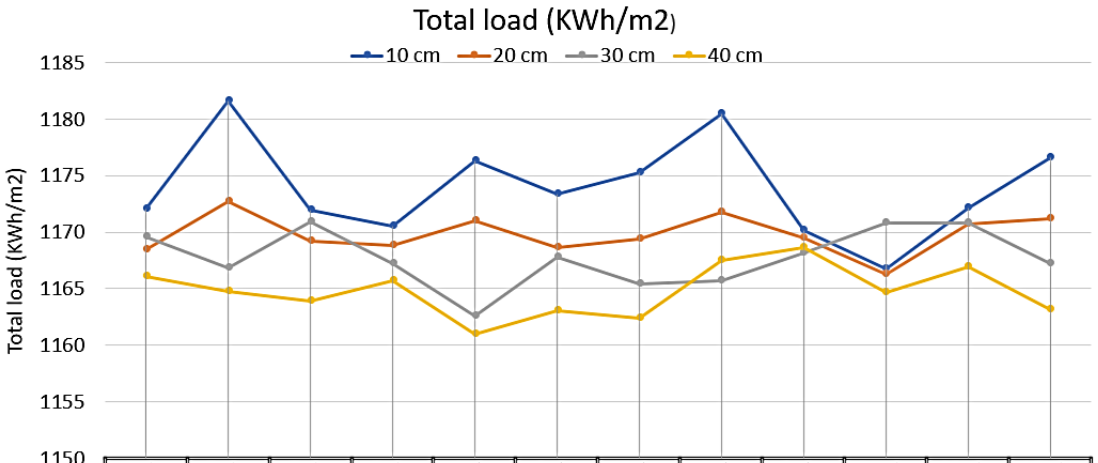
مدل ۸: قرارگیری پوسته در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۶ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۸۰ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۹: قرارگیری پوسته در فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری از جداره اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۸ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۰ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۱۰: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۵ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۰ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۱۱: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۷ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۲ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.

مدل ۱۲: قرارگیری پوسته در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر ۱۱۶۳ مناسب‌ترین عملکرد و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان این شاخص برابر با ۱۱۷۷ نامناسب‌ترین عملکرد را دارد.



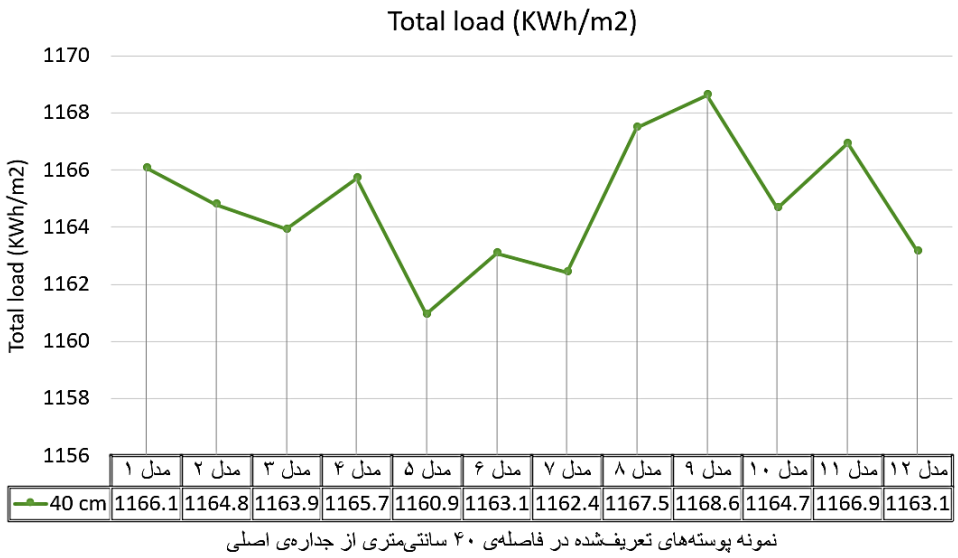
	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۸	مدل ۹	مدل ۱۰	مدل ۱۱	مدل ۱۲
10 cm	1172.05	1181.59	1171.94	1170.54	1176.3	1173.37	1175.3	1180.44	1170.15	1166.71	1172.11	1176.56
20 cm	1168.48	1172.75	1169.17	1168.79	1170.96	1168.62	1169.36	1171.76	1169.45	1166.31	1170.69	1171.24
30 cm	1169.63	1166.83	1170.87	1167.17	1162.57	1167.8	1165.4	1165.67	1168.15	1170.78	1170.78	1167.22
40 cm	1166.07	1164.8	1163.92	1165.71	1160.94	1163.08	1162.42	1167.48	1168.62	1164.67	1166.93	1163.15

