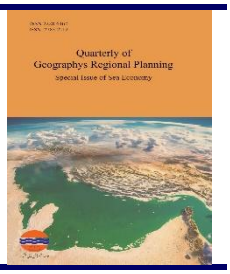
Iranian Association of Geopolitical

Geography(Regional Planning)
Spring 2024. Vol 14. Issue 54
ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112
Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Measuring the impact of physical form and orientation of urban blocks on the thermal performance of the outer shell of high-rise buildings

Nazila Nazarboland[1], Mohamad Mahdi Ghiai[*2] Mostafa Mafi[3]

1. Department of architecture, kish international branch, Islamic Azad University, kish island, Iran
2. Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Yadegar Imam (RA) Branch, Shahr-e Ray, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

ARTICLEINFO

PP: 627-641

Use your device to scan and read the article online

Keywords: *External building shell optimization energy consumption windows and awnings shell materials.*

Abstract

Residential buildings are one of the largest consumers of energy in the building sector, therefore, by providing solutions to optimize energy consumption, improve efficiency, and modify the operation pattern, it is possible to meet the thermal needs of residents by reducing energy consumption. In the present study, considering the issue of building shells due to its importance as the first external element of the building, the components affecting energy consumption in the external shell of the building, including the dimensions of openings and types of glass, the type of canopy, and in a residential building, have been simulated to obtain the best state in terms of reducing energy consumption. In the process, library and field studies and computer simulation using Design Builder software as a valid modeling method have been used to confirm the findings and results, and finally, the amount of energy consumed in the real sample was compared with the simulated samples. The results showed that the amount of energy consumption in the optimized models in various components of the external shell of the building is between 5 and 39 percent less than the initial state and energy loss can be reduced.

Citation: Nazarboland, N., Ghiai, M. M. and Mafi, M. (2024). **Measuring the impact of physical form and orientation of urban blocks on the thermal performance of the outer shell of high-rise buildings**. Geography (Regional Planning), 14(54),627-641

DOI:10.22034/jgeoq.2025.551672.4346

[*] **Corresponding author:** Mohamad mahdi Ghiai, **Email:** s.b.farzane2020@gmail.com
Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

The façade of a building is one of the most important parts of an architectural structure, as it not only conveys the aesthetic essence of the building and the city but also plays a role in a broader context—namely, energy consumption. All efforts aimed at reducing fuel consumption ultimately lead to a decrease in carbon dioxide emissions and global warming. Architecture, too, can play its part in contributing to this comprehensive policy.

Methodology

Library research, field studies, and simulations using the DesignBuilder software are the methods employed in this study. A high-rise residential building located in the hot and dry climate of Shiraz was selected as the case study. In the first stage, environmental factors and the current condition of the building's external envelope are examined. Then, various types of energy consumption—including heating, cooling, lighting, household appliances, and domestic hot water—are dynamically modeled. To validate the simulation results, the energy consumption of electricity and gas (measured in kilowatt-hours) under the actual building conditions is compared with the simulation outcomes, as shown in Figure 1. The very small difference between the two confirms the accuracy of the software.

In the next stage, the heating and cooling energy demands are calculated through modeling in DesignBuilder. In the selected case, the walls are single-layer brick or 10-cm brick façades, and the windows are single-glazed. No thermal insulation materials are used in the details of the walls, roof, or floor, and the windows account for 25% of the façade surface area. Subsequently, different components of the building envelope—such as shading devices, windows, and construction materials—are optimized to reduce energy consumption. Finally, the building's energy consumption before and after optimization is compared based on the simulation results obtained from DesignBuilder.

Results and Discussion

In this study, the lighting, heating, and cooling energy consumption, as well as the primary energy use of a sample high-rise residential building, were simulated and analyzed using modeling software. The analysis considered different window-to-wall ratios, shading devices, and various materials used in the external envelope across different orientations. Based on the results and the comparison between the existing building and the optimized model generated by the software, it is evident that the building loses a significant amount of energy through its external envelope (outer walls), which has a considerable impact on the overall energy consumption for heating and cooling.

Conclusion

The use of shading devices and windows in an optimized state, along with the application of insulation in the building's external envelope, has a significant impact on reducing energy consumption. However, implementing each of these measures individually is not an effective option and has a relatively minor effect on energy use. Simulation results showed that changes in the size, angle of projection, and type of shading device can reduce heating—and particularly cooling—energy consumption by approximately 5 to 8.5 percent compared to the initial model. Moreover, optimizing windows based on the type of glass used can reduce energy consumption by about 17 to 39 percent, while adjusting the window dimensions can achieve a 7 to 15 percent reduction. In terms of building materials, altering material types and applying thermal and moisture insulation in walls, roofs, and floors can lead to approximately 12 to 14 percent annual energy savings in buildings located in hot and dry climates.

References

1. Hafezi, M., Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost Divar, M. (2016). The process of achieving a double-skin façade with suitable energy efficiency: A case study of an office building in Tehran. Iranian Architecture Semiannual Journal, (10), Fall and Winter 2016.

2. Hosseini, Y., & Rahmani Ghasabeh, —. (2015). Double-skin façades: An intelligent approach to energy sustainability. International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tabriz, Iran.
3. Khodakarami, J., Shokri, E., & Kolivand, T. (2015). Presenting an optimal solution for building energy audit to reduce cooling and heating loads (Case study: Mehr Housing Project, Abrisham, Alborz Province). Environmental Management Journal, 2(1), Spring 2015.
4. Rezazi, S., & Mozaffari, F. (2018). Adaptive and responsive building envelopes inspired by plants in nature. Green Architecture Scientific-Specialized Quarterly, 4(11), Summer 2018.
5. Ghobadian, V., & Sharifi, M. (2017). The effect of physical properties of building envelopes on heat transfer reduction and time delay (Case study: High-rise buildings in Hamedan). Environmental Science and Technology Quarterly, 19(4), Spring 2017.
6. Ghaleh Noei, A., Ghaleh Noei, M., Rashidian, M. M., Shakiba, M. R., & Akhavan Abdollahian, M. R. (2017). Thermal and acoustic evaluation of common building materials as external envelopes. The 2nd National Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, Sharif University of Technology, March 2017.
7. Gorji Mehlabani, Y., Mofrad Bushehri, Y., & Azizzadeh Araei, R. (2017). The impact of windows on reducing heating and cooling loads of buildings using DesignBuilder simulation software. Renewable and New Energy Promotion Quarterly, 4(1), Summer 2017, 1–8.
8. Mahdavinejad, M. J., Hadianpour, M., Bemanian, M. R., & Haghnashenas, M. (2014). Assessing the potential application of double-skin façades in the architectural design of hot and dry climates in Iran to reduce energy consumption (Case study: Yazd). Fine Arts – Architecture and Urban Planning Journal, 19(3).
9. Nasrollahi, F. (2014). Energy-efficient office buildings: Architectural design for energy productivity. Research Papers of the Young Cities Project, Vol. 11.
10. Auer, T. (2011). High-performance façades: Design strategies and applications in North America and Northern Europe. Public Interest Energy Research (PIER) Program.
11. Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Rahman, A. M. A. (2014). Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. Energy Conversion and Management, 85, 488–504.
12. Erdem, C., & Riffat, S. B. (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 695–714.
13. Cuce, E. (2014). Development of innovative window and fabric technologies for low-carbon buildings [Doctoral dissertation, University of Nottingham].
14. Cuce, E., & Cuce, P. M. (2013). A comprehensive review on solar cookers. Energy, 102, 1399–1421.
15. ISOVER Students. (n.d.). High-performance building envelope solutions. Retrieved from http://www.isover-students.com/content/view/247/312/
16. Yang, Q., Liu, M., Shu, C., Mmererki, D., Uzzal, H. M., & Zha, X. (2015). Impact analysis of window-wall ratio on heating and cooling energy consumption of residential buildings in the hot summer and cold winter zone of China. Journal of Engineering, 10(11).
17. Didbaia, V., & Gray, J., & Mathur, J. (2014). Optimization of window-wall ratio for different building types. International Institute of Information Technology, Hyderabad, India.
18. Grynning, S., Time, B., & Matusiak, B. (2014). Solar shading control strategies in cold climates: Heating, cooling demand and daylight availability in office spaces. Solar Energy, 107, 182–194.
19. Brown, Z. (2009). Reconciling human and automated intelligence in the provision of occupant comfort. Intelligent Buildings International, 1, 39–55.

فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۴، شماره ۵۴، بهار ۱۴۰۳

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

سنجش تأثیر فرم کالبدی و جهت‌گیری بلوک‌های شهری بر عملکرد حرارتی پوسته خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه

نازیلا نظربلند – گروه معماری، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

محمدمهدی غیایی* – استادیار گروه هنر و معماری، دانشکده هنر و معماری واحد یادگار امام(ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مصطفی مافی– استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۶۲۷-۶۴۱

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

واژه‌های کلیدی:

پوسته خارجی ساختمان بهینه سازی مصرف انرژی پنجره و سایه‌بان مصالح پوسته

چکیده

ساختمان‌های مسکونی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان مصرف انرژی در بخش ساختمان هستند، از این‌رو با ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی، ارتقای کارایی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کاهش میزان مصرف انرژی، نیازهای حرارتی ساکنین را تامین نمود. در پژوهش حاضر با توجه به موضوع پوسته های ساختمان به دلیل اهمیت آن بعنوان اولین عنصر خارجی ساختمان ، مولفه‌های تاثیرگذار بر مصرف انرژی در پوسته خارجی ساختمان شامل ابعاد بازشوها و انواع شیشه، نوع سایبان و در یک ساختمان مسکونی شبیه سازی شده است تا بهترین حالت در راستای کاهش مصرف انرژی بدست آید. در روند کار از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و شبیه سازی رایانه ای به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین- بیلدر (Design Builder) به عنوان یک روش مدلسازی معتبر، به منظور تایید یافته‌ها و نتایج استفاده شده است و در نهایت میزان انرژی مصرف شده در نمونه واقعی با نمونه های شبیه سازی شده مورد مقایسه قرار گرفتند، نتایج نشان دادند که میزان مصرف انرژی در مدل‌های بهینه سازی شده در اجزای مختلف پوسته خارجی ساختمان بین ۵ تا ۳۹ درصد کمتر از حالت اولیه می باشد و می‌توان اتلاف انرژی را کاهش داد.

استناد: نظربلند، نازیلا ، غیایی، محمدمهدی و مافی، مصطفی . (۱۴۰۳). **سنجش تأثیر فرم کالبدی و جهت‌گیری بلوک‌های شهری بر عملکرد حرارتی پوسته خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه**. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۴(۵۴)،۶۲۷-۶۴۱

DOI: 10.22034/jgeoq.2025.551672.4346

* **نویسنده مسئول:** محمدمهدی غیایی، **پست الکترونیکی:** s.b.farzane2020@gmail.com

مقدمه

در حال حاضر بخش ساختمان، مسئول تقریباً ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهان در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می‌باشد .در نتیجه، بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، یکی از برنامه های مهم بخش‌های دولتی در جهت توسعه پایدار شهرها است(Halawa et al,2017). تلاش‌های زیادی در رابطه با کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان و در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی، در سال‌های اخیر صورت گرفته است که به عنوان نمونه می توان به معرفی بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید بخشی از انرژی مصرفی در ساختمان اشاره کرد(Cuce E,2013).

بهره‌وری انرژی با معماری انرژی‌کارا، بعنوان یک روش برای بهینه کردن طراحی معماری با هدف به حداقل رساندن مصرف انرژی، می‌تواند برای ساختمان‌های با کاربری مختلف و نیز اقلیم‌های مختلف استفاده گردد. راهکارهای استخراجی از این روش برای ساختمان های با کاربری های متفاوت می‌تواند بصورت ضوابطی برای طراحی شهری و طراحی معماری ساختمان‌ها در اقلیم های متفاوت تدوین گردد (نصرالهی، ۱۳۹۳). از آن‌جا که در معماری عصر حاضر سعی بر این است که ساختمان بتواند با توجه به الگوهای طراحی که در پیش کی‌گیرد. نیازهای حرارتی ساکنین را تا حد امکان تامین می نمایدو اجرای راه‌کارهای بهینه سازی مصرف انرژی در ممیزی انرژی ساختمان‌های مسکونی که بخش عظیمی از ساختمان‌های جهان را به خود اختصاص داده است، می تواند بسیار راه‌گشا باشد(خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۴).

نمای ساختمان از مهمترین بخش های یک کالبد معماری است؛ چرا که علاوه بر ا لقای ماهیت زیبایی شناسانه به بنا و شهر در حیطه بزرگتری یعنی مصرف انرژی نیز نقش خواهد داشت. تمامی تلاش هایی که در جهت کاهش مصرف سوخت صورت می گیرند در نهایت به کاهش تولید دی اکسید کربن و گرم شدن زمین منجر می شوند. معماری نیز می تواند به سهم خود نقشی در راستای این سیاست همه جانبه ایفا کند. (مهدوی نژاد،۱۳۹۳) عمده تبادلات انرژی در ساختمان وابسته یا حداقل مرتبط با پوستهٔ خارجی بناست .پوستهٔ خارجی محل تبادل حرارت بنا با محیط اطراف، جذب انرژی های خورشیدی، تهویه، و نفوذ نور و صدا به محیط داخلی است که با افزایش نسبت سطح پوسته به قاعدهٔ بنا افزایش می یابد(حافظی و همکاران،۱۳۹۵). استفاده از انرژی های تجدید پذیر به منظور بهینه سازی مصرف انرژی، ایجاد بناها با کارایی بالاتر، صرفه اقتصادی بهتر و سازگار با محیط، از اهداف جامعه بشری در عصر حاضر می باشد که بسیار مورد توجه قرار گرفته است.در سال‌های اخیر در کشورهای اروپایی، خصوصا آلمان، هلند و انگلستان راه حلی به نام نمای هوشمند ابداع گردیده است .این سیستم با کاهش ۳۰ درصدی مصرف انرژی، ایجاد تهویه طبیعی در ساختمان، کاهش قابل توجه سر و صدای محیط بیرونی و معماری شفاف، آسایش و راحتی ساکنان را فراهم کرده است و طرفداران بسیاری نیز یافته است(حسینی و رحمانی قصبه، ۱۳۹۴). پوسته های ساختمان در تقابل بین محیط خارجی و فضاهای ساخته شده داخلی هستند که ما اغلب آنها را به عنوان مانع یا حفاظ در نظر گرفته ایم و راه حل های محدودی در تطابق با تغییرات محیطی در ساختمان ها لحاظ کرده ایم. نماها نقش مهمی در اتلاف انرژی در ساختمان ها دارند . این مصرف انرژی برای تأمین راحتی فضای داخلی است (رزازی، مظفری، ۱۳۹۷).

