



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Principles of Ecological Architecture for Designing Residential Building Facades in Hot and Humid Climates to Lower Indoor Air Temperature Based on Ecological Architecture *

Zahra Mehdinejad Goodarzi ¹, Jamaluddin Mehdinejad Darzi ^{2**}, Fatemeh Mozaffari Qadiklaji ³¹ Ph.D. Candidate in Architecture, Department of Architecture, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.² Professor, School of Architecture and Urban Design, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.³ Assistant professor, Department of Architecture, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2020/09/22
Revised	2021/01/16
Accepted	2021/05/07
Available Online	2022/12/31

Keywords:

Energy Reduction
Indigenous Architecture
Shading Devices
Window-to-Wall Ratio
Facade Materials

Use your device to scan
and read the article online



Number of References

50



Number of Figures

27



Number of Tables

6

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Increasing fossil fuel consumption, on the one hand, along with their non-renewable nature, escalating costs, and the destructive environmental and economic effects of energy consumption, on the other hand, increase the need to use passive systems in buildings. One of the effective solutions to reduce energy consumption and consumption of fossil fuels in the building and also to reduce its adverse environmental effects (increasing greenhouse gas emissions) is the use of passive energy. The facade of residential buildings, as the main mediator between indoor and outdoor space, is an important element in controlling sunlight to the interior and reducing energy consumption. Two important strategies to improve the thermal performance of the building facade include shading devices that reduce annual energy consumption and provide better protection against glare. The second solution aims to investigate the effect of heat transfer or heat resistance of materials used in the building facade by controlling the effects of solar radiation and designing the facade under climate conditions, and reducing the heat transfer by choosing the right materials that can reduce the amount of domestic energy demand. The shape of the building, the orientation of the building, its external and internal walls and materials, the thermal insulation of the facade, the dimensions of the window, the ratio of the window to the wall, and the external shading device can be introduced as effective parameters in reducing energy consumption. Improving the performance of building facades is possible through facade materials, shading devices, and window-to-wall ratio structure. It is important to carry out practical investigations into the thermal efficiency of building facades in order to decrease the amount of energy used for cooling and heating buildings, which represents a significant portion of the world's energy consumption. As a result, an architectural strategy that focuses on morphology (specifically, architectural morphology) should be examined.

METHODS: In the hot and humid climate of Bushehr, the most significant climatic condition is excessive heat. Therefore, it is crucial to research climate-based solutions that can manage the transmission of undesirable heat and lessen the cooling requirements. This study focuses on exploring the thermal efficiency and the transfer of heat caused by solar radiation through building facades in the hot and humid climate of Bushehr. Additionally, it examines the impact of facade design strategies inspired by Bushehr's native architecture on decreasing the indoor temperature of the building. The research variables that were examined include wooden shading devices (horizontal, vertical, lattice), porches, deep windows, facade materials, and window-to-wall ratio. Each variable has an effect on various types of energy consumption, such as electricity, heat, heating energy, and cooling, which were analyzed in the study. The purpose of this study is to investigate the relationship between independent and dependent variables and analyze their impact on each other. The study involved simulating each building for all twelve months of the year. This simulation included assessing the amount of solar radiation absorbed by building surfaces, its transfer to the interior, and the resulting cooling load demand. The

* This article is derived from the first author's doctoral thesis entitled "Explain The Strategic Principles Of Design To Reduce The Demand For Cooling Load Based On The Morphology Of Native Residential Architecture In Hot And Humid Climates (Case Study: Bushehr)", supervised by the second author and advised by the third, at Islamic Azad University Sari branch.

** Corresponding Author:
Email: mahdinejad@sru.ac.ir
Phone: +98(912)1580343

Extended ABSTRACT

findings are presented through separate diagrams. In the first step, the behavioral pattern of the building facade with respect to the north-south openness was examined to control and reduce the amount of sunlight received and also to reduce the indoor air temperature subsequently, the study extracted general patterns from indigenous facade components that were related to the structure and function of shading devices, facade materials, and their openings. To understand the historical context of shading devices in Bushehr, the various types of shades present in the buildings of this region were classified, and the different shading solutions used in Bushehr were identified. In line with the purpose of the research, it is necessary to test different types of shading devices as research variables. Then check the type of materials and the dimensions of the openings used in the facades.

FINDINGS: To address the research questions, separate simulations were conducted to evaluate the thermal performance of shading devices, window-to-wall ratio, and facade materials in an apartment building. The optimal variable to reduce the cooling load was selected and applied to the building, and its thermal behavior to improve the thermal performance of future buildings in hot and humid climates was studied as the optimal building. The simulation was performed using Design Builder software with Energy Plus simulator engine and Climate Consultant software version 55 and Ashrae thermal comfort model. The findings indicate that the most efficient facade configuration comprises of vertical blinds, lattice windows, and a white cement facade, which resulted in a cooling load reduction of up to 38% and a total load reduction of up to 33% for the building.

CONCLUSION: The simulation results reveal that the optimal building configuration outperformed both the basic research model and local models on selected days throughout the year, in terms of load testing. This highlights the importance of implementing local solutions in the architecture of hot and humid climates.

HIGHLIGHTS:

- Facade design solutions in the native architecture of Bushehr, including the dimensions of the openings, have a significant effect on controlling the air temperature inside the buildings and reducing the demand for cooling load in the building.
- Facade design solutions in Bushehr architecture, including the type of materials, have a significant effect on heat transfer to the interior and control of indoor air temperature.
- In hot and humid areas, shading device the facades in the form of shimmering, retreating, protruding, porch helps control sunlight and creates shadows on the surfaces.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.

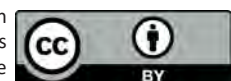
CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Mehdinejad Goodarzi, Z.; Mehdinejad Darzi, J.; Mozaffari Qadiklaei, F., (2022). Principles of Ecological Architecture for Designing Residential Building Facades in Hot and Humid Climates to Lower Indoor Air Temperature Based on Ecological Architecture. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism.*, 13(2): 297-316.



<https://dx.doi.org/10.30475/isau.2021.249604.1524>



https://www.isau.ir/article_167167.html



تبیین اصول طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای

هوای داخلی مبتنی بر معماری بومگرا*

زهرا مهدی‌نژاد گودرزی^۱، جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی^{۲*}، فاطمه مظفری قادیکلایی^۳

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.

۲. استاد، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.

چکیده

مشخصات مقاله

از راهکارهای تاثیرگذار بر کاهش مصرف انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی در ساختمان و نیز کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی آن (افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای)، بکارگیری انرژی غیرفعال می‌باشد. نمای ساختمان‌های مسکونی به عنوان واسطه‌ی اصلی بین فضای داخلی و خارجی عنصر مهمی جهت کنترل تابش نور خورشید به محیط داخلی و کاهش مصرف انرژی هستند. در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر مهم‌ترین پدیده و فرآیند مشهود اقلیمی گرمای هواست، از این رو بررسی راهکارهای اقلیمی جهت کنترل جذب و انتقال حرارت خوشید و کاهش بار سرمایش امری ضروری است. در پژوهش حاضر عملکرد حرارتی و میزان جذب و انتقال تابش خورشیدی به فضای داخل توسط نمای ساختمان آپارتمانی در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر بررسی شد. سپس تاثیر راهکارهای طراحی نمای معماری بومی بوشهر بر کاهش دمای هوای داخلی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. در راستای پاسخگویی به پرسش‌های تحقیق، شبیه‌سازی عملکرد حرارتی سایه‌اندازی، نسبت پنجره به دیوار و مصالح نما به شکل جداگانه بر ساختمان آپارتمانی انجام شد. متغیر بهینه جهت کاهش بار سرمایشی، انتخاب و بر ساختمان اعمال و رفتار حرارتی آن جهت بهبود عملکرد حرارتی ساختمان‌های آینده‌ی اقلیم گرم و مرطوب به عنوان ساختمان بهینه بررسی شد. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر با موتور شبیه‌ساز انرژی پلاس و نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت نسخه ۵۵ و مدل آسایش حرارتی اشری انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌ترین حالت عملکرد نما با سایه‌اندازهای عمودی کرکره‌ای، پنجره مشبک و نمای سیمانی سفید با کاهش بار سرمایشی تا ۳۸ درصد و کل بار مورد نیاز ساختمان تا ۳۳ درصد می‌باشد.

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۰۷/۰۱
تاریخ بازنگری ۱۳۹۹/۱۰/۲۷
تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۲/۱۷
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

واژگان کلیدی

کاهش مصرف انرژی
معماری بومی
سایه‌انداز
نسبت پنجره به دیوار
مصالح نما

نکات شاخص

- راهکارهای طراحی نما در معماری بومی بوشهر از جمله ابعاد بازشوها تأثیر قابل توجهی بر کنترل دمای هوای داخل ساختمان‌ها و کاهش تقاضای بار سرمایشی در ساختمان دارد.
- راهکارهای طراحی نما در معماری بوشهر از جمله نوع مصالح تأثیر قابل توجهی بر انتقال حرارت به فضای داخلی و کنترل دمای هوای داخلی دارد.
- در مناطق گرم و مرطوب با سایه‌اندازی در نماها به شکل شناشیر، عقب نشستگی، پیش‌آمدگی، ایوان موجب کنترل تابش خورشید و ایجاد سایه‌ها در سطوح می‌شود.

نحوه ارجاع به مقاله

مهدی‌نژاد گودرزی، زهرا؛ مهدی‌نژاد درزی، جمال‌الدین و مظفری قادیکلایی، فاطمه. (۱۴۰۱). تبیین اصول طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای هوای داخلی مبتنی بر معماری بومگرا، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۳(۲)، ۲۹۷-۳۱۶.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست با عنوان «تبیین اصول راهبردی طراحی جهت کاهش تضاضای بار سرمایشی مبتنی بر مورفولوژی نماهای معماری مسکونی بومی در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه مورد مطالعه: شهر بوشهر)» می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری انجام گرفته است.

** نویسنده مسئول

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۱۵۸۰۳۴۳

پست الکترونیک: mahdinejad@sru.ac.ir

مقدمه

افزایش مصرف سوخت فسیلی از طرفی و عدم تجدیدپذیری منابع آن، افزایش قیمت و اثرات مخرب زیست محیطی، اقتصادی ناشی از مصرف آن از طرف دیگر، ضرورت استفاده از سیستم‌های غیرفعال را در ساختمان افزایش می‌دهد (Chan, 2015). ساختمان تقریباً ۴۰٪ مصرف انرژی جهان را برای گرمایش، سرمایش و تهویه هوا و سیستم روشنایی استفاده می‌کند. سیستم‌های سرمایشی تقریباً یک سوم مصرف انرژی را در بخش‌های مسکونی شامل می‌شود که معادل با حدود ۱۲٪ از مصرف جهانی انرژی در تمام بخش‌ها است (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). در صورتی که هیچ اقدامی جهت بهبود بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان انجام نشود، مصرف انرژی در سال ۲۰۵۰ ممکن است تا ۵۰ درصد افزایش یابد. بنابراین کاهش مصرف انرژی ساختمان از طریق مطالعات تحقیقاتی و اجرای راهکارهای طراحی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی امری ضروری است (S. Gou et al., 2018: 484-506; T. Susca, 2019:106273).

ساختمان به عنوان یکی از بزرگترین مصرف کنندگان سهم قابل توجهی در حفاظت از انرژی و محیط زیست از طریق طراحی اصولی دارد (L. Be-lussi et al., 2019: 13-14; S. Naylor et al., 2018: 1-10). نمای ساختمان نقش بسزایی در اتلاف بیش از ۴۰٪ گرما به فضای خارج در زمستان و بیش از ۴۰٪ هدایت گرما در تابستان به فضای داخل را دارد (Barozzi et al., 2016; Yan et al., 2020). نمای ساختمان به عنوان واسطه‌ی اصلی بین فضای داخلی و خارجی ساختمان نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد حرارتی آن دارد. با تغییر در رویکرد طراحی نمای ساختمان‌ها و شناخت فرم بهینه‌ی آنها می‌توان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد (Mirrahi et al., 2016: 15-16). دو راهکار مهم جهت بهبود عملکرد حرارتی نمای ساختمان شامل سایه‌اندازها که علاوه بر کاهش مصرف انرژی سالانه، محافظت بهتری را در برابر تابش خیره‌کننده انجام می‌دهد (Gao Y et al., 2018: 1454-1472) و راهکار دوم با هدف بررسی اثر انتقال حرارتی یا مقاومت حرارتی مصالح بکار رفته در نمای ساختمان می‌باشد (Rodrigues et al., 2019, 113437). با کنترل تأثیرات تابش خورشید از طریق طراحی نما منطبق با اقلیم، کاهش انتقال حرارت آن با انتخاب درست مصالح می‌توان میزان تقاضای انرژی داخلی را کاهش داد. تعادل بین انتقال حرارت و نور خورشید از خارج به داخل ساختمان هدف اصلی سایه‌اندازی در نما است (Galiano et al., 2016, 411-428).