نمونه پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف از جداره‌ی اصلی

شکل ۱: آنالیز میزان مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع) برای نمونه پوته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف از جداره‌ی اصلی

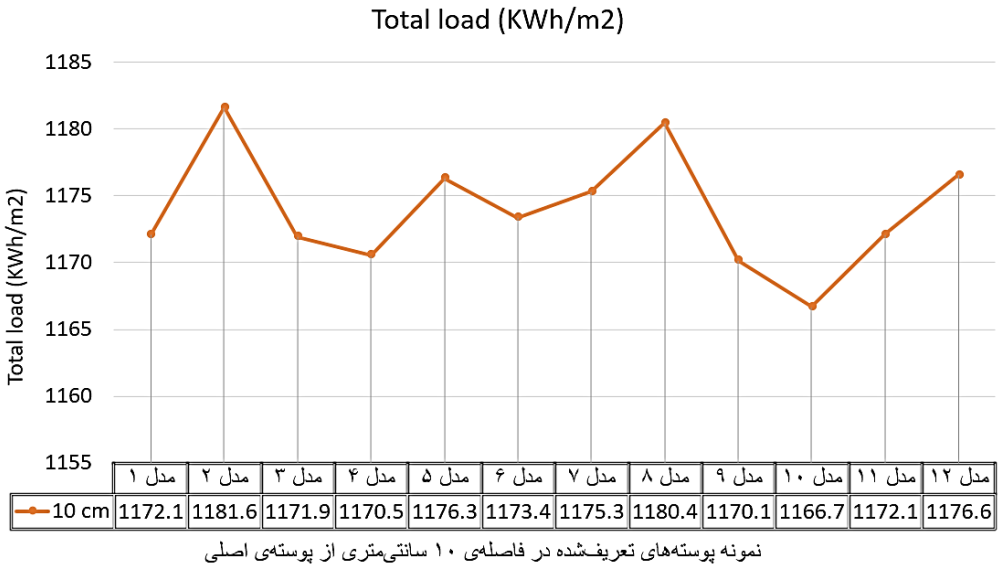
با توجه به نتایج میزان مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع) و نمودار ۲ که نشان‌دهنده‌ی میزان این شاخص برای ۱۲ مدل پوسته‌ی تعریف‌شده در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از جداره اصلی است، می‌توان عنوان نمود که پوسته‌ی شماره ۵ با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۶۱ کیلووات ساعت بر مترمربع مناسب‌ترین و پوسته‌ی شماره ۹ با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۶۹ کیلووات ساعت بر مترمربع نامناسب‌ترین عملکرد را در میزان مصرف انرژی

کل دارند. همچنین عملکرد سایر پوسته‌ها به‌ترتیب از مناسب‌ترین تا نامناسب‌ترین شامل پوسته شماره‌ی ۷، ۱۲، ۶، ۳، ۲، ۱۰، ۴، ۱، ۱۱ و ۸ با میزان مصرف انرژی کل برحسب کیلو وات ساعت بر مترمربع برابر با ۱۱۶۲، ۱۱۶۳، ۱۱۶۴، ۱۱۶۵، ۱۱۶۶، ۱۱۶۷ و ۱۱۶۸ هستند.



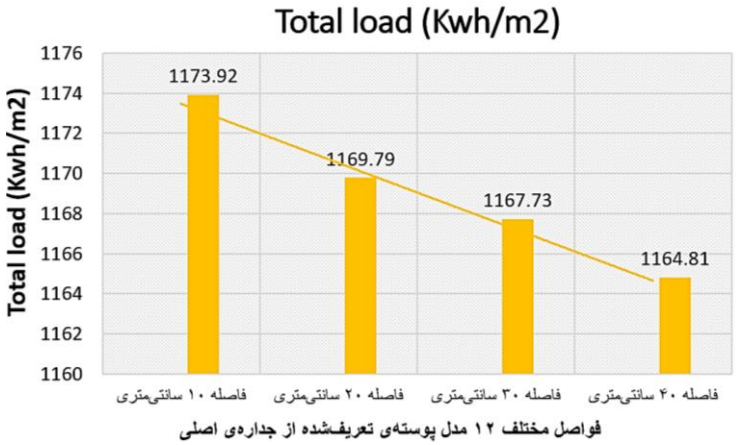
شکل ۲: آنالیز میزان مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع) برای نمونه پوسته‌های تعریف‌شده در فاصله‌ی ۴۰ از جداره‌ی اصلی