پیشینه پژوهش

تحقیقات صورت گرفته در زمینه مصرف انرژی در بخش ساختمان، دستیابی به ساختمان‌های کم‌انرژی را در مرحله اول،به کمک اصلاح شیوه های ساخت وساز مانند استفاده از پنجره‌های مناسب، عایق بندی صحیح وکافی، حذف پلهای حرارتی،هوابندی و جهت‌گیری صحیح ساختمان قابل دست‌یابی می‌دانند. همچنین استفاده از انرژی های پسیو (غیرفعال) و منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند دراین زمینه مفید باشند. از نظر آیزوور، بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی ساختمان در حقیقت یکی از راه‌های رسیدن به ساختمان‌های‌کم انرژی محسـوب می‌شود(Isover, 2013).

قبادیان و شریفی، (۱۳۹۶) تاثیر خصوصیات فیزیکی پوسته های ساختمان ها را بر زمان تاخیر و ضریب کاهش انتقال حرارت در ساختمان های بلند مرتبه شهر همدان را بررسی نموده اند. نتایج نشان داده که شیشه های دولایه نسبت به شیشه های تک لایه سکوریت به اندازه ۵۰ درصد عملکرد بهتر، هم چنین شیشه های با ضخامت بیشتر و با فاصله میانی بیشتر بین دوجداره در شیشه

های دو لایه، نسبت به انواع دیگر شیشه ها به اندازه ۱۶ درصد عملکرد مناسب تری را در ارتباط با عامل زمان تاخیر جریان حرارت دارا می باشد.

برزگر و حیدری، رابطه میان میزان دریافت تابش خورشیدی و مصرف انرژی ساختمان در بخش خانگی را بررسی کرده و نشان می دهند خانه های دارای جهت گیری اقلیمی دارای مصرف انرژی کمتری می باشند .

نورا قبرا (2017)[1] در پایان نامه دکتری خود با عنوان تاثیر پوسته ساختمان در بهره وری انرژی در ساختمان های بلند مرتبه در کشور عربستان سعودی (اقلیم گرم) برای کاهش بارهای خنک کننده ساختمان پارامترهای طراحی معماری را بررسی نموده است. و به وسیله نرم افزارهای شبیه سازی بهترین نمونه پنجره، شیشه و دیوار را شبیه سازی کرده است .

راشل گاندرسون[2] (2015)، در رساله خود با عنوان پوسته های ساختمانی پاسخگو یک پوسته ساختمانی خاص را طراحی نموده که حرکت هوا، نور و آب را برای استفاده از انرژی جذب می کند. وی عناصر قابل انعطاف، پویا و تعاملی در معماری را برای دستیابی به یک پوسته هوشمند بکار گرفته است.

گرانادیرو، کوریا، لیل و دوارتاز [3] (۲۰۱۳)، یک ابزار جدید شبیه سازی مصرف انرژی جهت تعیین میزان مصرف ساختمان بهره بـرده و بـه کمک شبیه سازی مدل های ساختمانی، ویژگی های فیزیکی اثر گذار بر میزان مصرف انرژی را تحلیل نموده اند. نتایج این پژوهش بیان گر آن بود که مصالح، مساحت پنجره ها و فرم ساختمان مهم ترین عوامل موثر بر مصرف انرژی می باشد.

در پروژه تحقیقاتی که در مرکز تحقیقات مسکن پنسیلوانیا[4] (2013) انجام گرفته است، راه های مقاوم سازی پنجره های مسکونی برای بهره وری انرژی بررسی شده است. در این پژوهش به بررسی تاثیر پوشش های محافظ بر تغییر ضریب انتقال حرارت پنجره پرداخته شده است. این مطالعه با بررسی ضریب انتقال حرارت سیستم های متفاوت سایه انداز توسط برنامه های شبیه سازی انرژی و بررسی عوامل مختلف مثل آسایش حرارتی، نرخ نفـوذ هوا، هزینه ساخت، امنیت، روشنایی طبیعی و... به این نتیجه رسیده است که راهکارهایی که سبب کم شدن ضریب انتقال حرارت پنجره می شوند و همچنین دریافت حرارت خورشیدی را کنترل کرده و کاهش می دهند، در بهره وری انرژی در ساختمان مسکونی بسیار موثرند.

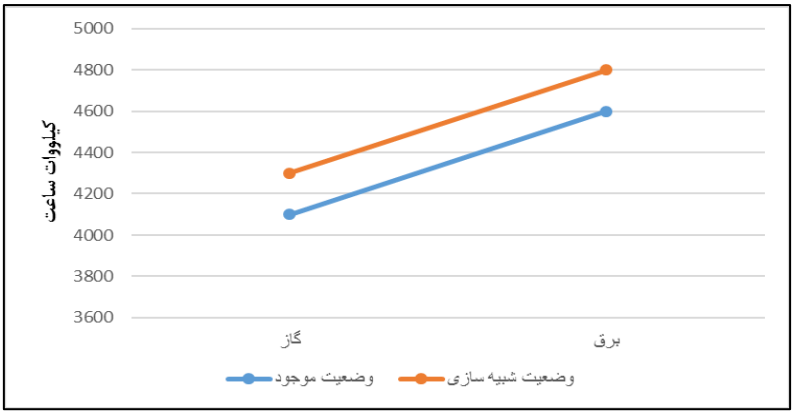
روش تحقیق

مطالعات کتابخانه ای، میدانی و شبیه سازی به وسیله نرم افزار دیزاین بیلدر روش های مورد استفاده در این پژوهش هستند. در این پژوهش یک ساختمان بلندمرتبه مسکونی در اقلیم گرم و خشک شهر شیراز انتخاب شده، در مرحله اول به بررسی عوامل محیطی و وضعیت موجود ساختمان مورد مطالعه از لحاظ پوسته خارجی پرداخته می شود، سپس مصارف مختلف انرژی در بخش گرمایش، سرمایش، روشنایی، لوازم خانگی و آب گرم مصرفی به صورت دینامیک مدل سازی شده و به منظور اعتبارسنجی نتایج شبیه سازی در نرم‌افزار با شرایط واقعی در نمونه موردنظر نیز میزان نتایج مصرف انرژی در بخش برق و گاز مصرفی بر حسب کیلووات ساعت در وضعیت موجود ساختمان و شبیه سازی در شکل شماره۱مقایسه شده اند. که اختلاف بسیار اندک بین نتایج تایید کننده صحت نرم افزار می باشد.