در شرایطی که بسیاری از نمای ساختمان‌ها طرح بهینه جهت کاهش دمای هوای داخلی ندارند (Shameri et al., 2011: 1468-1475)، ویژگی‌های

فیزیکی و ساختاری و الگو و هندسه نمای ساختمان تأثیر چشمگیری بر میزان جذب و انعکاس حرارت و تابش نور خورشید، میزان مصرف انرژی دارد (Li et al., 2016:189-201; Hachem & Athienitis, 2014: 9-19). شکل ساختمان، جهت‌گیری ساختمان، دیوارها و مصالح خارجی و داخلی آن، عایق حرارتی نما، ابعاد پنجره، نسبت پنجره به دیوار و سایه‌اندازهای خارجی را می‌توان از پارامترهای تأثیرگذار بر کاهش مصرف انرژی ساختمان معرفی کرد. بهبود عملکرد نمای ساختمان‌ها از طریق مصالح نما، سایه‌اندازی و ساختار نسبت پنجره به دیوار امکان‌پذیر می‌باشد. با چنین رویکردی نماها منطبق با تغییرات شرایط آب و هوایی و محیطی عمل می‌کنند اما فقط برای تعداد کمی از شهرها مورد بررسی قرار گرفته است (Oke, 2018: 24).

افزایش سایه و کاهش نیازهای انرژی، سایه افقی، نسبت پنجره به دیوار و جهت‌گیری ساختمان راهبردهای طراحی که به شکل چشمگیری بر کاهش اثرات تابش خورشیدی بر روی نمای ساختمان و فضای داخلی تأثیرگذار است که موجب کاهش مصرف انرژی می‌شود (Loonen, 2018). سایه‌اندازهای خارجی از طریق جذب و بازتاب تابش خورشید و انسداد تبادل حرارتی تابشی همرفتی و موج‌های طولانی بین نمای ساختمان‌ها و محیط اطراف آن موجب کاهش دمای هوای داخلی می‌شوند (Jiang et al., 2017). از طرفی مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۲۰٪ - ۴۰٪ انرژی در ساختمان از طریق پنجره‌ها هدر می‌رود بنابراین عملکرد انرژی یک ساختمان به شدت تحت تأثیر سیستم‌ها و ابعاد پنجره آنهاست. طراحی و انتخاب پنجره مناسب یکی از موارد ضروری راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها است (M.T. Khasay et al., 2020: 127-139).

انجام پژوهش‌های کاربردی در رابطه با عملکرد حرارتی نما در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها که بخش عمده انرژی سرمایشی و گرمایشی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده‌اند، ضروری است. لذا خلاء برخورد معمارانه در قالب برنامه راهبردی از دیدگاه مورفولوژی (ریخت‌شناسی معماری) احساس می‌گردد. ویژگی‌های طراحی نماها، سایه‌اندازها، پیش‌آمدگی‌ها، عقب‌رفتگی‌ها، مصالح نما، نسبت پنجره به دیوار در نما و نیز جهت‌گیری ساختمان که تأثیر قابل توجهی بر میزان جذب و انتقال حرارت خورشید دارد، از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر میزان کاهش دمای هوای داخلی تأثیر گذار باشد اما در پژوهش‌های گذشته بررسی نشده‌اند. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی راهکارهای طراحی نما در معماری بومی اقلیم گرم و مرطوب بوشهر از جمله شناسیر، طارمه، سایه‌اندازهای کرکره‌ای عمودی و افقی چوبی بر روی بازشوها، پنجره‌های عمیق با تناسبات کشیده و مشبک، مصالح نما با ضریب انتقال حرارت و انعکاس پایین چون آجر، سنگ



طولی و عرضی و جهت یابی مناسب سایه‌اندازها منجر به ۳۹٫۵٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی در جبهه‌ی جنوبی و ۳۶٫۶٪ در جبهه‌ی شرقی می‌شود. این میزان صرفه‌جویی برای کشوری با انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای یک راهکار ارزان قیمت که قادر به کاهش انتشار CO_2 تا $52,7 \text{ kg/m}^2$ در سال را فراهم می‌کند (Djamel Ouahrani & Albert Al Touma, 2017: 32321-32326). در بهینه‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان با سایه‌اندازها به شکل پیش‌آمدگی در نما نشان داده شد که آسایش حرارتی بهبود یافته است و تقاضای بار سرمایشی ۴٫۱٪ کاهش یافته است (Haitham et al., 2018: 30660-30665). در پژوهشی به تحلیل عملکرد پنجره‌های شیشه‌ای با سایه‌اندازهای خارجی از منظر انرژی، روشنایی و آسایش حرارتی پرداخته شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد راحتی پنجره‌ها با سایه‌اندازهای خارجی می‌تواند تحت تأثیر خواص مختلفی از جمله عمق سایه‌اندازها، سرعت نفوذ هوا از طریق حفره بین کرکره‌ها، زاویه شیب از پنجره باشد. نتایج نشان می‌دهد پنجره با سایه‌انداز در نما به کاهش ۶۰٪ مصرف بار سرمایشی در ساختمان کمک می‌کند (Mingzhe et al., 2018: 31095-31099).

طبق بررسی‌های انجام گرفته در شرایط یکسان سایه‌اندازی، بر خلاف نماهای شفاف چون شیشه، نماهای مات جریان گرمای کمتری را به داخل هدایت می‌کنند. نماهای شفاف شیشه‌ای ۳۰ برابر قدرت انتقال تابش و گرمای خورشید را به داخل ساختمان نسبت به دیوارهای مات خارجی دارند. پنجره‌های ساختمان در کاهش ۲۶٪ مصرف انرژی روشنایی و حدود ۲۰٪ از بار سرمایشی در آب و هوای گرم و مرطوب تأثیر دارند اما تحقیقات کمی در رابطه با ویژگی‌های شیشه و ابعاد آنها انجام شده است (Ruben et al., 2010). در بررسی تأثیر شکل پنجره بر روی سرعت انتقال حرارت همرفتی، پنجره‌های مستطیلی با کشیدگی افقی و عمودی، مربع، دایره به ترتیب بهترین عملکرد حرارتی را داشتند. این بدان معنی است که می‌توان با انتخاب مناسب پیکره بندی هندسه پنجره به عنوان یکی از استراتژی‌های غیرفعال برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها استفاده کرد (Meseret et al., 2020: 107139). تحقیقات زیادی به بررسی عملکرد روشنایی سایه‌اندازهای داخلی و خارجی در نمای ساختمان پرداختند، اما به طور کلی تحقیقات محدودی در مورد بررسی پتانسیل حرارتی سایه‌اندازها در نمای ساختمان وجود دارد (M.I. Puy et al., 2017, 180-191).

عملکرد نمای ساختمان در کاهش مصرف انرژی

با استفاده از تکنیک‌های خنک‌کننده فعال، گرمای جذب شده خورشید توسط نمای ساختمان که موجب افزایش سریع حرارت داخلی شده را می‌توان کاهش داد (Galiano et al., 2016: 411-428). از راهکارهای طراحی

های آهکی، سیمان سفید با تاکید بر جهت‌گیری مناسب ساختمان به بررسی رفتار حرارتی ساختمان امروزی پرداخته است.

پیشینه پژوهش

بهبود عملکرد نمای ساختمان موجب کاهش تقاضای انرژی گرمایشی، سرمایشی، مصرف انرژی روشنایی ساختمان و حفظ آسایش ساکنان می‌شود (S. Liu et al., 2018: 24). در شبیه‌سازی خانه‌های کم مصرف در آب و هوای معتدل نشان داده شده است که سایه‌اندازهای خورشیدی برای جلوگیری از گرم شدن فضای داخلی و حفظ نور مناسب روز موثر می‌باشند (Foldbjerg & Asmus, 2013: 36-42). نتایج تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی چهار ساختمان با نما مختلف در مناطق مختلف آب و هوایی نشان می‌دهد که برای داشتن ساختمان‌هایی با کارایی بالا می‌بایست در مراحل اولیه طراحی نمای ساختمان اصول طراحی را رعایت کرد (B. Abedinangerabi et al., 2020: 7-8). نتایج حاصل از بهینه‌سازی نما جهت افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها بر اساس طراحی نمای سازگار با اقلیم در یک اتاق و همچنین یک ساختمان اداری متوسط نشان داده است که نمای سازگار با اقلیم می‌تواند مصرف انرژی را به ترتیب ۱۴٫۹-۲۹٪ و ۱۴٫۲-۲۲٫۳٪ کاهش دهد (Dac-Khuong et al., 2020: 114797).

تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر سایه‌اندازهای خورشیدی بر روی مصرف انرژی نشان داد که تقاضای انرژی ساختمان را می‌توان با استفاده از سایه‌اندازهای خارجی ۳۰٫۸۷ درصد کاهش داد (M. Casini, 2018: 923-934). در تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی و حرارتی یک ساختمان آموزشی با سایه‌اندازهای خارجی نشان داده شد که مصرف انرژی سرمایشی تا ۴۴٪ و میزان کاهش ساعت آسایش حرارتی ۳۴٪ بهبود یافته است (Ji Hun et al., 2020: 30759-30763). در پژوهشی مصرف انرژی ساختمان مسکونی در شرایط آب و هوایی گرم با سایه‌اندازهایی با طول، تعداد و زاویه شیب مختلف تیغه‌ها شبیه‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که تیغه‌های سایه‌انداز بر روی نمای آپارتمان‌ها تا ۸٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به همراه دارند (Sheng Liu et al., 2019: 78-91).

پژوهش‌ها در رابطه با تأثیر سایه‌انداز در نمای کاملاً شیشه‌ای ساختمانی در آب و هوای گرم و خشک نشان می‌دهد که ۳۷٫۲٪ کاهش مصرف انرژی با سایه‌اندازها در جبهه‌ی جنوبی و ۱۱٫۶٪ کاهش مصرف انرژی با سایه‌اندازهای جبهه‌ی شمالی ساختمان را می‌توان شاهد بود (Albert Al Touma & Djamel Ouahrani, 2018: 510-519). نتایج بررسی تأثیر سایه‌اندازهای خارجی در جبهه‌ی جنوب و شرق ساختمان با نمای کاملاً شیشه‌ای بر میزان بار سرمایشی نشان داده است که انتخاب مناسب ابعاد

بنابراین از گرم شدن ساختمان و همچنین محیط اطراف جلوگیری می‌کنند (Calkins, 2008).

حفظ آسایش حرارتی در ساختمان‌ها با استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع بسیار هزینه دارد. تخمین زده می‌شود که تا ۷۰٪ از گرمای ساختمان از طریق نمای و پنجره‌ها حاصل می‌شود. پنجره‌ها به عنوان یک مانع فیزیکی بین محیط داخلی و خارجی عمل می‌کنند و به حفظ آسایش حرارتی برای ساکنان یک ساختمان کمک می‌کند (Jonathan Hey et al., 2019: 32329-32331).

نتایج حاصل از بررسی الگوهای مصرف انرژی در سه ساختمان ویلایی و سه آپارتمان مسکونی نشان داده است که کاهش مصرف انرژی بین ۲۱٪ تا ۳۷٪ با بهره‌گیری از سایه‌اندازهای خارجی در نما ممکن می‌شود (Aldossary et al., 2014: 353-365).

بررسی تاثیر نسبت پنجره به دیوار در ساختمان‌های اداری بلندمرتبه در ایران با توجه به تقاضای انرژی و همچنین شناخت عملکرد حرارتی نمای ساختمان به عنوان یکی از اجزای مؤثر در صرفه‌جویی انرژی نشان داد که ۲۰٪ کاهش در نسبت پنجره می‌تواند مصرف انرژی سالانه ساختمان را تا ۱۷٪ کاهش دهد (Ghiyae et al., 2013: 45-55). نتایج حاصل از بررسی میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه یک ساختمان اداری در سه شهر از اقلیم گرم و خشک در شرایط مختلف نسبت پنجره، نوع پنجره و نوع سیستم تهویه مطبوع نشان داده است که با افزایش نسبت پنجره به دیوار مصرف انرژی کل خصوصاً در جبهه‌های شرق و غرب ساختمان افزایش می‌یابد (Yang et al., 2015: 1-17).