با توجه به نتایج میزان مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع) و نمودار ۳ که نشان‌دهنده میزان این شاخص برای ۱۲ مدل پوسته تعریف‌شده در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از جداره اصلی است، می‌توان عنوان نمود که پوسته شماره‌ی ۲ با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۸۲ کیلووات ساعت بر مترمربع نامناسب‌ترین و پوسته‌ی شماره‌ی ۱۰ با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۶۷ کیلووات ساعت بر مترمربع مناسب‌ترین عملکرد را در میزان مصرف انرژی کل دارند. همچنین عملکرد سایر پوسته‌ها به‌ترتیب از مناسب‌ترین تا نامناسب‌ترین شامل پوسته‌ی شماره‌ی ۹، ۴، ۳، ۱۱، ۱، ۶، ۷، ۵، ۱۲ و ۸ با میزان مصرف انرژی کل برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع برابر با ۱۱۷۰، ۱۱۷۱، ۱۱۷۲، ۱۱۷۳، ۱۱۷۵، ۱۱۷۶، ۱۱۷۷ و ۱۱۸۰ هستند.



شکل ۳: آنالیز میزان مصرف انرژی کل (برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع) برای نمونه پوسته‌های تعریف‌شده در فاصله‌ی ۱۰ از جداره اصلی

با توجه به آنالیزهای انجام‌شده می‌توان عنوان نمود پوسته‌های تعریف‌شده در فاصله ۴۰ سانتی‌متری عملکرد مناسب‌تری در میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۶۴/۸۱ کیلووات ساعت بر مترمربع داشته و نامناسب‌ترین عملکرد این پوسته‌ها در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از جدار اصلی با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۷۳/۹۲ کیلووات ساعت بر متر مربع است. پس از آن نیز به‌ترتیب عملکرد پوسته‌ها در فواصل به‌ترتیب ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی با میزان این شاخص برابر با ۱۱۶۷/۷۳ و ۱۱۶۹/۷۹ کیلووات ساعت بر متر مربع، مناسب‌تر است. چنانچه پوسته‌ی شماره ۲ در فاصله ۱۰ سانتی‌متری با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۸۱/۵۹ نامناسب‌ترین عملکرد را در مصرف انرژی کل داشته و پوسته شماره ۵ در فاصله ۴۰ سانتی‌متری با میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۶۰/۹۴ کیلووات ساعت بر متر مربع مناسب‌ترین عملکرد را دارد (نمودار ۴).



شکل ۴. میانگین میزان مصرف انرژی کل برای ۱۲ پوسته‌ی تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جداره‌ی اصلی برحسب KWh/m^2

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سطوح مشبک آجری برگرفته از معماری سنتی دزفول نقش مؤثری در بهبود عملکرد حرارتی ساختمان و کاهش مصرف انرژی دارند. یافته‌ها بیانگر آن بود که افزایش فاصله پوسته مشبک از جداره اصلی موجب کاهش میزان بار حرارتی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان می‌شود؛ به‌گونه‌ای که فاصله ۴۰ سانتی‌متری بهترین عملکرد و فاصله ۱۰ سانتی‌متری ضعیف‌ترین عملکرد را از نظر مصرف کل انرژی نشان داد. همچنین مشخص شد که تفاوت در الگوهای هندسی و میزان تخلخل سطوح مشبک تأثیر مستقیمی بر میزان مصرف انرژی دارد و برخی الگوها، به‌ویژه پوسته شماره ۵، به دلیل ویژگی‌های هندسی خاص خود توانسته‌اند عملکرد حرارتی مطلوب‌تری ایجاد کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که معماری سنتی دزفول تنها واجد ارزش‌های زیبایی‌شناختی و فرهنگی نبوده، بلکه در قالب یک نظام اقلیمی هوشمند، راهکارهایی مؤثر برای کنترل شرایط محیطی و کاهش بار حرارتی ارائه کرده است.