در مرحله بعدی میزان انرژی گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز از طریق مدل سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر محاسبه گردید. در نمونه مورد بررسی دیوارها تک جداره از جنس آجر یا نمای آجری ۱۰ سانتی و پنجره ها تک جداره انتخاب شده و در دیتیل دیوارها، سقف، کف از مصالح عایق حرارتی استفاده نشده است و پنجره ها ۲۵ درصد سطح نما را تشکیل داده اند. سپس به بهینه سازی قسمت های مختلف پوسته مانند سایبان، پنجره، مصالح ساختمانی در جهت کاهش میزان مصرف انرژی پرداخته می شود و میزان مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه با نتایج حاصل از بهینه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر مورد مقایسه قرار می گیرند.

---

[1] Noura Ghabra
[2] Rachele Danorah Gunderson
[3] Granadeiro, Correia, Leal, Duarte
[4] Ariosto



مبانی نظری پژوهش

ضرورت توجه به پوسته خارجی در کاهش مصرف انرژی ساختمان

در حال حاضر پوسته ساختمان اصلی ترین نقش را در تلفات انرژی دارد .سطوح خارجی بنا بیشترین تعامل را با محیط بیرونی داشته و به همین دلیل نقش اساسی در ایجاد آسایش حرارتی و تبادلات انرژی ساختمان با محیط خارج را دارند .از این‌رو کارکرد اساسی و مهم آن‌ها در ساختمان‌ها و معماری کنونی نیز تعدیل شرایط آب و هوایی محیط طبیعی است، بطوری‌که کارکرد انرژی ساختمان توسط پوسته ساختمان تعیین می‌شود .از مهمترین کارکردهای پوسته‌های ساختمان‌ها می‌توان به کنترل تابش، تامین تهویه طبیعی و تعیین میزان سرمایش و گرمایش اشاره کرد(Auer,2011).

انتقال از طریق پوسته خارجی ساختمان بیش‌ترین درصد اتلاف حرارت را بخود اختصاص داده است، بنابراین هر چه میزان انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان بیشتر باشد، انرژی مورد نیاز برای تامین شرایط آسایش افزون‌تر بوده و لازم است برای جبران انرژی منتقل شده از پوسته خارجی، به صورت مداوم توانی برای گرمایش یا سرمایش مصرف شود. در صورتی که بتوانیم تعمیدات لازم را برای کاهش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان در نظر بگیریم، به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه‌جویی خواهیم نمود(قلعه نوی و همکاران، ۱۳۹۶).

پوسته های پاسخگو در ساختمان های بلندمرتبه مسکونی

یک پوسته ساختمانی پاسخگو شامل ویژگی ها و رفتار عملکردی شبیه به یک پوسته ساختمانی "هوشمند" از جمله سنجش زمان واقعی سنجش، عناصر سازگار با محیط زیست، مواد هوشمند، اتوماسیون و ... می باشد. اما همچنین شامل ویژگی های تعاملی مانند الگوریتم های محاسباتی است که اجازه می دهد سیستم ساختمان خود را در طول زمان تنظیم کند، همچنین توانایی تنظیم و تغییر دستی عناصر پوسته ساختمان برای کنترل شرایط محیط توسط ساکنان را دارد (Brown, 2009).

یک پوسته پاسخگو، ویژگی های عملکردی مشابه یک پوسته هوشمند را دارد از جمله حس کردن در زمان، عناصر متحرک تطبیق پذیر با آب و هوا، مصالح هوشمند و اتوماسیون. اما ویژگی های تعاملی را نیز شامل می شود مانند الگوریتم های محاسباتی که به سیستم های ساختمان اجازه می دهد تا خود تنظیم کنند و در طول زمان بیاموزند . همچنین توانایی برای ساکنین که عناصر پوسته ساختمان را برای کنترل شرایط محیطی دستکاری کنند.

در حال حاضر پوسته ساختمان اصلی ترین نقش را در تلفات انرژی دارد. سطوح خارجی بنا بیشترین تعامل را با محیط بیرونی داشته و به همین دلیل نقش اساسی در ایجاد آسایش حرارتی و تبادلات انرژی ساختمان با محیط خارج را دارند. از این رو کارکرد اساسی و مهم آن ها در ساختمان ها و معماری کنونی نیز تعدیل شرایط آ و هوایی محیط طبیعی است، بطوریکه کارکرد انرژی ساختمان توسط پوسته ساختمان تعیین می شود.از مهم ترین کارکردهای پوسته های ساختمان ها می توان به کنترل تابش، تامین تهویه طبیعی و تعیین میزان سرمایش و گرمایش اشاره کرد (Auer,T,2011).

بررسی وضعیت موجود ساختمان

نمونه مطالعاتی مورد بررسی یک ساختمان ۱۶ طبقه مسکونی واقع در شهر شیراز(اقلیم گرم و خشک) می باشد. که سه طبقه زیرین آن پارکینک و طبقه آخر سالن اجتماعات و سالن ورزشی می باشد. در هر طبقه ۴ واحد مسکونی طراحی شده است. این ساختمان دارای کشیدگی شرقی – غربی می‌باشد. واحد نمونه شبیه سازی شده در طبقه میانی یک ساختمان ۱۶ طبقه مسکونی قرار گرفته است و در طبقات بالا و زیرین خود در همسایگی با واحدهای دیگر است. پنجره ها با سایبان ثابت با ۱/۲ متر پیش‌آمدگی و از جنس شیشه دوجداره می باشند. ارتباط طبقات نیز از طریق راه‌پله و آسانسور تامین شده است. سیستم گرمایشی ساختمان رادیاتور (شوفاژ) و سیستم سرمایشی آن کولر آبی است. گرمایش و آبگرم مصرفی ساکنین ساختمان توسط گاز طبیعی و سرمایش نیز توسط برق صورت می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل

تاثیرسایه بان بر میزان مصرف انرژی

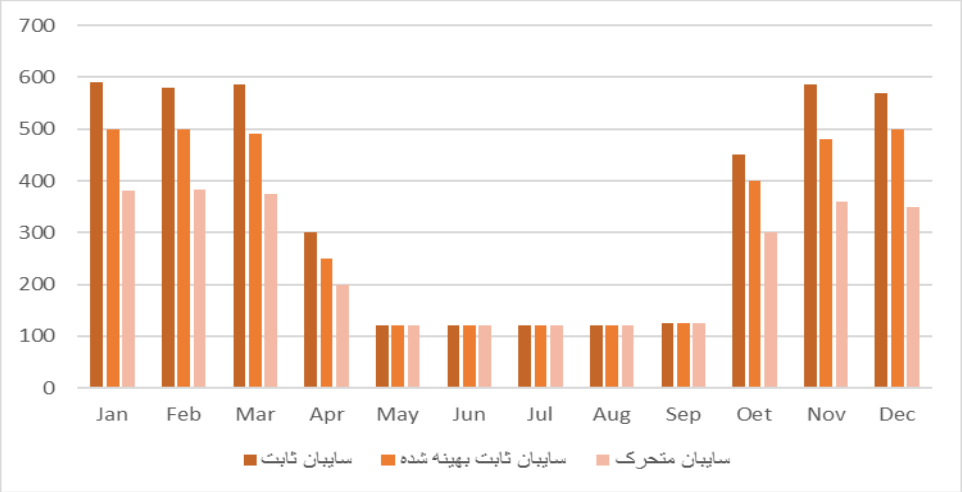
امروزه تلاش زیادی به منظور کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها صورت می‌گیرد. یکی از عوامل مهم برای بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان، به خصوص در شرایط آب و هوایی متنوع ایران با داشتن شرایط اقلیمی مختلف و نواحی با تابستان های گرم و زمستان‌های سرد، کنترل خورشید است. با توجه به اینکه پنجره، تنها بخش در ساختمان است که به طور مستقیم می‌تواند تابش خورشید را وارد فضا کند؛ بنابراین استفاده از سایه‌بان، جهت کنترل نفوذ نور طبیعی و گرمای خورشید به داخل فضا ضروری است.(S. Grynning,et al.,2014)

سایه‌بان خارجی تیره رنگ، تابش خورشید را قبل از ورود به ساختمان و تبدیل شدن به گرما، مسدود می کند(قبادیان و فیض مهدوی، ۱۳۹۳) در نتیجه مصرف انرژی را کاهش می دهند(نصراللهی، ۱۳۹۳). ایجاد سایه بر روی پنجره ها یا دیوارهای شیشه‌ای ،مانع تابش مستقیم آفتاب به سطح شیشه می‌شود و دریچه، حرارت ایجاد شده ناشی با دراز تابش آفتاب در فضای پشت شیشه به شدت کاهش می‌یابد. این مقدار کاهش به محل سایه ایجاد شده بستگی دارد. سایبان‌های خارجی می‌توانند تا 90درصد و سایبان‌های داخلی (پرده کرکره) تنها 20تا 25درصد اثر حرارتی تابش آفتاب را در داخل یک اتاق کاهش دهند.

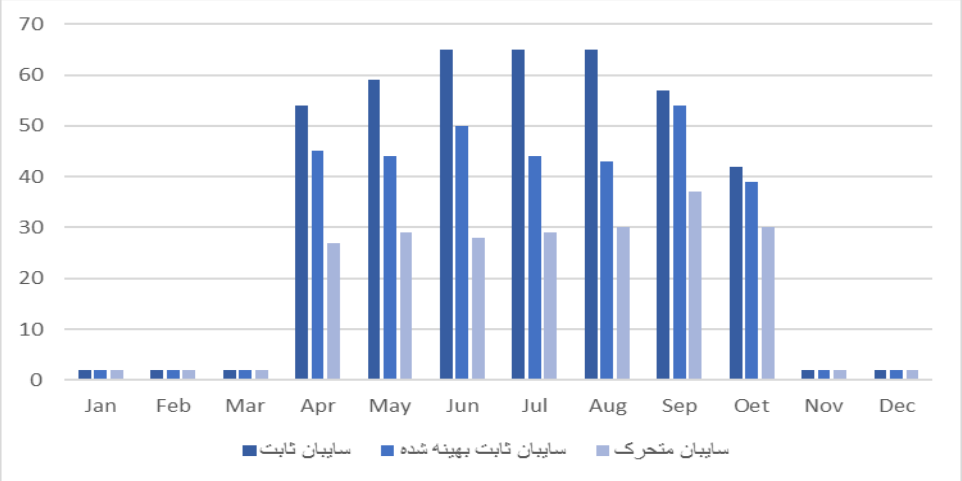
ابتدا ساختمان با درصد پنجره بهینه شده در جهات مختلف با در نظر گرفتن سایه‌بان افقی در تمام جهات با پیش آمدگی از 0 تا 1.6 متر، سپس سایه‌بان متحرک اتوماتیک با قابلیت تغییردر جهات و زاویه های مختلف شبیه سازی و میزان مصرف انرژی روشنایی، گرمایشی، سرمایشی و انرژی اولیه محاسبه شده است.

جدول شماره۱: ضریب انتقال حرارت در ساختمان با سایبان‌های مختلف؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

نوع سایبان	جهت قرارگیری	ضریب انتقال سرمایش	ضریب انتقال گرمایش
سایبان ثابت	جنوب	142.3	8.5
	شرق	86.6	6.7
	غرب	80.4	8.2
سایبان متحرک	جنوب	95.4	8.2
	شرق	72.2	5.5
	غرب	67.6	7.9



نمودار شماره۱: متوسط میزان مصرف انرژی گرمایشی در ماه‌های مختلف سال با توجه به نوع سایبان؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی



نمودار شماره۲: متوسط میزان مصرف انرژی سرمایشی در ماه‌های مختلف سال با توجه به نوع سایبان؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

۲-۶- تاثیر نوع پنجره بر میزان مصرف انرژی

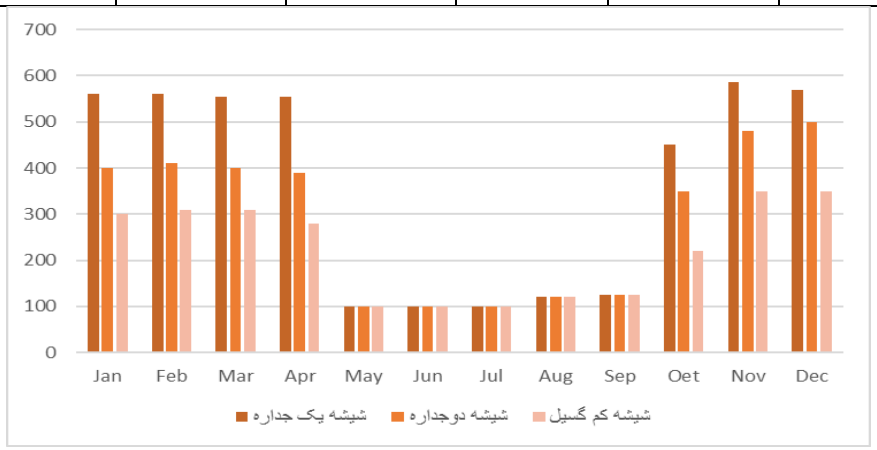
حدود ۷۰درصد از هدر رفت انرژی های مصرفی در ساختمان، از جداره های خارجی صورت می گیرد(Al-Obaidi,2014).که از این میان ۲۰ الی ۴۰ درصد مربوط به پنجره ها می باشد (Erdem, C., Riffat, S,.B,2015). به بیان دیگر، در صورتی که قصد داشته باشیم یک ساختمان با بهره‌وری انرژی مطلوب طراحی کنیم، جداره‌های خارجی و به خصوص پنجره ها، یه در نظر به عنوان اجزای ساختمانی، باید مورد توجه قرارگیرد(Cuce E.,2014). بهبود عملکرد بار سرمایشی و گرمایشی در فصول سرد و گرم، یکی از اولویت‌های بهینه سازی مصرف انرژی در اجزای ساختمانی است. لذا انتخاب پنجره ها به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای ساختمان که نقش بسیار مهمی در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی دارد، باید مورد توجه قرار گیرد(گرجی مهلبانی و همکاران، ۱۳۹۶).