فناوری‌های جدید در طراحی نمای ساختمان ممکن است جنبه‌های دیگر طراحی و ساخت را به خطر بیندازد و مزایای آن را نفی کند از این رو باید ابزار و رویکردی اصولی در طراحی نماها اتخاذ کرد. طراحی پارامترهایی که روی عملکرد نما تأثیر می‌گذارد بسیار زیاد است، ولی ایجاد یک اصل کلی که برای هر شرایط آب و هوایی مناسب باشد، دشوار است. در آب و هوای گرم و مرطوب به دلیل گرما و رطوبت بالای هوا، طراحی نما با هدف دستیابی به پایداری ساختمان چالش بزرگی می‌باشد. مفاهیم جدید و پیشرفت‌های تکنولوژیکی به منظور افزایش عملکرد نمای ساختمان و گزینه‌های مختلف، طراحی را برای معماران و مهندسان برای شناسایی مناسب‌ترین رویکرد به یک کار پیچیده و چند وجهی تبدیل می‌کند. نیاز به همکاری میان رشته‌ای بین معماران و متخصصان طراحی پایدار در مراحل اولیه طراحی و ساخت ضروری می‌باشد (Edward Halawaa et al., 2017: 11-12).

روش تحقیق

هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی تاثیر راهکارهای

نما جهت کنترل گرمای خورشید به جهتگیری و فرم ساختمان، بیرون‌زدگی و عقب‌سستگی نما، پیش‌آمدگی لبه بام (Pacheco et al., 2012: 73) و سایه‌اندازهای خورشیدی به شکل تیغه‌های غلتکی، افقی، عمودی و کرکره‌ای و... می‌باشد (Bellia et al., 2013: 190-201). مصالح نما علاوه بر تقویت حس زیبایی شناختی، در کاهش بار حرارتی (Ihar et al., 2015: 32-42)، کنترل مصرف انرژی ساختمان و افزایش آسایش حرارتی ساکنان (K. Fabbri et al., 2020: 54) نقش به‌سزایی دارد.

خود سایه‌اندازی در نمای ساختمان رویکرد دیگری که توسط برخی محققان ارائه شده که فرم ساختمان می‌تواند بدون نیاز به سایه‌اندازهای خارجی گرما و نور خورشید را کنترل کند و دمای هوای داخلی را کاهش دهند (L. Valladares-Rendon et al., 2017: 458-479). سایه‌اندازها نه تنها یکی از محبوب‌ترین راهبردهای مورد استفاده طراحان برای بهبود عملکرد محافظت ساختمان از گرمای مستقیم خورشید (Kirimtat et al., 2016: 23-49) می‌باشند، بلکه کنترل نفوذ نور طبیعی را بر عهده دارد (Yao et al., 2016: 272-278). سایه‌اندازهای خورشیدی یکی از مهمترین استراتژی‌های طراحی نمای ساختمان جهت کنترل میزان گرمای خورشید به ویژه در مناطق گرمسیری می‌باشد (Lima et al., 2013). سایه‌اندازها با شکستن نور مستقیم خورشید آن را به شکل نور پراکنده با شدت کمتر منتشر می‌کند. همچنین میزان گرمای منتشر شده از منابع خارجی مانند ساختمان‌های اطراف را کنترل می‌کند. سایه‌انداز را می‌توان با استفاده از عناصر ساختمانی مانند لورها، تیغه‌های افقی، قفسه نور، فرورفتگی‌ها طراحی نمود. سایه‌اندازها با شکستن نور مستقیم خورشید آن را به شکل نور پراکنده با شدت تابش کمتر منتشر (Al-Obaidi et al., 2014: 178-191) و میزان گرمای منتشر شده از منابع خارجی مانند ساختمان‌های اطراف را کنترل می‌کند (Kirimtat et al., 2016: 23-49).

مصالح ساختمانی مناسب در نمای ساختمان یک روش مناسب برای بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری است. مصالح با مقاومت حرارتی بالا و در نتیجه کاهش سرعت جریان انتقال گرما از طریق نمای ساختمان به کاهش دمای هوای داخلی کمک می‌کند. (L. Aditya et al., 2017: 1352-1365) مقاومت حرارتی پایین مصالح و نماهای غیر اصولی ساختمان‌ها موجب افزایش درجه حرارت هوا در محیط داخلی و مصرف انرژی فعال می‌شود (E. Stéphan et al., 2014: 241-248). علاوه بر ضخامت، جرم و ضریب انتقال حرارتی مصالح دیوارها نیز عامل مهمی در کاهش مصرف انرژی است (Lyons, 2007: 330-337). رنگ مصالح در جذب انرژی مؤثر است به گونه‌ای که مصالحی با رنگ روشن جذب حرارتی کمتری دارند و انرژی خورشید را منعکس می‌کنند،



بوده و خروجی‌های شبیه‌سازی شده مصرف انرژی بر حسب kWh می‌باشد.

متغیرهای تحقیق شامل سایه‌اندازه‌های کرکره‌ای چوبی (افقی، عمودی، مشبک)، ایوان، پنجره‌های عمیق، مصالح نما و نسبت پنجره به دیوار می‌باشد که تاثیر هر یک بر اشکال مختلف مصرف انرژی مانند انرژی برق، انرژی حرارتی، انرژی گرمایشی و سرمایشی بررسی می‌شود. هدف پژوهش حاضر بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته و تجزیه و تحلیل میزان تاثیرگذاری آنها بر یکدیگر می‌باشد. شبیه‌سازی هر یک از ساختمان‌ها در تمامی ماه‌های سال، از لحاظ میزان جذب تابش خورشیدی توسط سطوح ساختمان و انتقال آن به فضای داخلی و میزان تقاضای بار سرمایش انجام شده است و توسط نمودارهای مجزا ارائه شده‌اند. در گام اول الگوی رفتاری نمای ساختمان با توجه به گشیدگی شمالی-جنوبی، را بر کنترل و کاهش میزان تابش دریافتی خورشید و نیز کاهش دمای هوای داخلی بررسی شد. سپس کلیاتی از مولفه‌های بومی نما مربوط به عملکرد و ساختار سایه‌اندازه‌ها، مصالح نما و بازشوهای آنها استخراج گردید. جهت درک عملکرد سایه‌اندازه‌ها در بافت تاریخی بوشهر، انواع سایه‌اندازه‌ها در عمارت‌های این بافت دسته‌بندی و انواع راهکارهای سایه‌اندازی در بوشهر مشخص گردید (شکل ۱ الی ۴). در راستای هدف پژوهش لازمست تا انواع سایه‌اندازه‌ها به عنوان متغیرهای تحقیق مورد آزمون قرار گیرند. سپس نوع مصالح بکار رفته شده در نماها و ابعاد بازشوها بررسی شود.

جهت انتخاب مدل مناسب برای شبیه‌سازی، الگو و تیپ و جهت‌گیری مناسب از بین پلان‌های خانه‌های مسکونی ۱۰ محله از شهر انتخاب شد. در مشاهده و ثبت الگوی ساختاری پلان ساختمان‌ها تیپ و جهت‌گیری غالب به عنوان مدل اصلی تحقیق انتخاب شد. سپس میزان جذب و انتقال حرارت و میزان تقاضای بار سرمایشی ساختمان بررسی شده است. در نتیجه با هدف کاربست الگوی بهینه بومی ارایه شده برای ساختمان‌های آینده در اقلیم گرم و مرطوب متغیرها را به چند دسته تقسیم شده است. ۱- دسته اول متغیرها شامل نوع سایه‌اندازه‌های نما

طراحی نما معماری بومی بوشهر بر کاهش دمای هوای داخلی ساختمان می‌باشد. پژوهش حاضر در چارچوب اهداف تحقیق به مطالعه شرایط اقلیمی بوشهر با استفاده از داده‌های اقلیمی ای-پی-دبلیو^۱ و نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت^۲ نسخه ۵۵ و مدل آسایش حرارتی اشری^۳ انجام شد. این نرم‌افزار جهت بررسی ساختمان‌های بدون سیستم‌های مکانیکی و با تهویه طبیعی در نظر گرفته شده است. وضعیت اقلیمی بوشهر طی ده سال گذشته بررسی و ماه‌های مناسب از نظر وضعیت رطوبت نسبی، دما در شب و روز و عوامل ایجاد کننده شرایط آسایش حرارتی در روز و شب و جهت‌گیری شمالی و جنوبی ساختمان معین شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار دیزین بیلدر^۴ (ورژن ۵) به مدلسازی و شبیه‌سازی ساختمان آپارتمانی امروزی و آپارتمان بهینه در مصرف انرژی پرداخته است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر قابلیت مدلسازی فیزیک ساختمان شامل مصالح ساختمانی، معماری ساختمان، سیستم‌های حرارتی (سرمایشی و گرمایشی)، سیستم روشنایی را دارد. مدلسازی و ارزیابی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصرف انرژی روشنایی، آب گرم مصرفی توسط این نرم‌افزار امکان‌پذیر است. شبیه‌سازی ساختمان آپارتمانی در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر انجام شده است. با توجه به اینکه عملکرد ساختمان مسکونی می‌باشد، برای تعریف فضای داخلی و مشخصات کلی ساختمان از قالب مسکونی نرم‌افزار بهره گرفته شده است تا مقیاس‌های شبیه‌سازی در حد مسکونی و کلیه ریز فضاها در قالب بخش‌های حرارتی دارای عملکرد مسکونی باشد. سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع در ساختمان که بیشترین میزان مصرف انرژی را شامل می‌شوند، باید دارای سیستم تنظیم جهت کنترل دمای هوای داخلی تا حداکثر ۲۰ درجه در ماه‌های سرد و حداقل ۲۶ درجه در ماه‌های گرم سال تنظیم شوند. از این رو در تنظیم و ورودی داده‌های شبیه‌سازی در نرم‌افزار این موارد رعایت شده و دمای برگشت گرمایش^۵ و دمای پرپشت سرمایش^۶ مطابق با مدل آسایش حرارتی اشری ۵۵ در تابستان در دمای ۲۶ درجه سانتیگراد تنظیم شده است. با توجه به اقلیم گرم و مرطوب سوخت مصرفی مورد استفاده برای سیستم سرمایش ساختمان الکتریسیته

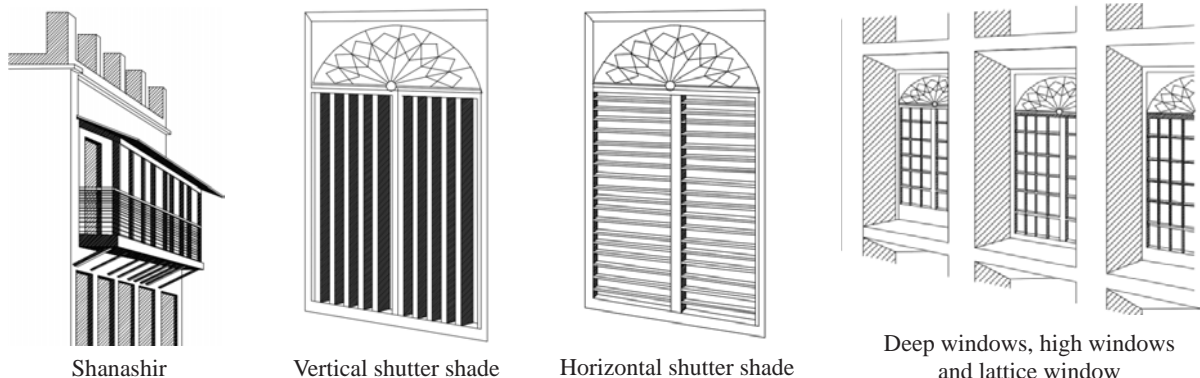


Fig. 1. The graphic pattern of shading types on the facade of native buildings of Bushehr's historical context (Bushehr Cultural Heritage)

مرداد به اندازه ۴۵ درجه سانتیگراد می‌باشد اما به دلیل اینکه این عدد به طور میانگین ۱٪ از دماهای روز در فصل گرم می‌باشد، برای طراحی ساختمان تا ۴۲ درجه را می‌توان در نظر داشت. مطابق با شکل ۳ و اندازه‌های میانگین ساعتی داده‌های دمای هوای تر و دمای هوای خشک نشان دهنده رطوبت بالای هوا در بوشهر می‌باشد. از طرفی مجموع انرژی تابشی از آسمان و خورشید به طور قابل توجهی با انرژی تابشی عمود بر ساختمان برابر است به همین دلیل کنترل تابش‌های دریافتی ضرورت پیدا می‌کند. رطوبت هوا در تمام فصل سال بالا و در فصل گرم سال در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد دمای هوای خشک بیشتر از حد آسایش می‌باشد که بیانگر ضرورت استفاده از سیستم‌های خنک کننده است (شکل ۴).