یکی از مهم‌ترین نتایج پژوهش حاضر، تأثیر مثبت افزایش فاصله پوسته مشبک از جداره اصلی بر کاهش مصرف انرژی بود. این نتیجه را می‌توان از منظر فیزیک حرارتی و کنترل تابش تحلیل کرد. زمانی که پوسته مشبک با فاصله بیشتری از جداره اصلی قرار می‌گیرد، فضای میانی ایجادشده میان پوسته و پنجره به‌عنوان یک لایه حائل عمل کرده و موجب کاهش انتقال مستقیم حرارت به فضای داخلی می‌شود. همچنین این فاصله امکان شکل‌گیری جریان هوا و تهویه طبیعی در فضای بین دو پوسته را فراهم می‌کند و در نتیجه دمای سطح خارجی جداره اصلی کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج پژوهش میرمحمدی و تقی‌زاده

همسو است که نشان دادند نماهای دوپوسته می‌توانند با ایجاد یک لایه واسط، موجب کاهش بار سرمایشی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان شوند (9). همچنین مردانی نیز در بررسی هندسه نماهای دوپوسته به این نتیجه رسید که افزایش عمق فضای میانی و تغییر شکل هندسی پوسته می‌تواند عملکرد تهویه طبیعی را بهبود داده و مصرف انرژی را کاهش دهد (10). بنابراین نتایج پژوهش حاضر را می‌توان تأییدی بر نقش فاصله و عمق پوسته در بهینه‌سازی رفتار حرارتی ساختمان دانست.

یافته‌های پژوهش حاضر همچنین نشان داد که میزان تخلخل و نوع الگوی هندسی سطوح مشبک نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد انرژی دارند. الگوهایی که تعادل مناسب‌تری میان سایه‌اندازی، عبور نور و تهویه طبیعی ایجاد کرده بودند، عملکرد حرارتی مطلوب‌تری داشتند. این موضوع بیانگر آن است که عملکرد سطوح مشبک صرفاً وابسته به میزان انسداد تابش نیست، بلکه نحوه توزیع بازشوها و الگوی هندسی نیز در کنترل جریان هوا و شدت نور ورودی مؤثر است. این نتیجه با یافته‌های مهدوی‌نژاد و کیا همخوانی دارد؛ زیرا آنان نیز تأکید کردند که بازطراحی سطوح مشبک سنتی بر اساس اصول اقلیمی می‌تواند موجب بهینه‌سازی همزمان نور طبیعی و انرژی در ساختمان شود (6). از سوی دیگر، نتایج مطالعه آلوثمن درباره مشربیه نیز نشان داد که سطوح مشبک سنتی در معماری اسلامی علاوه بر ایجاد کیفیت بصری، در کنترل شدت تابش خورشید و بهبود آسایش حرارتی نقش مهمی ایفا می‌کنند (12). این همسویی نشان می‌دهد که الگوهای مشبک در معماری سنتی خاورمیانه، فارغ از تفاوت‌های منطقه‌ای، بر پایه اصول مشترک اقلیمی شکل گرفته‌اند.

بررسی عملکرد پوسته شماره ۵ به‌عنوان مناسب‌ترین الگو از نظر مصرف انرژی نشان داد که ترکیب مناسب تخلخل و عمق می‌تواند بیشترین تأثیر را در کاهش بار حرارتی داشته باشد. این موضوع اهمیت طراحی هندسی پوسته را برجسته می‌کند. در واقع، پوسته‌های مشبک زمانی بیشترین کارایی را دارند که بتوانند میان سه عامل اصلی یعنی سایه‌اندازی، نور طبیعی و تهویه تعادل ایجاد کنند. اگر میزان تخلخل بیش از حد باشد، تابش مستقیم و حرارت بیشتری وارد فضا می‌شود و اگر تخلخل بسیار کم باشد، تهویه و نور طبیعی کاهش می‌یابد و کیفیت محیط داخلی افت می‌کند. این یافته با نتایج پژوهش احمدی درباره پوسته‌های خودسایه‌انداز همسو است؛ زیرا او نشان داد که تغییر در هندسه و فرم پوسته می‌تواند میزان شار حرارتی ورودی به ساختمان را کاهش داده و عملکرد حرارتی نما را بهبود بخشد (11). بنابراین، عملکرد مطلوب پوسته شماره ۵ را می‌توان ناشی از تعادل مناسب میان پارامترهای هندسی و اقلیمی دانست.

نتایج پژوهش حاضر همچنین بیانگر آن بود که سطوح مشبک آجری سنتی می‌توانند به‌عنوان نمونه‌ای از پوسته‌های هوشمند غیرفعال در معماری معاصر مورد استفاده قرار گیرند. برخلاف بسیاری از سامانه‌های پیشرفته مکانیکی که نیازمند مصرف انرژی و فناوری پیچیده هستند، این پوسته‌ها با بهره‌گیری از ویژگی‌های هندسی و مصالح بومی، به‌صورت طبیعی شرایط حرارتی را کنترل می‌کنند. این ویژگی با اصول معماری پایدار و کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی همسو است (1). در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی بر توسعه پوسته‌های تطبیق‌پذیر و هوشمند تأکید کرده‌اند. مهیاری و همکاران نیز در پژوهش خود نشان دادند که پوسته‌های تطبیق‌پذیر مبتنی بر الگوهای بیومیمتیک می‌توانند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ایفا کنند (5). تفاوت اصلی میان این رویکردها و سطوح مشبک سنتی در آن است که معماری بومی بدون اتکا به فناوری‌های پیچیده، عملکردی مشابه بسیاری از سامانه‌های معاصر ایجاد کرده است.