در پژوهش حاضر عملکرد حرارتی و برودتی پنجره های تک لایه، دولایه و کم گسیل شبیه سازی شد. در حالت اول پنجره تک لایه در نظر گرفته شده است و سپس در سه حالت یک لایه و دولایه و کم گسیل شبیه سازی شد. در زیر نتایج تحلیل‌های انجام شده با توجه به نوع پنجره ها، ضخامت لایه ها ذکر شده است. نتایج بدست آمده از ارزیابی این بخش نشان داد که با در نظر گرفتن مصالح مشابه برای دیوارهای خارجی، استفاده از پنجره های دولایه و کم گسیل به جای تک لایه میزان بار گرمایشی

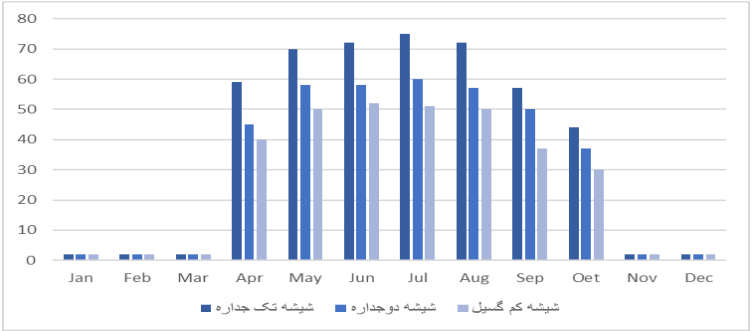
ساختمان به ترتیب حدود۱۷ و ۳۹درصد کاهش می یابد و مصرف الکتریسیته جهت سرمایش تقریبا ۳ کیلووات ساعت بر مترمربع کاهش پیدا می کند، همین امر در میزان مصرف گاز برای گرمایش فضا نیز صادق می باشد و با استفاده از پنجره‌های کم گسیل به جای پنجره های یک جداره میزان مصرف گاز تقریبا به مقدار ۱۵/۲ کیلووات بر ساعت بر مترمربع نیز کاهش پیدا می کند.

جدول شماره۲: ضریب انتقال حرارت و میزان دریافت اشعه خورشید در شیشه های مختلف (W/m^2K)؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

نوع پنجره	ضخامت شیشه	ضخامت لایه هوا	ضریب انتقال سرمایش	ضریب انتقال گرمایش	میزان دریافت اشعه خورشید
تک لایه	۳میلی‌متر	–	۵/۸	۲/۵	۰/۸۶۱
دولایه	۳میلی‌متر	۶میلی‌متر	۲/۷۱۶	۲/۸	۰/۷۶۴
کم گسیل	۳میلی‌متر	۶میلی‌متر	۰/۷۸	۴/۵	۰/۴۷۴



نمودار شماره۳- متوسط مصرف انرژی گرمایشی در ماه‌های مختلف سال با توجه به تعداد جداره و نوع شیشه های خارجی؛ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی



نمودارشماره٤- متوسط مصرف انرژی گرمایشی در ماه‌های مختلف سال با توجه به تعداد جداره و نوع شیشه های خارجی؛ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

تاثیر ابعاد پنجره بر میزان انرژی مصرفی

تحقیقات انجام شده در اروپا نشان می‌دهد که مصرف انرژی کل در سراسر جهان در استفاده از انرژی در ساختمان منجر به افزایش ۳۰٪ از انتشار گاز co^2، ۴۰٪ در مصرف انرژی ساختمان‌ها شده است که پنجره‌ها تاثیر قابل توجهی در عملکرد انرژی ساختمان‌ها دارند. طراحی مناسب پنجره‌ها تا حد زیادی می‌تواند مصرف انرژی در ساختمان را کاهش دهد. زمانی که نسبت پنجره دیوار را افزایش می دهد عملکرد نور طبیعی بهتر است(Yang, M. et al.,2015) اندازه پنجره نه تنها تعیین کل انرژی تقاضا برای یک

ساختمان را به طور مستقیم از طریق در دسترس بودن نور روز تحت تاثیر قرار می دهد. قرار می دهد. به عنوان یک عارضه اضافی، مقدار نور الکتریکی به طور غیرمستقیم بر تقاضای کل انرژی برای گرمایش، سرمایش و روشنایی به علت تولید گرما از روکمی گذارد. تقاضای روشنایی الکتریکی نه تنها تحت تاثیر اندازه پنجره قرار می گیرد بلکه موقعیت پنجره، شکل پنجره و تاثیر روشنایی در یک اتاق را تحت تاثیر قرار می دهند. به این ترتیب موقعیت پنجره و اندازه پنجره در تعیین تقاضای الکتریکی روشنایی تاثیرگذار است. (S. Didbaia,et al.,2014) در این پژوهش برای دیوارهای شمالی و جنوبی که بیشترین دریافت انرژی خورشید در روز را دارند، از صفر تا ۱۰۰ درصد پنجره در نظر گرفته می شود، و کمترین میزان انرژی در هر درصد با توجه به انرژی گرمایشی، انرژی سرمایشی و انرژی روشنایی نتایج بدست آمده محاسبه و تحلیل می گردد. (جدول شماره۳)

جدول شماره۳: میزان مصرف انرژی با توجه به ابعاد پنجره ؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

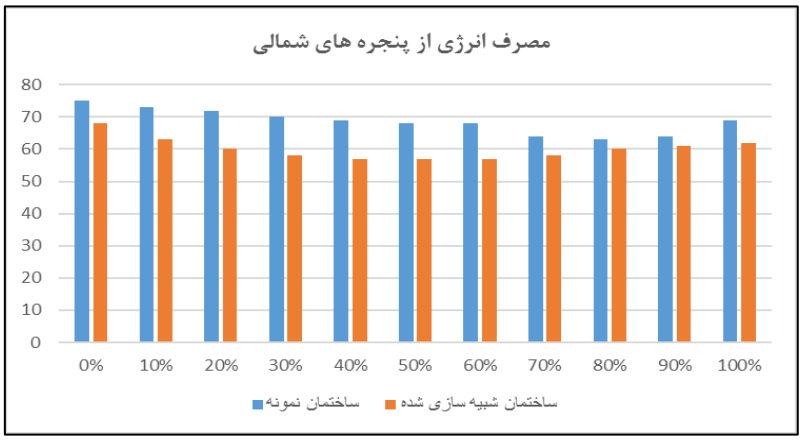
نمای مورد بررسی	انرژی گرمایشی	انرژی سرمایشی	انرژی روشنایی	انرژی کل
نمای شمالی	۱۶/۴(در ۱۰۰٪)	۱۱/۸۵(در ۰٪)	۳/۴۲ (در۱۰۰٪)	۵۴/۴۰(در ۵۰٪)
نمای جنوبی	۲۰/۰ (در ۱۰۰٪)	۹/۸۹ (در ۰٪)	۳/۴۷ (در۱۰۰٪)	۵۷/۲۹ (در۶۰٪)

نتایج نرم افزار با داده هایی بسیار درست نشان می دهند با افزایش نسبت سطح پنجره میزان جذب انرژی خورشیدی در ساختمان نیز افزایش می یابد. البته قابل ذکر است که افزایش سطح پنجره مقداری اتلاف انرژی از طریق انتقال را نیز دارد ولی در مقایسه با انرژی خورشیدی بسیا ناچیز است و به همین سبب با کاهش مصرف انرژی گرمایشی روبرو هستیم. افزایش سطح پنجره از ۵۰درصد به بالا شیب کاهشی میزان مصرف انرژی کم می شود.