طبق شکل ۵ و با توجه به دمای بالای ۲۷ درجه سانتیگراد بوشهر، ۱۷۳۴ ساعت از سال استفاده از سایه‌اندازها در نما ضروری است و هیچ ساعتی سایه ای در نما وجود ندارد. محدوده آسایش تابش خورشید برابر با ۲۸۶ ساعت و ساعات خنکی هوا برابر با ۱۸۸ ساعت می‌باشد که بسیار ناچیز در مقابل ساعات گرم است. سایه‌اندازهای عمودی با زاویه ۴۰ درجه و سایه‌اندازهای افقی با زاویه ۶۰ و ۳۰ درجه در نمای ساختمان می‌تواند تابش مستقیم خورشید را کنترل کند (شکل ۶). در ۱۵٪ از ساعات سال ساختمان نیاز به تامین آسایش حرارتی ندارد. در ۲۳،۹٪ از ساعات سال نیاز به سایه‌انداز وجود دارد و در هیچ ساعتی در سال نیاز به رطوبت نیست در چنین شرایطی می‌توان به ۱۰۰٪ آسایش حرارتی در ساختمان رسید. بر طبق خروجی‌های نرم‌افزار کلاسیک کانسالنت ۳۷٪ طراحی سایه‌انداز در نمای ساختمان، ۲۶٪ در نظر نگرفتن بازشوها در نمای غربی برای کنترل تابش خورشید در بهار و تابستان، ۳۳٪ پلان کشیده، ۴۳٪ مصالح ساختمانی با رنگ روشن، ۱۹٪ سایه‌اندازی در نمای جنوبی موجب تامین آسایش حرارتی می‌شود.

تقاضای بار حرارتی در ساختمان آپارتمانی

مدلسازی و شبیه‌سازی ساختمان آپارتمانی با هدف بررسی عملکرد نما در کنترل حرارت فضای داخلی در شهر بوشهر انجام شده است. ساختمان در ۶ طبقه با جهت‌گیری شمالی-جنوبی با نمایی مسطح بدون سایه‌انداز، با مصالح سنگ گرانیت در نما ساخته شده است (شکل ۷). پنجره‌های ساختمان به سمت شمال و جنوب می‌باشد (جدول ۱). به دلیل تابش شدید خورشید در ضلع جنوبی ضرورت بررسی عملکرد متغیرها جهت مقابله با جزیره گرمایی در نمای ساختمان مهم است. ضریب انتقال خورشیدی (SHGC) مصالح نما ۰/۷۰۴، ضریب انتقال نور شیشه‌ها برابر با ۰/۸۸۱، ضریب انتقال مستقیم خورشیدی ۰/۶۰۴، ضریب هدایت حرارتی مصالح نما ۲/۶۲۶ و ۲/۵۱۱، ضریب انتقال حرارت دیوار خارجی $337,1 \text{ W/M}^2\text{K}$ و ضریب انتقال حرارت سقف $164,1 \text{ W/M}^2\text{K}$ در نظر گرفته شده است.

که عنصر شناشیر در نما، عقب نشستگی پنجره‌ها به عمق ۶۵ سانتیمتر (مطابق با نمونه‌های بومی)، سایه‌اندازهای کرکره‌ای عمودی چوبی، سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی چوبی و سایه‌اندازهای مشبک چوبی می‌باشند؛ ۲- دسته دوم که شامل مصالح نما می‌باشد که به چهار نوع سنگ آهکی، سیمان سفید و آجر نما (از مصالح بومی) و سنگ گرانیت به عنوان مصالحی نوین؛ ۳- دسته سوم شامل متغیرهای مرتبط با تناسبات بازشوها به نمای ساختمان می‌باشد. با توجه به نسبت ۶۰٪ بازشوها در معماری بومی منطقه، با حفظ درصد فوق ابعاد بازشوها تغییر پیدا کرد که سه تیپ شامل پنجره‌هایی به ابعاد $1,80 \times 2,20$ و $1,20 \times 2,20$ در ضلع شمالی ساختمان و پنجره به ابعاد $1,80 \times 2,20$ در ضلع جنوبی ساختمان، پنجره‌هایی به ابعاد 2×1 و 2×2 در ضلع شمالی ساختمان و پنجره‌هایی به ابعاد 2×2 در ضلع جنوبی، پنجره‌ها شامل پنجره‌هایی به ابعاد $1,60 \times 2,60$ و $2,60 \times 0,8$ در ضلع شمالی ساختمان و پنجره به ابعاد $1,60 \times 2,60$ در ضلع جنوبی و پنجره‌های مشبک به ابعاد 2×1 و 2×2 در ضلع شمالی ساختمان و پنجره‌هایی به ابعاد 2×2 در ضلع جنوبی می‌باشد، تقسیم شده و میزان تاثیر هر یک بر کاهش دمای هوای داخلی ساختمان بررسی شده است. بهترین متغیرها از لحاظ کاهش بار سرمایشی در هر دسته انتخاب و در نهایت به عنوان متغیر بهینه در ساختمان آپارتمانی اعمال شده است. خروجی‌های نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت تحلیل نتایج به شکل جداول تابش دریافتی، انرژی سیستم گرمایش و سرمایش و انرژی کل و نمودارهای تابش دریافتی حرارت خورشیدی سطوح در طول سال برای هر دسته از متغیرها به شکل مجزا آورده شد.

مطالعات اقلیمی شهر بوشهر

استان بوشهر در کرانه دریای خلیج فارس قرار دارد. استان بوشهر بین ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد و دارای اقلیم گرم و مرطوب می‌باشد. از ویژگی‌های آب و هوایی آن، تابستان‌های بسیار گرم و مرطوب و زمستان‌های معتدل است. مدل آسایش حرارتی استاندارد اشری ۵۵ و تحلیل اقلیمی با پیش فرض رطوبت نسبی ثابت ۷۰٪ برای شهر بوشهر توسط نرم‌افزار کلاسیک کانسالنت انجام شد. با توجه به شکل ۲، دمای آسایش حرارتی در بهار ۲۰،۵ تا ۲۴،۵ و در تابستان ۲۴،۵ تا ۲۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. میانگین بالاترین دما در بازه زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور برابر با ۴۲ درجه سانتیگراد و از ۱۱ دی تا ۹ اسفند در روز و شب نیاز به گرمایش است. از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی و از ۱۱ اسفند تا ۱۱ فروردین در شب نیاز به گرمایش بوده و روزهای این ماه‌ها آسایش حرارتی برقرار است. در شب و روز از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور نیاز به سرمایش وجود دارد. بیشترین دمای هوا در ماه



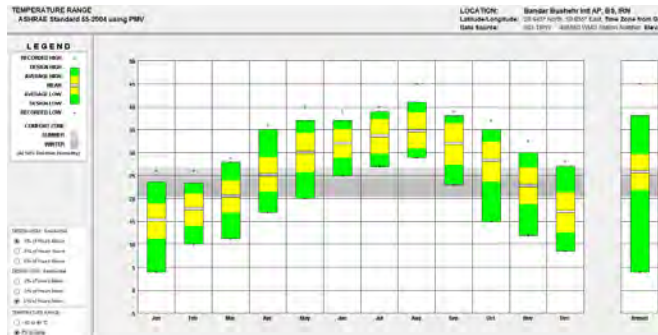


Fig. 2. Bushehr air temperature in comparison with thermal comfort conditions

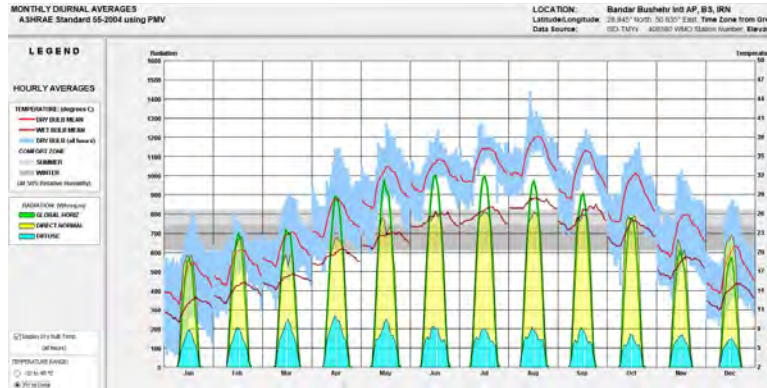


Fig. 3. Hourly average data of wet air temperature, dry air temperature and radiation received in Bushehr

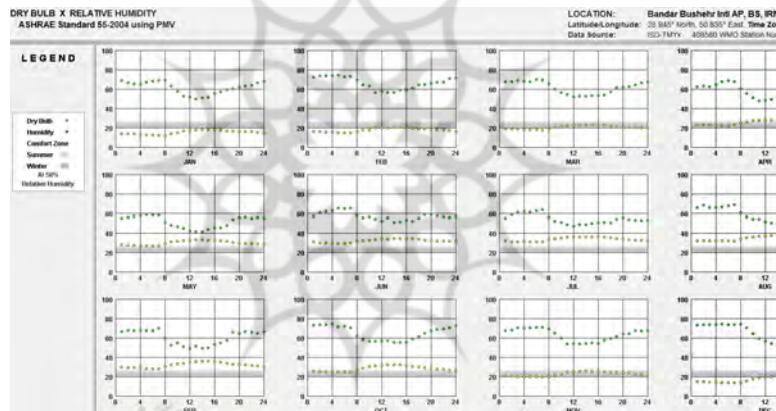


Fig. 4. Hourly average of wet air temperature and dry air temperature data of Bushehr

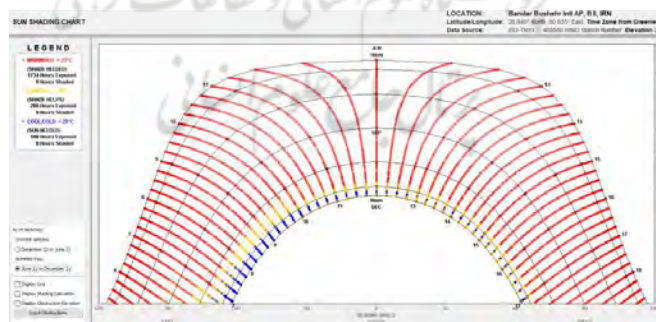


Fig. 5. Shade and sunlight of Bushehr city

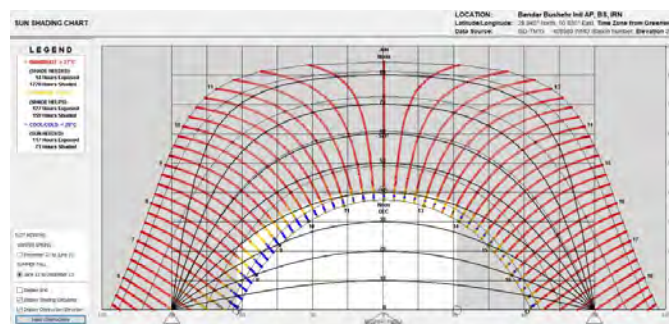


Fig. 6. Appropriate building shades in Bushehr





Fig. 7. Specifications of the selected building in Bushehr, from left to right: 1. Floor plan; 2. A-A section; 3. North view; 4. 3D simulation

Table 1. Technical and general specifications of today's building

Architectural-structural features (General features)							
Geometry of the plan	Spatial arrangement of the plan	Dimensions of the plan	Number of floors	Height of floors	Occupancy level Floors	Occupied volume	Skeleton type
Rectangle	Open plan	50/11 * 10/26 m	6 floors	3 m floor to floor (280 cm height of floors and 20 cm thickness of ceiling)	m2 1346.1	m24362.2	Metal
Architectural-structural features (Features of components and walls)							
	The outer layer of the roof of the floors	the inner layer of the roof	Exterior wall	The outer wall	The inner layer of the wall	The wall layer	The windows of the building
Materials	Concrete	Concrete	Gypsum	Granite	Gypsum	Bricks	Single-walled glass with wooden frames
Thickness (meters)	0/01	0.2	0.2	0.2	0.02	0.1	0.06

مصالح بومی می‌تواند راه حل مناسبی جهت مقابله با نور خورشید باشد. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که بار سرمایشی ساختمان آپارتمانی $191,1 \text{ Kwh/m}^2$ و بار گرمایشی آن برابر با $9,8 \text{ Kwh/m}^2$ است. مصرف انرژی سیستم روشنایی برابر با $19,2 \text{ Kwh/m}^2$ و انرژی سیستم تجهیزات برابر با $7,1 \text{ Kwh/m}^2$ است. با استناد به اندازه‌های فوق، هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر راهکارهای بومی طراحی نما بر کاهش دمای هوای داخلی ساختمان آپارتمانی می‌باشد از این جهت به بررسی متغیرهای تحقیق و تاثیر هر یک از آنها بر رفتار حرارتی ساختمان پرداخته شده است.