از منظر آسایش حرارتی نیز نتایج پژوهش حاضر دارای اهمیت قابل‌توجهی است. کنترل شدت تابش خورشید و کاهش انتقال حرارت موجب می‌شود که شرایط دمایی فضاهای داخلی به محدوده آسایش نزدیک‌تر شود و نیاز به استفاده از سامانه‌های سرمایشی کاهش یابد. این مسئله در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا شدت تابش و دمای بالا موجب افزایش بار سرمایشی ساختمان‌ها می‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه حمزه‌نژاد و همکاران

همسو است که نشان دادند طراحی اقلیمی مناسب و کنترل نور طبیعی می‌تواند شاخص‌های آسایش حرارتی را در خانه‌های سنتی بهبود بخشد (8). در حقیقت، سطوح مشبک آجری را می‌توان ابزاری برای تنظیم همزمان نور، حرارت و تهویه دانست که به ایجاد شرایط آسایش کمک می‌کنند.

از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش حاضر اهمیت بازخوانی و احیای عناصر معماری سنتی را در طراحی معاصر برجسته می‌کند. در بسیاری از ساختمان‌های امروزی، استفاده گسترده از سطوح شیشه‌ای بدون توجه به شرایط اقلیمی موجب افزایش شدید مصرف انرژی شده است. در حالی که معماری سنتی ایران با استفاده از عناصر نیمه‌شفاف و سطوح مشبک، توانسته بود میان نیاز به نور طبیعی و کنترل حرارت تعادل برقرار کند (3). این مسئله نشان می‌دهد که بهره‌گیری مجدد از اصول معماری بومی می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش بحران انرژی در معماری معاصر باشد. همچنین پژوهش حیدری و همکاران نیز تأکید می‌کند که استفاده از سایه‌اندازها و کنترل رابطه میان فرم و تابش می‌تواند به کاهش مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان‌های مناطق گرم کمک کند (13). نتایج پژوهش حاضر در امتداد همین رویکرد قرار دارد و نشان می‌دهد که سطوح مشبک سنتی می‌توانند به‌عنوان سایه‌اندازهای اقلیمی مؤثر عمل کنند.

علاوه بر جنبه‌های عملکردی، سطوح مشبک آجری دارای ارزش فرهنگی و هویتی نیز هستند. استفاده از این عناصر در معماری معاصر می‌تواند ضمن بهبود عملکرد انرژی، به حفظ هویت معماری بومی و تداوم الگوهای فرهنگی نیز کمک کند. نژاد ابراهیمی و توران‌پور نشان دادند که عناصر مشبک سنتی علاوه بر نقش اقلیمی، در ایجاد حس مکان، محرمیت و کیفیت فضایی نیز مؤثر هستند (7). بنابراین، کاربرد مجدد این عناصر در طراحی معاصر می‌تواند موجب پیوند میان فناوری‌های نوین و ارزش‌های معماری سنتی شود.