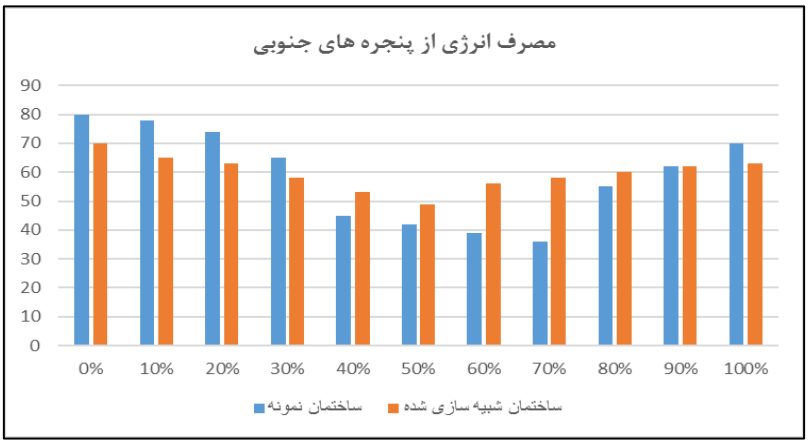
با افزایش نسبت سطح پنجره به دیوار میزان مصرف انرژی سرمایشی افزایش می یابدو این امر بدیهی است چرا که چرا که افزایش سطح پنجره ها منجر به افزایش دریافت انرژی خورشیدی به ویژه در تابستان هستیم و این میزان جذب انرژی خورشید مصرف انرژی سرمایشی بالاتری را در پی دلرد. میزان افزایش مصرف انرژی سرمایشی از سطح صفر تا ۳۰ درصد پنجره کم است و بعد از آن با افزایش میزان سطح پنجره ،میزان مصرف انرژی نیز با سرعت بیشتری افزایش می یابد.

در ادامه هر مقدار مساحت پنجره های یک ساختمان بیشتر باشد نیاز به برق مصرفی و روشنایی داخل خانه توسط لامپ‌ها کمتر خواهد بود. با افزایش میزان سطح پنجره از صفر تا ۱۰ درصد شاهد کاهش قابل ملاحظه ای در مصرف انرژی روشنایی می باشیم و بعد از آن با شیب یکنواخت و تقریبا به صورت کند کاهش مصرف انرژی روشنایی را شاهد هستیم.

در نمودارشماره۳ میزان تفاوت مصرف انرژی کل از قسمت پنجره های ساختمان نمونه و ساختمان شبیه سازی شده نمایش داده شده است.



نمودار شماره۵: میزان مصرف انرژی در درصدهای مختلف پنجره به دیوار در نمای شمال ؛ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی



نمودار شماره٦: میزان مصرف انرژی در درصدهای مختلف پنجره به دیوار در نمای جنوب؛ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

تاثیر مصالح ساختمانی بر میزان انرژی مصرفی

بعد ازمحاسبه میزان نیاز به انرژی سالانه، در قم بعد، با یک طراحی جدید و تغییر دیتیل، دیوار، سقف، کف و پنجره، تاثیر فاکتورهای مختلف چون دیوار دوجداره با فاصله ۱۰ سانتی‌متر هوا، دیوار دوجداره با عایق پلی یوتان بین جداره‌ها، کف کاذب، سقف مجوف، استفاده از لایه عایق حرارتی در سقف و... اضافه گردید و تاثیر تک‌تک فاکتورها بر میزان نیاز به انرژی ساختمان محاسبه گردید.

جدول شماره٤: مشخصات مصالح استفاده شده در ساختمان نمونه موردی؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

مشخصات	کف طبقه همکف	کف طبقات	دیوار خارجی	دیوار داخلی
مصالح	سرامیک/ملات/بتن سبک/بلوکاژ	سرامیک/ملات/بتن سبک/گچ و خاک	آجر۱۰سانتی/آجر۲۰سانتی/گچ و خاک	گچ و خاک/آجر۱۰ سانتی/ گچ و خاک

جدول شماره۵: جزئیات مصالح استفاده شده در نمونه جدید؛ ماخذ: جباری و همکاران،۱۳۹۲

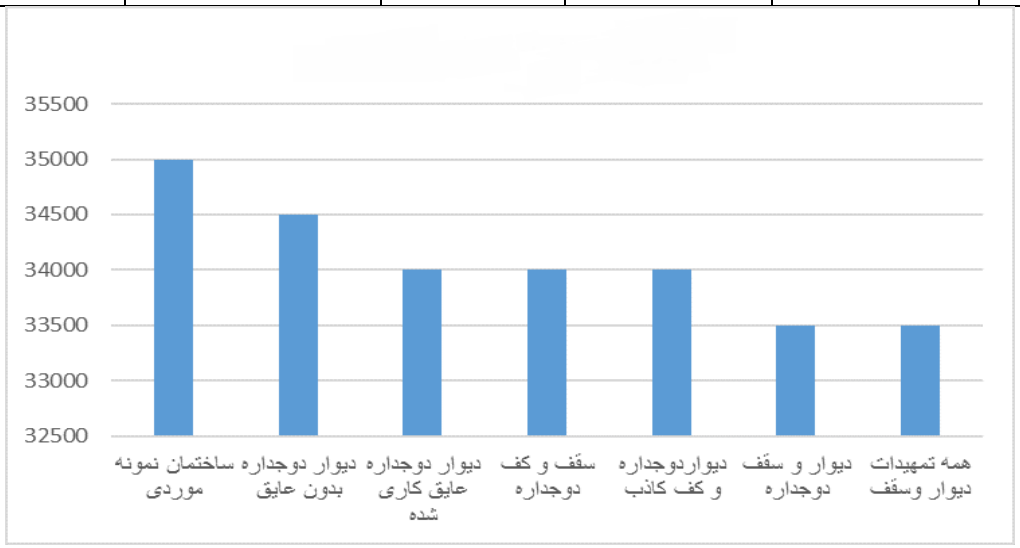
مشخصات	کف کاذب	سقف عایق کاری شده	دیوار دوجداره عایق کاری شده	دیوار دو جداره بدون عایق
مصالح	سرامیک/لایه هوا۱۰ سانتی/بتن سبک/بلوکاژ	موزائیک/ملات/بتن شیب‌بندی/عایق پلی-یورتان۱۵ سانتی-متر/بتن سبک/گچ و خاک	آجر۱۰سانتی نما/آجر ۱۰سانتی/عایق پلی یورتانی ۱۵ سانتی/آجر۱۰سانتی/گچ و خاک	آجر۱۰ سانتی نما/آجر۱۰سانتی/ هوا۱۰ سانتی/آجر۱۰سانتی/گچ و خاک

در جدول شماره ۶ درصد صرفه جویی در انرژی سرمایشی و گرمایشی و انرژی کل به صورت جداگانه نشان داده شده است.