آزمون متغیرهای تحقیق در ساختمان آپارتمانی

در راستای آزمون هر یک از متغیرهای نوع سایه‌اندازها، مصالح نما و نسبت اندازه بازشوها به کل نما در سه دسته به صورت مجزا بر روی ساختمان آپارتمانی بررسی و شبیه‌سازی شد. آپارتمان دارای ۶ طبقه می‌باشد که در ضلع شمالی دو پنجره به ابعاد 2×2 متر و دیگری به ابعاد 2×1 متر و یک بالکن به ابعاد $6 \times 0,8$ متر و در ضلع جنوبی ساختمان پنجره ای به ابعاد 2×2 متر و بالکنی به ابعاد 5×1 متر قرار دارد. ۵ نوع سایه‌انداز بومی در نمای شمالی و جنوبی ساختمان آپارتمانی به شکل شناسیر، سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی چوبی، سایه‌اندازهای کرکره‌ای عمودی، سایه‌اندازهای مشبک چوبی، عقب نشستگی پنجره‌ها به عمق $0,65$ متر (مطابق با نمونه های بومی)، جهت کنترل تابش نور و گرمای خورشید و سایه‌اندازی

با توجه به گرمای طاقت فرسا و رطوبت بالای بوشهر، میزان تقاضای بار گرمایشی تنها در ۳ ماه آذر، دی و بهمن و بار سرمایشی در ۹ ماه از سال نیاز است، بار غالب ساختمان بار سرمایشی است از این رو استفاده از راهکارهای طراحی جهت مقابله با جزیره گرمایی امری ضروری می‌باشد (شکل ۸). با شبیه‌سازی ساختمان آپارتمانی انتقال حرارت توسط جداره های مختلف و مجموع تابش دریافتی سالانه ساختمان بررسی شده است. نتایج نشان دهنده آن است که بیشترین هدر رفت انرژی مربوط به دیوار خارجی ساختمان و در ماه مرداد است و در زمستان به کمترین مقدار خود می‌رسد. از طرفی مجموع تابش دریافتی سالانه ساختمان از طریق سقف بیشترین و در دیواره های ضلع غربی کمترین میزان خود را دارد (شکل ۹). کمترین تقاضای بار سرمایشی در فروردین ماه به اندازه $10716,2 \text{ wh/m}^2$ و بیشترین مقدار در مرداد ماه و برابر با $37656,3 \text{ wh/m}^2$ می‌باشد. از طرفی تقاضای بار گرمایشی در طول ۶ ماه صفر می‌باشد. تقاضای بار سرمایشی در دوره ی سرما در ماه‌های آذر، دی، بهمن به اندازه صفر و حداکثر $21381,1 \text{ wh/m}^2$ در ماه مهر می‌باشد. تقاضای بار گرمایشی در دوره سرما در ماه‌های مهر، آبان و اسفند برابر با صفر و تنها در ماه دی به بیشترین مقدار خود $9250,161 \text{ wh/m}^2$ می‌رسد (جدول ۲). به نظر می‌رسد استفاده از راهکارهای معماری بومی منطقه از جمله تکنیک‌های سایه‌اندازی، فرورفتگی در نما، کنترل دهانه‌ها از طریق تناسبات بازشوها با نما و



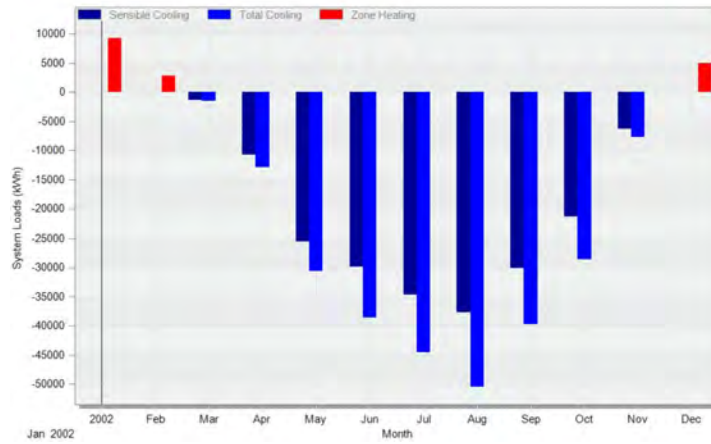


Fig. 8. Building cooling and heating load demand

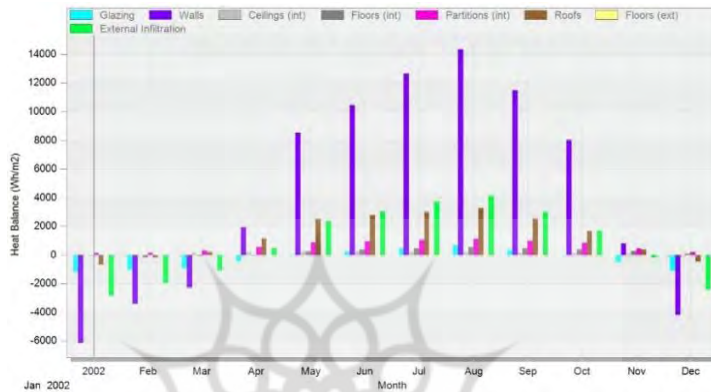


Fig. 9. Heat transfer of different walls of today's building

Table 2. Comparison of heat load demand of buildings in hot and cold periods of the year

Thermal load of the building in the heating period kWh								
	April	May	June	July	August	September	Minimum and maximum	Heat load Average heat load
Cooling load	-10716.2	-25587.8	-29874.2	-34627.4	-37656.3	-30045.6	Minimum -10716.2 Maximum -37656.3	-28084.5
Heating load	0	0	0	0	0	0	Minimum 0 Maximum 0	0
Thermal load of the building in the cold period kWh								
	October	November	December	January	February	March	Minimum and Maximum	heat load Average heat load
Cooling load	-21381.1	-6338.7	0	0	0	-1329.96	Minimum 0 Maximum -1329.96	-8174.9
Heating load	0	0	5018.485	9250.161	2803.85	0	Minimum 0 Maximum 9250.161	-2845.416

پنجره کوچک ۱×۲×۰٫۶۵ متر می باشد (شکل ۱۱). تیغه های افقی در قسمت بیرونی پنجره های شمالی و جنوبی جهت جلوگیری از افزایش دمای هوای داخلی ناشی از تابش گرمای خورشید بر بدنه ی ساختمان نصب شده اند. با توجه به شرایط اقلیمی تیغه ی کرکره ها به صورت افقی و با ضخامت ۰٫۲۵ متر به طول ۲ و ۱ متر و عرض ۰٫۲ و فاصله ی ۰٫۳ متر بین تیغه ها می باشند (شکل ۱۲). نوع دیگر تیغه های عمودی در قسمت بیرونی پنجره های شمالی و جنوبی جهت جلوگیری از افزایش دمای هوای داخلی ناشی از تابش گرمای خورشید بر بدنه ی ساختمان نصب شده است. تیغه ی کرکره ها به صورت عمودی و با ضخامت ۰٫۲۵ متر به طول ۲ متر و عرض ۰٫۲

در ساختمان تقسیم بندی شده است. هر کدام از متغیرها به صورت مجزا شبیه سازی و عملکرد آنها بر کاهش دمای هوای داخلی بررسی می شود.

*** سایه اندازها**

دسته اول متغیرها شناسیرهایی به ابعاد ۱٫۵×۶ متر و ارتفاع ۳ متر در پنج طبقه در جبهه ی شمالی ساختمان و در جبهه ی جنوبی با بیشترین میزان تابش خورشید تعبیه شده است تا میزان تاثیرگذاری آن بر کاهش دمای هوای داخلی بررسی شود (شکل ۱۰). میزان فرورفتگی پنجره ها در ضلع شمالی و جنوبی به اندازه ۰٫۶۵ متر می باشد. قاب بندی پنجره ی بزرگ در سمت شمال ۲×۲×۰٫۶۵ متر و همینطور

مقایسه با سایه‌اندازی با کرکره‌های عمودی که تابشی برابر با $598,9385 \text{ kWh}$ را دریافت می‌کند، اختلاف قابل توجهی دارد (شکل ۱۵).

بدیهی است با افزایش دمای هوای بیرونی ساختمان، تقاضای مصرف انرژی جهت کاهش گرمای منتقل شده به داخل افزایش می‌یابد. از طرفی سایه‌اندازها قابلیت کنترل تابش دریافتی در ساختمان را دارند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در هر ۵ حالت سایه‌اندازی در ماه‌های آذر، دی و بهمن تقاضای بار سرمایشی صفر است اما در ماه‌های دیگر سال متناسب با تغییرات دمای هوا اندازه‌های متفاوتی دارد. در تابستان که گرمای هوا شدت می‌یابد، در ماه مرداد بیشترین تقاضای بار سرمایشی ساختمان در حالت سایه‌اندازی با پنجره‌های عمیق به اندازه $43995,6 \text{ kWh}$ و کمترین میزان تقاضای بار سرمایشی در حالت سایه‌اندازی با تیغه‌های کرکره‌ای عمودی با اندازه $40324,5 \text{ kWh}$ می‌باشد (شکل ۱۶).

انرژی کل ساختمان در حالت سایه‌اندازی با پنجره‌های عمیق بیشترین با اندازه 180937 kWh و در حالت سایه‌اندازی با سایبان عمودی کرکره‌ای در کمترین مقدار با اندازه 169671 kWh می‌باشد (جدول ۳). اعداد بدست آمده گویای آن است که سایه‌اندازهای کرکره‌ای عمودی گزینه بهینه جهت کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌باشد (شکل ۱۷).

* مصالح نمای ساختمان آپارتمانی

میزان جذب سطوح خارجی، شدت تابش خورشید در تماس با سطوح، ضریب جذب و انعکاس سطوح خارجی، میانگین دمای تابشی محیط خارجی بر میزان جذب و انعکاس تابش خورشید موثر است. قابلیت جذب سطوح خارجی به سختی مصالح و رنگ آنها بستگی دارد که بسته به نوع و جنس مصالح، ضریب جذب متفاوتی دارند. پژوهش حاضر چهار نوع مصالح آجر، سیمان سفید، سنگ آهک، سنگ گرانیت را در نمای ساختمان مورد شبیه‌سازی قرار داده و رفتار حرارتی هریک و میزان تابش دریافتی و میانگین دمای سطوح را در چهار جهت ساختمان بررسی کرده است (شکل ۱۸). ۱- متغیر اول آجر با ابعاد $7/2 \times 5 \times 20$ سانتیمتر از خاک‌های رس تشکیل شده است. ضریب انتقال حرارت آجر برابر با $W/(j/kg-k)$ $0,84$ ، گرمای خالص آن 800 و تراکم آن $1700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ می‌باشد؛ ۲- متغیر دوم سیمان سفید است به دلیل مقاومت بالایی که در برابر عوامل جوی همچون رطوبت در مناطق با آب و هوای مرطوب به خصوص در بوشهر دارد، به عنوان مصالح نمای بیرونی استفاده می‌شود. ضریب انتقال حرارت سیمان سفید برابر با $W/(m^2K)$ $0,7$ ، گرمای خالص آن 840 (j/kg-k) و تراکم آن $1600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ می‌باشد؛ ۳- متغیر سوم سنگ گرانیت با ضریب انتقال حرارت $W/(m^2K)$ $3,4$ ، گرمای خالص آن 840 (j/kg-k) و تراکم

فاصله‌ی $0,3$ متر می‌باشند (شکل ۱۳). تیغه‌های مشبک در قسمت بیرونی پنجره‌های شمالی و جنوبی نصب شده‌اند. با توجه به شرایط اقلیمی تیغه‌های آن به صورت عمودی و افقی و با ابعاد $0,55 \times 0,25$ متر و $0,55 \times 0,25$ مدلسازی شده است (شکل ۱۴).