به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که سطوح مشبک آجری سنتی دزفول دارای ظرفیت بالایی برای بهبود عملکرد حرارتی ساختمان و کاهش مصرف انرژی هستند. این سطوح با کنترل تابش مستقیم خورشید، ایجاد سایه، بهبود تهویه طبیعی و کاهش انتقال حرارت، می‌توانند به‌عنوان راهکاری مؤثر در طراحی پایدار ساختمان‌ها در اقلیم‌های گرم و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرند. همچنین یافته‌ها نشان داد که فاصله پوسته از جداره اصلی و ویژگی‌های هندسی سطوح مشبک از عوامل کلیدی در تعیین میزان کارایی آن‌ها هستند و طراحی دقیق این پارامترها می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد انرژی ساختمان داشته باشد.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به تمرکز مطالعه بر اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول اشاره کرد؛ بنابراین تعمیم نتایج به سایر اقلیم‌ها نیازمند مطالعات تکمیلی است. همچنین در این پژوهش تنها عملکرد حرارتی و مصرف انرژی بررسی شد و سایر شاخص‌های محیطی نظیر کیفیت روشنایی روز، آسایش بصری و عملکرد صوتی مورد ارزیابی قرار نگرفت. علاوه بر این، شبیه‌سازی‌ها بر پایه مدل‌های دیجیتال انجام شد و شرایط واقعی بهره‌برداری ساختمان، رفتار کاربران و تغییرات فصلی به‌صورت محدود در نظر گرفته شد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده عملکرد سطوح مشبک آجری در اقلیم‌های مختلف ایران و در کاربری‌های متنوع ساختمانی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان تأثیر ترکیب این سطوح با فناوری‌های نوین نظیر مصالح هوشمند، سامانه‌های فتوولتائیک و پوسته‌های تطبیق‌پذیر را مطالعه کرد. بررسی همزمان شاخص‌های نور طبیعی، آسایش بصری، تهویه طبیعی و عملکرد صوتی نیز می‌تواند شناخت جامع‌تری از کارایی این سطوح فراهم آورد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، استفاده از سطوح مشبک آجری به‌عنوان پوسته دوم نما می‌تواند در طراحی ساختمان‌های معاصر مناطق گرم و نیمه‌خشک توصیه شود. معماران و طراحان می‌توانند با بهره‌گیری از الگوهای بومی دزفول و بازطراحی پارامتریک آن‌ها، نماهایی طراحی کنند که علاوه بر کاهش مصرف

انرژی، دارای هویت فرهنگی و کیفیت زیبایی‌شناختی نیز باشند. همچنین توجه به فاصله مناسب پوسته از جداره اصلی و انتخاب الگوی هندسی متناسب با شرایط اقلیمی می‌تواند نقش مهمی در ارتقای عملکرد انرژی ساختمان‌ها ایفا کند.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

The increasing rate of energy consumption in the building sector has become one of the most significant challenges of sustainable development in contemporary societies. Rapid urbanization, dependence on fossil fuels, and the extensive use of mechanical cooling systems have considerably increased energy demand, particularly in hot and dry climatic regions. In Iran, buildings account for a substantial proportion of total energy consumption, making the optimization of building envelopes and passive climatic strategies a critical necessity (1, 2). Consequently, researchers and architects have increasingly focused on sustainable architectural approaches capable of reducing thermal loads and improving indoor environmental quality without relying excessively on mechanical systems.

Traditional Iranian architecture provides valuable examples of climate-responsive design strategies developed through centuries of adaptation to environmental conditions. In hot and semi-arid regions, vernacular architecture employed various passive techniques such as courtyards, wind catchers, thick walls, shading devices, and lattice surfaces to regulate indoor

thermal conditions and minimize heat gain. These architectural elements were not merely decorative components; rather, they functioned as integrated environmental systems capable of controlling solar radiation, natural ventilation, and daylight penetration (3). Among these elements, brick lattice surfaces represent one of the most prominent climatic features in the traditional architecture of Dezful.

Brick lattice surfaces in Dezful's traditional architecture are characterized by geometric perforations and varying depths that create shaded transitional layers between interior and exterior spaces. These porous brick skins reduce direct solar radiation, improve airflow, and moderate thermal transfer into buildings. Their climatic efficiency demonstrates a sophisticated understanding of environmental control embedded within vernacular architecture. In contemporary architectural discourse, such elements can be interpreted as passive double-skin facades capable of enhancing thermal performance and reducing cooling loads.

Recent studies have emphasized the importance of double-skin facades and adaptive envelopes in improving building energy performance. Research has shown that the geometry and depth of external facades significantly influence thermal behavior and energy consumption (9, 11). Moreover, adaptive and biomimetic facade systems have been proposed as effective approaches for reducing energy use and enhancing environmental responsiveness (5). In this context, revisiting traditional lattice systems can provide practical and culturally grounded solutions for sustainable contemporary architecture.

Previous investigations have also highlighted the environmental role of traditional Iranian lattice elements such as Fakhr-o-Madin and Mashrabiya. Mahdavinejad and Kia demonstrated that reinterpretation of traditional lattice skins could optimize daylight acquisition and energy efficiency in contemporary office buildings (6). Similarly, Nejad Ebrahimi and Turanpour reported that lattice elements contributed not only to visual quality and sense of place but also to environmental comfort and privacy (7). Alothman further emphasized the effectiveness of Mashrabiya systems in controlling solar radiation and improving thermal comfort in contemporary architecture (12). Studies on thermal comfort in traditional Iranian houses also confirmed that shading and orientation significantly affect indoor environmental quality and thermal indices such as PMV and PPD (8).