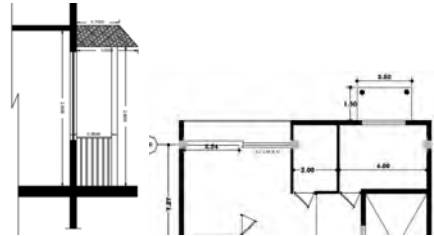


Fig. 10. Shanashir on the north facade of the building

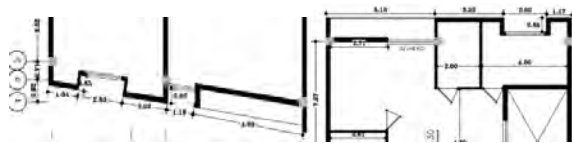


Fig. 11. Deep window on the north and south facades of the building

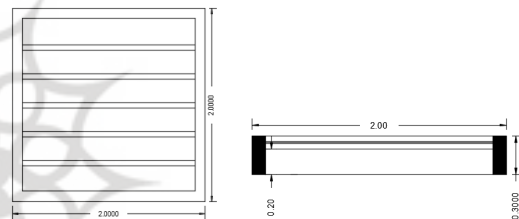


Fig. 12. Horizontal shutter shading of the north and south facades of the building

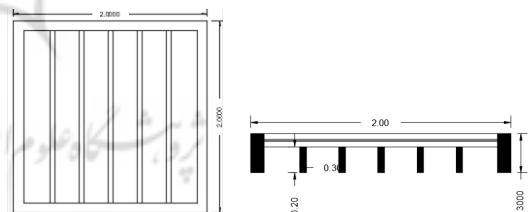


Fig. 13. Vertical shutter shading of the north and south facades of the building

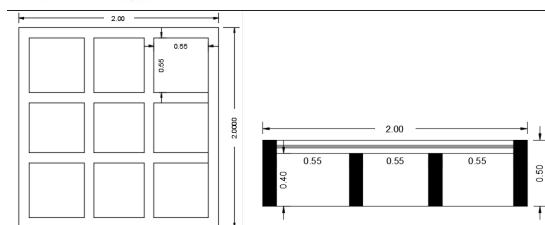


Fig. 14. North and south lattice shading of the building

شناشیر در تابستان مقدار $4361,065 \text{ kWh}$ از تابش نور خورشیدی را از طریق بدنه ساختمان دریافت می‌کند. این میزان تابش دریافتی در ماه‌های خرداد تا شهریور به بیشترین اندازه خود می‌رسد سایه‌اندازی با کرکره‌ای افقی و مشبک و پنجره‌های عمیق به نسبت شناشیر تابش خورشیدی کمتری را در طول سال دریافت می‌نمایند. این مقادیر در



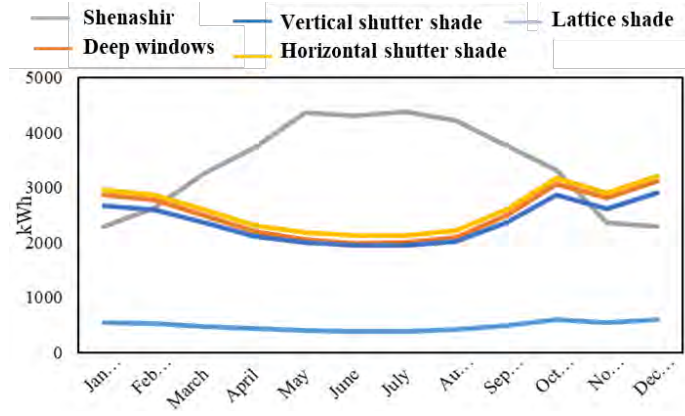


Fig. 15. Comparison of total radiation received from external windows in different shades

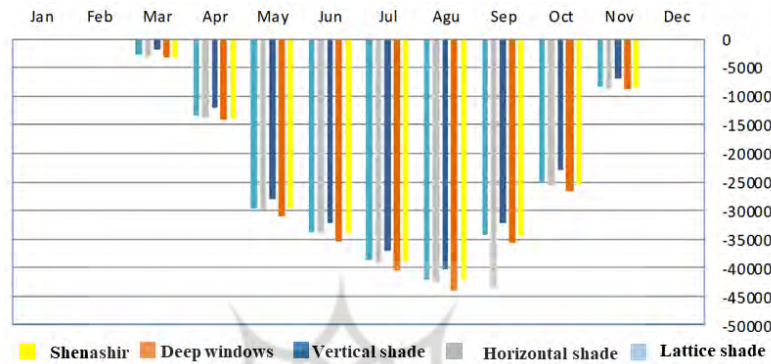


Fig. 16. Comparison of building cooling load during the year with different shades

Table 3. Shadow simulation results kWh

	Input radiation (kWh)	Cooling load (kWh)	Total building energy (kWh)
Shenashir	40966	160307	176024
Vertical shutter shade	5802	150596	169671
Deep windows	29980	164503	180937
Horizontal shutter shade	31320	160583	176214
Lattice shade	28448	159474	175411

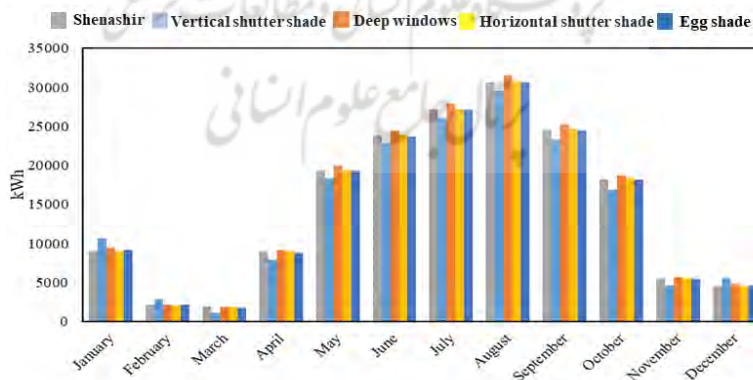


Fig. 17. Total building energy throughout the year

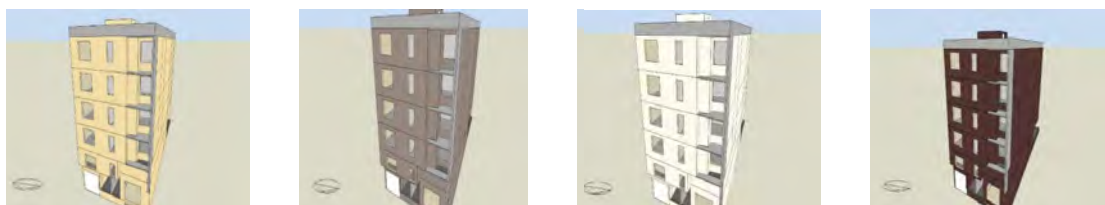


Fig. 18. Different types of materials in the facade of the selected building in Bushehr, from left to right: Facade with limestone; Facade with granite; Facade with white cement; Brick facade

ساختمان با نمای آجری به اندازه $43215,1 \text{ kWh}$ - برای مصالح آجری و حداقل آن $41554,8 \text{ kWh}$ - برای نمای سیمان سفید می‌باشد (شکل ۲۰). از طرفی حداکثر مجموع بار گرمایشی و سرمایشی نیز در نمای آجری و برابر با 178371 kWh و حداقل آن در نمای سیمان سفید و برابر با 173038 kWh می‌باشد (جدول ۴). با توجه به اعداد بدست آمده سیمان سفید مصالح بهینه نمای ساختمان جهت مقابله با گرمای خارجی می‌باشد.

کنترل دهانه‌ها (نسبت پنجره به دیوار)

کنترل دهانه‌هایی که از طریق آن اشعه خورشیدی به قسمت داخلی ساختمان منتقل می‌شود، با اندازه دقیق باز کردن یا تغییر جهت دهانه‌های موجود در نمای ساختمان ممکن است. چنین تغییراتی بستگی به نیازهای انرژی، مکان و معماری ساختمان دارد. در پژوهش حاضر با توجه به تناسب ۶۰ درصدی پنجره به دیوار در نمای ساختمان‌های بومی در شمال و جنوب سه تیپ پنجره با ابعاد مختلف مدلسازی و

$2880 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ می‌باشد؛ ۴- دسته چهارم متغیرها از مصالح بوم آورد در شهر بوشهر به اسم سنگ آهک است که کاربرد اصلی آن در نمای ساختمان‌ها است. ضریب انتقال حرارت سنگ آهک برابر با $(\text{W/m}^2\text{K})$ $2,9$ ، گرمای خالص آن 840 (J/kg-K) و تراکم آن kg/ $2750 \text{ (m}^3\text{)}$ می‌باشد.

نتایج بدست آمده از بررسی انواع مختلف مصالح آجر، سیمان سفید، سنگ آهکی، سنگ گرانیت در نما نشان می‌دهد که برای هر ۴ نوع مصالح تقاضای بار سرمایشی در آذر، دی و بهمن صفر و در دیگر ماه‌های سال متناسب با میزان انتقال حرارت مصالح متفاوت می‌باشد. لذا بیشترین میزان انتقال حرارت از دیوارهای خارجی ساختمان با مصالح آجری و در مرداد ماه با اندازه 93066 kWh و کمترین میزان انتقال حرارت از دیوارهای خارجی ساختمان در بهمن ماه با نمای سیمان سفید و با اندازه 80180 kWh می‌باشد (شکل ۱۹). با توجه به افزایش تقاضای بار سرمایشی در ماه مرداد حداکثر تقاضای بار سرمایشی

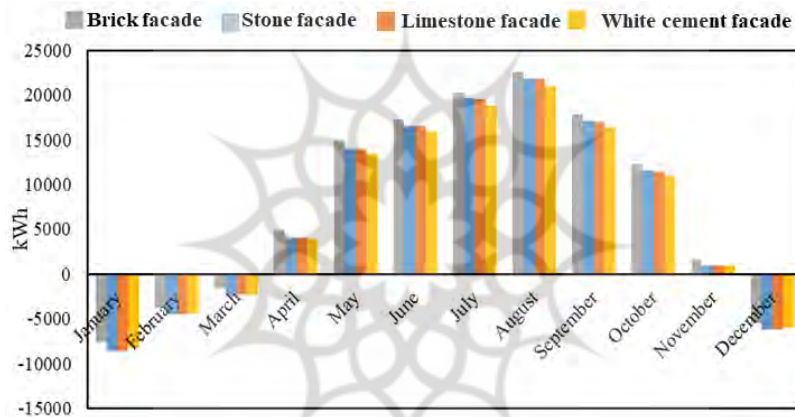


Fig. 19. Comparison of heat transfer from the external wall in the building facade with different materials

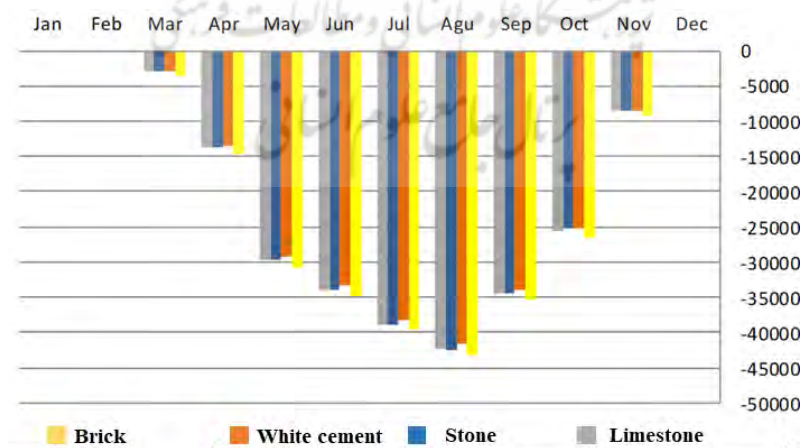


Fig. 20. Cooling load of the building during the year with different facade materials

Table 4. Simulation results of different facade materials

	Heat transfer of walls	Energy of cooling system	Energy of the whole building
Brick	93066	164885	178371
Stone	83803	160712	176394
Limestone	83597	160568	176205
White cement	80180	158185	173038

بررسی نتایج چهار تیپ از پنجره‌های ساختمان نشان می‌دهد که بار سرمایشی در هر ۴ تیپ ساختمان در ماه‌های آذر، دی و بهمن برابر صفر و در بقیه ماه‌های سال متناسب با دمای هوای خارجی متغیر می‌باشد. کمترین تابش دریافتی خورشیدی توسط پنجره مشبک با اندازه 18.0×2.3 kWh و بیشترین میزان آن توسط پنجره با ارتفاع ۲٫۶ متر با اندازه 51.195 kWh می‌باشد (شکل ۲۵). هر چه تابش دریافتی افزایش پیدا کند، دمای هوای داخلی و تقاضای بار سرمایشی نیز افزایش می‌یابد لذا حداکثر تقاضای بار سرمایشی ساختمان در مرداد ماه با پنجره‌های با ابعاد 2.0×1.80 متر و به اندازه $43.176,2$ kWh و کمترین میزان با پنجره‌های مشبک 2×2 و 1×2 به اندازه $38.946,2$ kWh می‌باشد (شکل ۲۶). حداکثر مجموع بار گرمایشی و سرمایشی نیز در پنجره با ارتفاع ۲٫۶ متر و برابر با 17.9283 kWh و حداقل آن در پنجره‌های مشبک و برابر با 17.2318 kWh می‌باشد (جدول ۵). با توجه به اعداد بدست آمده پنجره‌های مشبک 2×2 بازشوهای بهینه نمای ساختمان جهت مقابله با گرمای خارجی می‌باشد.

ساختمان بهینه

با بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آزمون متغیرهای تحقیق، سایه‌اندازهای عمودی کرکره‌ای، پنجره مشبک و نمای سیمان سفید بهترین و بهینه ترین عملکرد نما جهت کاهش دما داخلی را داشتند. متغیرهای بهینه بر ساختمان آپارتمانی موجود اعمال شد و تاثیر آنها بر رفتار حرارتی ساختمان ارزیابی شد (شکل ۲۷). با بررسی عملکرد حرارتی ساختمان بهینه تفاوت تقاضای بار سرمایش ساختمان را در حالت وضع موجود و بهینه شده مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌های بدست آمده از شبیه‌سازی ساختمان بهینه نشان می‌دهد که بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان در تمامی ماه‌های سال در فصول گرم و سرد نسبت به ساختمان موجود روندی رو به کاهش داشته است (شکل ۲۸).

بار سرمایشی ساختمان بهینه شده برابر با 106 kWh/m² می‌باشد که در مقایسه با ساختمان موجود میزان $65,7$ kWh/m² کاهش داشته است. مطابق با نتایج بدست آمده بار کل ساختمان در حالت وضع موجود برابر با $181,5$ kWh/m² و در حالت ساختمان بهینه برابر با 121 kWh/m² می‌باشد. با اعمال عناصر سایه‌انداز، مصالح و ابعاد بهینه پنجره به عنوان راهکارهای معماری بومی، بر روی ساختمان موجود در شهر بوشهر می‌توان ۳۸ درصد صرفه‌جویی در بار سرمایشی داشت. ساختمان بهینه شده نسبت به ساختمان موجود، کاهش حدود ۳۳ درصد مجموع مصرف انرژی سیستم سرمایش و گرمایش را دارد که با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب بوشهر عدد قابل ملاحظه‌ای می‌باشد (جدول ۶).

شبیه‌سازی شد تا اندازه بهینه پنجره جهت کنترل میزان تابش و گرمای خورشید بدست آید. شیشه پنجره‌ها دوجداره و جنس پروفیل آنها یو پی وی سی می‌باشد. تیپ اول پنجره‌هایی به ابعاد 2×2 و 2×1 در ضلع شمالی ساختمان و پنجره‌هایی به ابعاد 2×2 در ضلع جنوبی ساختمان قرار دارد (شکل ۲۱). تیپ دوم شامل پنجره‌هایی به ابعاد 1.80×2.20 و 2.20×1 در ضلع شمالی ساختمان و 2.20×1.80 در ضلع جنوبی ساختمان شبیه‌سازی شده است (شکل ۲۲). تیپ سوم پنجره‌هایی به ابعاد 1.60×2.60 و 2.60×0.8 در ضلع شمالی ساختمان و 2.60×1.60 در ضلع جنوبی ساختمان شبیه‌سازی شده است (شکل ۲۳). تیپ چهارم پنجره‌هایی به ابعاد 2×1 و 2×2 در ضلع شمالی ساختمان و 2×2 در ضلع جنوبی ساختمان به صورت مشبک در ابعاد 0.25×0.25 قرار دارد (شکل ۲۴).

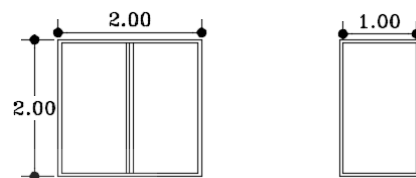


Fig. 21. Dimensions 2 * 2 and 1 * 2 on the north side of the building and windows with dimensions 2 * 2 on the south side

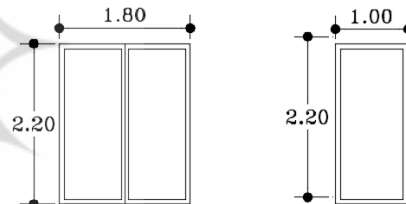


Fig. 22. Dimensions 2.20 * 1.80 and 1 * 2.20 on the north side of the building and a window measuring 1.80 * 2.20 on the south side

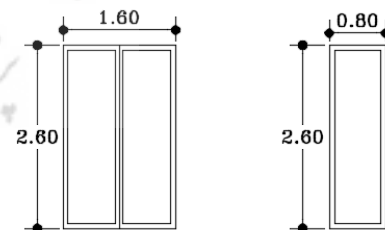


Fig. 23. Dimensions 2.60 * 1.60 and 0.8 * 2.60 on the north side of the building and a window measuring 1.60 * 2.60 on the south side of the building

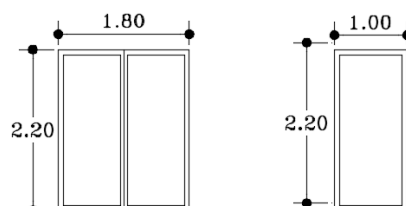


Fig. 24. 2 * 2 and 1 * 2 dimensions on the north side of the building and 2 * 2 dimensions windows on the south side

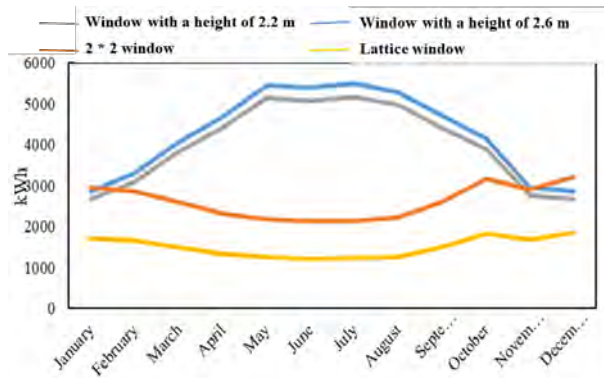


Fig. 25. Comparison of radiation received from different windows

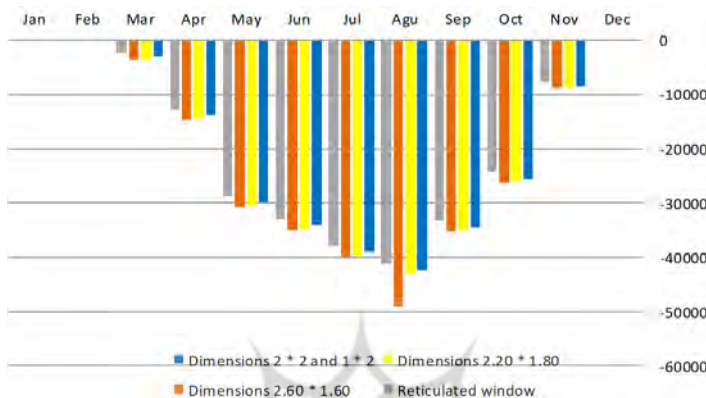


Fig. 26. Cooling load of the building throughout the year with windows with different dimensions

Table 5. Window Dimension Simulation Results

	Input radiation (kWh)	Cooling load (kWh)	Total building energy (kWh)
Window with a height of 2.2 meters	48124	163258	178396
Window with a height of 2.6 meters	51195	164366	179283
2 * 2 window	31320	160583	176214
Lattice window	18023	155092	172318

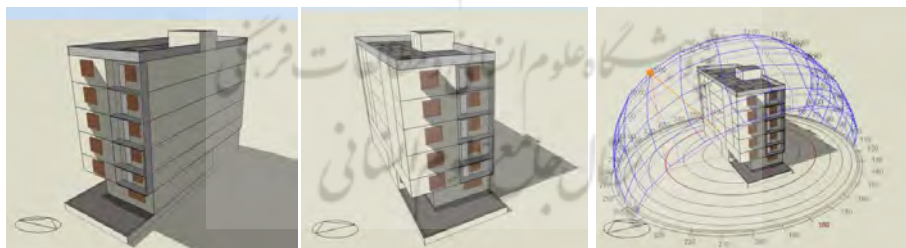


Fig. 26. Optimized building image

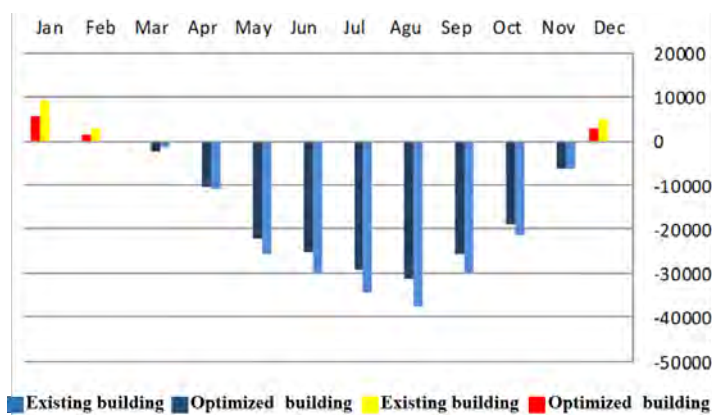


Fig. 27. The difference between the thermal load of the building in the period of heat and cold in the existing and optimal building



Table 6. Comparison of thermal behavior of existing and optimal buildings

Mode	Building cooling load (kWh/m ²)	Building heating load (kWh/m ²)	Total load (kWh/m ²)	Percentage of cooling savings	Percentage of heating savings	Percentage of total energy savings
Existing building	171.7	9.8	181.5	-	-	-
Optimized building	106	1.5	121	%38	%85	%33

نمی‌توان نتایج را برای کل کشور تعمیم داد. محدودیت دوم عدم بررسی تاثیر متغیرهایی چون جنس شیشه، ارتفاع طبقات ساختمان بر کاهش دمای هوای داخلی می‌باشد. از جمله متغیرهای تاثیرگذار بر نتیجه تحقیق در حوزه‌های مرتبط، محدودیت‌های اشاره شده می‌باشد. متغیرهای بیشتر می‌تواند به توسعه مدل تحقیق و مفاهیم کمک کند. علاوه بر راهکارهای ذکر شده ممکن است تأثیر برخی از عوامل دیگر از جمله عایقکاری حرارتی، همسایگی‌ها نیز بر کاهش دمای هوای داخلی مسکونی در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

پی‌نوشت

1. EPW

فایل ای پی دلبیو شهر بوشهر از طریق آدرس زیر تهیه شده است:
<http://www.enef.co/download/weather-file.html>

2. Climate Consultant 5.5

3. ASHRAE 55 (ASHRAE: American Society of Heating

4. Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

5. Design Builder

6. Heating Setback Temperature

7. Cooling Setback Temperature

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

تأییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی / حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به‌طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

نتیجه‌گیری

مقاله حاضر به بهبود عملکرد نمای ساختمان‌ها به عنوان بخشی از استراتژی‌های توسعه پایدار شهرها برای کاهش مصرف انرژی پرداخته است. در مطالعات گذشته نقش حیاتی نمای ساختمان به عنوان یکی از اساسی‌ترین اجزای محیط شهری در بهبود عملکرد مصرف انرژی ساختمان‌ها بررسی شده است. هدف اول تحقیق حاضر شناسایی و توصیف راهکارهای طراحی بومی منطقه گرم و مرطوب بوشهر جهت کاهش دمای هوای داخلی است. با بررسی داده‌های میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای، سایه‌اندازی و استفاده از مصالح بومی جهت کاهش انتقال حرارت به فضای داخلی و بررسی نسبت پنجره‌ها به دیوار از راهکارهای طراحی بومی شناخته شده‌اند. هدف دیگر تحقیق بررسی تاثیر هر یک از راهکارهای بومی بر عملکرد حرارتی ساختمان موجود است. شبیه‌سازی اول مرتبط با بررسی انواع سایه‌اندازها در نمای ساختمان بود. عملکرد حرارتی ۵ نوع مختلف سایه‌انداز به دلیل تابش دریافتی زیاد در جهت شمال و جنوب ساختمان در ۶ طبقه بررسی شد. سایه‌اندازها از الگوی بومی منطقه گرم و مرطوب بوشهر شبیه‌سازی شدند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سایه‌اندازهای کرکره‌ای عمودی در جهت شمالی و جنوبی ساختمان عملکرد بهتری در کاهش دمای هوای داخلی دارند. در شبیه‌سازی دوم بررسی تاثیر نوع مصالح بر عملکرد حرارتی ساختمان در جهت شمال و جنوب انجام شد و نتایج نشان می‌دهد که نما با سیمان سفید بازدهی بهتری در کاهش دمای هوای داخلی دارد. شبیه‌سازی سوم مرتبط با ابعاد پنجره‌ها در نمای ساختمان در جهت شمال و جنوب می‌باشد که پنجره‌های مشبک بیشترین عملکرد کاهش دمای هوای داخلی را دارا می‌باشند. با اعمال هر یک از متغیرهای بهینه که شامل سایه‌اندازی با کرکره‌های عمودی با ضخامت ۰٫۲۵ متر به طول ۲ متر و عرض ۰٫۲ متر و فاصله‌ی ۰٫۳ متر، مصالح سیمان سفید در نما و استفاده از پنجره‌های مشبک با ابعاد ۲×۲ متر و ۱×۲ متر بر ساختمان موجود و مقایسه تقاضای بار حرارتی نسبت به حالت موجود، به ۳۸ درصد صرفه‌جویی در مصرف بار سرمایشی ساختمان و کاهش ۳۳ درصد مجموع مصرف انرژی سیستم سرمایش و گرمایش می‌توان رسید.