Despite extensive research on double-skin facades and traditional climatic strategies, limited attention has been paid to the thermal performance of brick lattice surfaces in Dezful and the relationship between their geometric properties and building energy consumption. Therefore, the present study aimed to investigate the thermal behavior of traditional brick lattice surfaces in Dezful and evaluate the effects of porosity and facade depth on building energy performance.

Methods and Materials

This research was conducted using a descriptive-analytical approach based on digital simulation techniques. Twelve selected patterns of brick lattice surfaces were extracted from traditional architectural samples in Dezful and categorized according to their geometric configuration and porosity levels. The selected patterns represented the most commonly used lattice arrangements in the historical urban fabric of Dezful.

The geometric models were digitally reconstructed using Rhino software and parametrically developed through the Grasshopper plugin. This parametric process enabled precise control over variables such as perforation ratio, lattice depth, and distance between the lattice layer and the primary glazed facade. Climatic and thermal simulations were then performed using the Ladybug environmental analysis plugin integrated with the EPW climatic data file of Dezful city.

To evaluate thermal performance, all lattice models were applied to a standardized base building model under identical environmental conditions. Four different distances between the brick lattice surfaces and the primary facade were examined, including 10 cm, 20 cm, 30 cm, and 40 cm. The main evaluation criterion was total annual energy consumption measured in

kWh/m². Comparative analyses were conducted to determine the influence of geometric variation and facade depth on thermal load reduction and overall energy performance.

The simulations specifically focused on cooling-related thermal behavior because Dezful's hot and semi-arid climate imposes significant cooling demands on buildings. Data obtained from the simulations were systematically analyzed to identify the most efficient lattice configurations and the optimal distance between the secondary skin and the primary facade.

Findings

The findings revealed that brick lattice surfaces significantly improved the thermal performance of buildings and reduced total energy consumption. The results indicated a direct relationship between the distance of the lattice skin from the primary facade and overall thermal efficiency. Increasing the distance between the lattice layer and the glazed surface reduced thermal transfer and improved shading performance.

Among the four investigated distances, the 40 cm configuration demonstrated the best thermal performance with an average total energy consumption of 1164.81 kWh/m². In contrast, the 10 cm distance showed the weakest performance with an average energy consumption of 1173.92 kWh/m². The 30 cm and 20 cm distances produced intermediate performances with average total energy consumptions of 1167.73 kWh/m² and 1169.79 kWh/m², respectively.

The results also demonstrated that geometric variation and porosity ratios strongly influenced energy performance. Among the twelve evaluated lattice patterns, Pattern No. 5 at the 40 cm distance achieved the most efficient thermal performance with a total energy consumption of 1160.94 kWh/m². Conversely, Pattern No. 2 at the 10 cm distance exhibited the highest energy consumption at 1181.59 kWh/m².

The analyses showed that deeper lattice configurations created more effective shaded buffer zones between exterior and interior environments. These intermediate spaces reduced direct solar radiation and improved natural airflow around the primary facade. Furthermore, lattice patterns with balanced porosity ratios performed more efficiently than extremely open or highly dense configurations. Moderate porosity allowed sufficient shading while maintaining appropriate daylight penetration and natural ventilation.

The comparative analyses of the twelve patterns further revealed that some geometric arrangements were more successful in distributing shade and reducing thermal accumulation on facade surfaces. The most efficient models combined appropriate perforation ratios with greater facade depth, thereby minimizing cooling loads during hot climatic conditions.

Overall, the results confirmed that traditional brick lattice surfaces could function as passive environmental regulators capable of improving building energy performance in hot and semi-arid climates.

Discussion and Conclusion

The findings of this study demonstrate that traditional brick lattice surfaces possess considerable potential for enhancing thermal performance and reducing building energy consumption in hot climatic regions. The results confirm that increasing the distance between the secondary lattice skin and the primary facade improves thermal efficiency by creating a ventilated buffer zone capable of reducing direct heat transfer. This intermediate space acts similarly to contemporary double-skin facade systems and contributes to passive cooling through shading and air circulation.

The superior performance of the 40 cm distance highlights the importance of facade depth in regulating solar heat gain. Larger distances allow greater air movement and reduce thermal accumulation on the building envelope. At the same time, geometric configuration and porosity ratios significantly influence environmental performance. Patterns with balanced perforation ratios demonstrated greater efficiency because they simultaneously controlled solar radiation, maintained daylight access, and supported natural ventilation.

The study also confirms that traditional architectural knowledge embedded within Dezful's vernacular architecture aligns closely with contemporary sustainable design principles. The climatic responsiveness of brick lattice surfaces reflects a sophisticated understanding of environmental adaptation achieved without reliance on mechanical technologies. This demonstrates that many passive strategies currently explored in sustainable architecture have long existed within traditional Iranian architectural practices.

Another important implication of the findings is the possibility of integrating traditional lattice concepts into contemporary architectural design. Modern buildings in hot climates often rely heavily on fully glazed facades that increase cooling demands and thermal discomfort. Reinterpreting traditional lattice systems through digital modeling and parametric design can provide environmentally responsive facade solutions that reduce energy consumption while preserving cultural identity.

The research further indicates that traditional lattice surfaces should not be regarded solely as historical decorative elements. Instead, they can function as efficient passive environmental systems capable of improving thermal comfort and building performance. Their use in contemporary architecture may contribute to reducing dependence on mechanical cooling systems and supporting sustainable urban development.

In conclusion, the study demonstrated that brick lattice surfaces derived from the traditional architecture of Dezful effectively reduce thermal loads and improve building energy efficiency. Increasing the distance between the lattice skin and the primary facade significantly enhances thermal performance, with the 40 cm configuration producing the best overall results. Moreover, geometric configuration and porosity ratio play crucial roles in determining environmental efficiency. These findings suggest that traditional brick lattice systems can provide valuable models for sustainable contemporary architecture in hot and semi-arid climates.

References

1. Abdulrazaq Kaabi-Nejadian M, Barimani M. Renewable Energies and Sustainable Development in Iran. Journal of Renewable and New Energies. 2014;1(1):21-6.
2. Khodakarami J, Ghobadi P. Optimization of Energy Consumption in an Office Building Equipped with an Intelligent Management System. Journal of Energy Engineering and Management. 2016;6(2):12-23.
3. Haeri Mazandarani MR. The Role of Space in Iranian Architecture. Tehran: Cultural Research Bureau; 2009.
4. Arjomandnia A. Using Smart Materials and Facades with a Sustainable Approach: Case Study of Shahrekord County, Chaharmahal and Bakhtiari Province. Art and Architecture Studies. 2016;2(7):31-41.
5. Mehyari H, Zarkesh A, Mahdavinejad MJ. Proposing an Intelligent Adaptive Skin with a Biomimetic Approach to Reduce Energy Consumption. Hoviat Shahr. 2022;16(52):23-38.
6. Mahdavinejad MJ, Kia A. Modernizing Traditional Iranian Architectural Lattice Skins to Optimize Daylight and Energy Acquisition: Case Study of Office Buildings in Tehran. Architecture of Hot and Dry Climate. 2019;7(9):69-82.
7. Nejad Ebrahimi A, Turanpour M. Sense of Place in Mosques Based on a Comparative Study of the Form and Construction Location of Fakhr and Madin in Historical Mosques. Iranian Archaeological Research. 2018;9(20):165-82.
8. Hamzenejad M, Fadaei F, Ilderabadi P. Evaluation of Comfort Conditions and Analysis of Thermal Comfort Indices PPD and PMV Based on Daylight and House Orientation in Traditional Houses of the Yazd Fabric: Case Study of Malekzadeh House in Yazd. Architecture of Hot and Dry Climate. 2020;7(11):151-82.
9. Mirmohammadi A, Taghizadeh M. Investigating the Effectiveness of Double-Skin Walls on Cooling and Heating Loads under Cold and Hot Climatic Conditions. Sustainable Architecture and Urbanism. 2020;8(2):41-50.
10. Mardani M. The Effect of Double-Skin Facade Geometry on Natural Ventilation and Energy Performance of Office Buildings in Different Climates of Iran: Ilam University, Faculty of Engineering; 2016.
11. Ahmadi J. Self-Shading Skins in Advanced Architecture: Multi-Objective Optimization of Building Form to Improve the Thermal Behavior of Double-Skin Facades: Tarbiat Modares University, Faculty of Art; 2021.
12. Alothman H. An Evaluative and Critical Study of Mashrabiya in Contemporary Architecture. Nicosia, Cyprus: Graduate School of Applied Sciences, Near East University; 2017.
13. Heidari E, Mahdinejad Darzi J, Dolabi P. The Effect of Building Adjacency on Reducing Cooling Energy Consumption in Residential Buildings through the Relationship between Form and External Shading: Case Study of the Historical Fabric of Bushehr. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design. 2024;12(1):103-27.