از محدودیت‌های تحقیق در راستای دستیابی به هدف نتایج حاصل از شبیه‌سازی ساختمان می‌باشد که بر اساس یک نوع اقلیم در کشور بدست آمده است. از آنجا که اقلیم عامل مهمی جهت آزمودن متغیرها است و بر نتایج تحقیق تأثیر می‌گذارد،



References

1. Albert Al Touma, Djamel Ouahrani,. (2018). The selection of brise soleil shading optical properties for energy conservation and glare removal: A case study in Qatar, *Journal of Building Engineering*.20:510-519.
2. Aldossary, N.A., Rezgui, Y., & Kwan, A.(2014). Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: a multiple-case study analysis. *Applied Energy*, 114,353-365. <http://www.commercialwindows.org/www.php>.
3. Al-Obaidi, K.M., Ismail, M., Rahman, A.M.A., (2014). A study of the impact of environmental loads that penetrate a passive skylight roofing system in Malaysian buildings.*Front. Arch. Res.*2:178-191.
4. B. Abediniangerabi, S.M. Shahandashti, A. Makhmalbaf,. (2020). A data-driven framework for energy-conscious design of building facade systems. *Journal of Building Engineering*. (19)31557-8. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101172>.
5. Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., Monticelli, C., (2016). The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic architecture. *Procedia Eng.* 155, 275-284. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.029>.
6. Bellia L, De Falco F, Minichiello F.(2013) Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Appl Therm Eng*;54:190-201.
7. Calkins, M., (2008), *Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation selection and use of sustainable construction materials*, John Wiley & sons.
8. Chan, ALS. (2015). 'Investigation on the appropriate floor level of residential building for installing balcony, from a view point of energy and environmental performance. A case study in subtropical Hong Kong', *Energy*, 85:34-620.
9. Dac-Khuong Buia , Tuan Ngoc Nguyena,* , Abdallah Ghazlana , Ngoc-Tri Ngob , Tuan Duc Ngo,(2020). Enhancing building energy efficiency by adaptive façade: A computational optimization approach. *Applied Energy*,265:114797.
10. Djamel Ouahrani , Albert Al Touma,. (2017). Selection of Slat Separation-to-Width Ratio of Brise-soleil Shading Considering Energy Savings, CO2 Emissions and Visual Comfort – A Case Study in Qatar, *Energy & Buildings*, 17:32321-32326, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.053.
11. E. Stéphan, R. Cantin, A. Caucheteux, S. Tasca-Guernouti, P. Michel,(2014). Experimental assessment of thermal inertia in insulated and non-insulated old limestone buildings, *Build. Environ.*80: 241-248
12. Edward Halawaa, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Ali Ghaffarianhoseinid, Jeremy Trombleya, Norhaslina Hassanc, Mirza Baiga, Safiah Yusmah Yusoffc, Muhammad Zazzam Ismaile,.(2017). A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 11-12.
13. Galiano A, Nocera F, Patania F, Moschella A, Detommaso M, Evola G.(2016). Synergic effects of thermal mass and natural ventilation on the thermal behaviour of traditional massive buildings. *Int. J. Sustainable Energy*.35:411-428.
14. Gao Y, Dong J, Isabella O, Santbergen R, Tan H, Zeman M, et al.(2018). A photovoltaic window with sun-tracking shading elements towards maximum power generation and non-glare daylighting. *Appl Energy*;228:1454-1472.
15. Ghiyae, M. M., Mahdavi Niya, M., Tahbaz, M., & Mofidi shemirani, M. (2013). A Methodology for Selecting Applied Energy Simulation Tools in the Field of Architecture. *Hoviatshahr*, 7(13), 45-55.
16. Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency, the United Nations Environment Programme,. (2019). *Global Status Report: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.* <https://globalabc.org/resources/document/119#document> (accessed February 6, 2020).
17. Hachem C, Athienitis A, Fazio P.(2014). Energy performance enhancement in multi-story residential buildings. *Appl Energy*;116:9-19.
18. Haitham Sghiouri, Ahmed Mezrhab, Mustapha Karkri, Hassane Naji,.(2018). Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco. *Journal of Building Engineering*, 17:30660-30665, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.018>.
19. Ihara T, Gustavsen A, Jelle BP,.(2015). Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Appl Energy*;158:422-32.
20. Ji Hun Park , Beom Yeol Yun , Seong Jin Chang , Seunghwan Wi , Jisoo Jeon , Sumin Kim,.(2020). Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption, *Energy & Buildings.* (20) 30759-30763 doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109930>.
21. Jiang, Fujian, Li, Zhengrong, Zhao, Qun, Tao, Qiuhua, Shun Yao, Lu,.(2017). Accuracy analysis and improvement of the Blind Enclosure Model to calculate the longwave radiative heat transfer for a façade with louver blinds. *Energy Build.* 140 (1): 98-109
22. Jonathan Hey, Ding Ding, Tan Jun Liang,. (2019). An investigation of the heat absorption and transmission into a scaled building structure installed with a fluidic window. *Energy & Buildings*, (19)32329-32331, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109652>.
23. K. Fabbri, J. Gaspari, S. Bartoletti, E. Antonini,



- (2020). Effect of facade reflectance on outdoor 474 microclimate: An Italian case study, *Sustainable Cities and Society*, 54.
24. Kiritmat, A., Koyunbaba, B.K., Chatzikonstantinou, I., Sariyildiz, S., (2016). Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 53:23-49
25. L. Aditya, T. Mahlia, B. Rismanchi, H. Ng, M. Hasan, H. Metselaar, O. Muraza, H. Aditya., (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73: 1352 – 1365. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>.
26. L. Belussi, B. Barozzi, A. Bellazzi, L. Danza, A. Devitofrancesco, C. Fanciulli, M. Ghellere, G. Guazzi, I. Meroni, F. Salamone, F. Scamoni, C. Scrosati.,(2019). A review of performance of zero 25 energy buildings and energy efficiency solutions, *J. Build. Eng* 25 : 13-142. doi:10.1016/j.jobbe.2019.100772.
27. L. Valladares-Rendon, G. Schmid, S.-L. Lo., (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of facade shading systems, *Energy and Buildings* 140: 458 – 479. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.073>.
28. Li, L., Qu, M., Peng, S.,(2016). Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: building energy consumption and daylight provision. *Energy Build.* 113: 189–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.12.040>
29. Lima, K.M.D., Bittencourt, L.S., Caram, R.M., (2013). Ranking configurations of shading devices by its thermal and luminous performance. *Sustainable Architecture for a Renewable Future*, 29th
30. Loonen R. (2018). Approaches for computational performance optimization of innovative adaptive façade concepts. In: Department of the Built Environment. Netherlands: Eindhoven University of Technology
31. Lyons, A., (2007). *Materials for architects and builders: Recyclad and ecological materials*, Third. edition, Elsevier. 330-337.
32. M. Casini.,(2018). Active dynamic windows for buildings: A review, *Renew. Energy.* 119: 23-934. doi:10.1016/j.renene.2017.12.049.
33. M.I. Puy, M.V. Arbizu, J.A.S. Fernandez, C.M. GMmez., (2017). Opaque Ventilated Façades: thermal and energy performance review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 79: 180–191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.059>.
34. M.T. Kahsay, G. Bitsuamlak, F. Tariku., (2020). Effect of localized exterior convective heat transfer on high-rise building energy consumption, *Build. Simul.* 13: 127–139, <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0568-7>.
35. Meseret T. Kahsay, Girma T. Bitsuamlak, Fitsum Tariku.,(2020). Effect of window configurations on its convective heat transfer rate. *Building and Environment*, 182:107139. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107139>
36. Mingzhe Liu , Per Kvols Heiselberg, Yovko Ivanov Antonov, Frederik Søndergaard Mikkelsen. (2018). Parametric analysis on the heat transfer, daylight and thermal comfort for a sustainable roof window with triple glazing and external shutter. *Energy & Buildings*, 18:31095-31099, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.001>.
37. Mirrahimi S, Mohamed MF, Haw LC, Ibrahim NLN, Yusoff WFM, Aflaki A.,(2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. *Renew Sustain Energy Rev*;53:1508–19.
38. P. Foldbjerg , T. Asmussen ,(2013). Using ventilative cooling and solar shading to achieve good thermal environment in a Danish active house, *REHVA J.* 36–42 .
39. Pacheco R, Ordóñez J, Martínez G.(2012) Energy efficient design of building: a review. *Renew Sustain Energy Rev*;16(6):3559–73.
40. Rodrigues E, Fernandes MS, Gaspar AR, Gomes Á, Costa JJ.(2019). Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass. *Appl Energy*.252:113437-113439.
41. Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen.,(2010).Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review, *Solar Energy Materials & Solar Cells*.
42. S. Gou, V.M. Nik, J.L. Scartezzini, Q. Zhao, Z. Li.,(2018). Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand, *Energy Build.* 169 : 484–506. doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.095.
43. S. Liu, C.H. Huang, Y.M. Liu, J.Z. Shen, Z. Li., (2018). Retrofitting traditional western Hunan dwellings with passive strategies based on indoor thermal environment, *J. Archit. Eng.* 24. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000316](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000316).
44. S. Naylor, M Meroni, F. Salamone., Gillott, T. Lau.,(2018). A review of occupant-centric building control strategies to reduce building energy use, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 96 : 1–10. doi:10.1016/j.rser.2018.07.019.
45. Shameri MA, Alghoul MA, Sopian K, Zain MFM, Elayeb O.,(2011). Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. *Renew Sustain Energy Rev*.15:1468–1475.
46. Sheng Liu, Yu Ting Kwok, Kevin Ka-Lun Lau, Pak Wai Chan, Edward N., (2019). Investigating the energy saving potential of applying shading panels on opaque façades: A case study for residential buildings in Hong Kong. *Energy & Buildings.* 193(78-91).

47. T. Oke, G. Johnson, D. Steyn, I. S. Liu, C.H. Huang, Y.M. Liu, J.Z. Shen, Z. Li, (2018). Retrofitting traditional western Hu- nan dwellings with passive strategies based on indoor thermal environment, J. Archit. Eng. 24 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000316](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000316) .
48. T. Susca, Green roofs to reduce building energy use?(2019). A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate, Build. Environ. 162:106273. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106273.
49. Yang, Q., Liu, M., Shu, C., Mmerek, D., Hossain, U., & Zhan, X.,(2015). Impact Analysis of Window-Wall Ratio on Heating and Cooling Energy Consumption of Residential Building in Hot Summer and Cool Winter zone in china. Journal of engineering, 18(1): 1-17. http://www.hindawi.com/journal_s/je/2015/538254/.
50. Yao, J., Chow, D.H.C., Zheng, R.Y., Yan, C.W., (2016). Occupants' impact on indoor thermal comfort: a co-simulation study on stochastic control of solar shades. J. Build.Perform. Simul. 9 (3):272-287