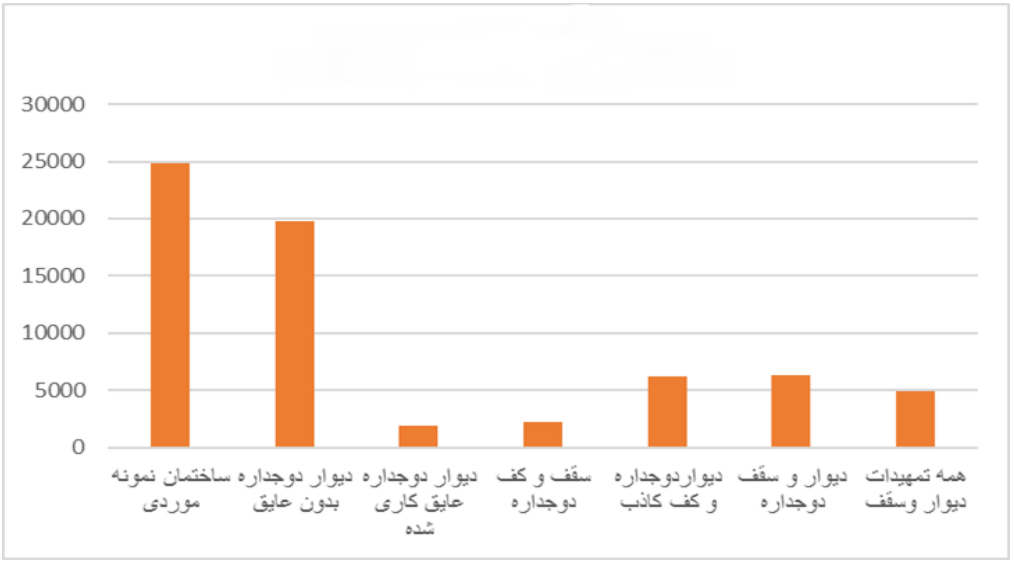
جدول شماره٦: درصد تاثیر دیوار با مصالح گوناگون بر مصرف انرژی کل سالیانه بر حسب درصد؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

همه تمهیدات	دیوار دوجداره و کف کاذب	دیوار و سقف دوجداره	سقف و کف دوجدار	دیوار دوجداره با عایق پلی یورتان	دیوار دو جداره بدون عایق

۹	۲۵	۰	۴۳	۳۸	۴۱



نمودار شماره۷: میزان انرژی سرمایشی مورد نیاز برای دیوار با مصالح مختلف؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی



نمودار شماره۸: میزان انرژی سرمایشی مورد نیاز برای دیوار با مصالح مختلف؛ ماخذ: نویسندگان بر اساس نتایج نرم افزار شبیه سازی

نتیجه گیری

در این پژوهش میزان مصرف انرژی روشنایی، گرمایشی و سرمایشی و انرژی اولیه یک ساختمان مسکونی بلندمرتبه نمونه با درصد پنجره و سایه‌بان های مختلف در جهات مختلف و همچنین مصالح مختلف در جداره خارجی، با استفاده از نرم‌افزار مدلسازی شبیه سازی و تحلیل شده است. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل ارائه شده در پژوهش و مقایسه میزان مصرف انرژی در ساختمان موجود و نمونه بهینهس سازی شده به‌وسیله نرم‌افزار، مشخص است که ساختمان میزان زیادی انرژی را از طریق پوسته بیرونی خود (جداره‌های خارجی) از دست می دهد و تا حد زیادی در میزان انرژی مصرفی در بخش سرمایشی و گرمایشی موثر می‌باشد. استفاده از سایه‌بان و پنجره در حالت بهسازی و استفاده از عایق در بدنه خارجی ساختمان از نظر کاهش مصرف انرژی به میزان زیادی تاثیرگذار می‌باشد.در صورتی که اجرای هر کدام از این تمهیدات به تنهایی اصلا گزینه مناسبی نخواهد بود و تاثیر کمتری در مصرف میزان انرژی دارد. به طوریکه نتایج شبیه سازی نشان دادند تغییر در اندازه و زاویه پیش آمدگی و همچنین تغییر نوع سایه‌بان در حدود ۵ الی ۸/۵ درصد نسبت به حالت اولیه نمونه مورد بررسی مصرف انرژی گرمایشی و خصوصا سرمایشی را کاهش

می دهد همچنین بهینه سازی پنجره از لحاظ نوع شیشه استفاده شده در پنجره‌ها در حدود ۱۷–۳۹ درصد و از نظر ابعاد پنجره ۷ تا ۱۵درصد مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد. در بخش استفاده از مصالح ساختمانی نیز تغییر در نوع مصالح و استفاده از عایق‌های حرارتی و رطوبتی در قسمت دیوار، سقف و کف می تواند در حدود ۱۲ الی ۱۴ درصد در مصرف انرژی سالانه ساختمان در اقلیم گرم و خشک صرفه‌جویی کند.

منابع:

۱. حافظی، محمدرضا؛ زمردیان، زهرا سادات؛ تحصیلدوست دیوار، محمد (۱۳۹۵)، "فرایند دستیابی به نمای دوپوستهٔ دارای بهره وری مناسب انرژی، نمونه موردی یک ساختمان اداری در تهران"، *دو فصلنامه معماری ایرانی*، شماره۱۰، پاییز و زمستان۹۵.

۲. حسینی، یاسمن؛ رحمانی قصبه (۱۳۹۴)، "نماهای دوپوسته :راهکاری هوشمندانه در پایداری انرژی"، *کنفرانس بین المللی مهندسی عمران و معماری و شهرسازی، تبریز، ایران.*

۳. خداکرمی، جمال؛ شکری، الهام؛ کولیوند، طاهره (۱۳۹۴)، "ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی(مطالعه موردی: پروژه مسکن مهر ابریشم، استان البرز)"، *مجله مدیریت محیط زیست*، سال دوم، شماره۱، بهار۹۴.

٤. رزازی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه (۱۳۹۷)، "پوسته های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت"، *فصلنامه علمی تخصصی معماری سبز*، سال چهارم، شماره یازده، تابستان۹۷.

۵. قبادیان، وحید؛ شریفی، مهدی(۱۳۹۶)، بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی پوسته های ساختمان ها بر زمان تاخیر و ضریب کاهش انتقال حرارت(نمونه موردی:ساختمان های بلندمرتبه شهر همدان) ، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محط زیست*، دروه۱۹، شماره۴، بهار۹۶.

٦. قلعه نوی، افسانه؛ قلعه نوی، منصور؛ رشیدیان، محمدمهدی؛ شکیبا، محمدرضا؛ اخوان عبداللهیان، محمدرضا(۱۳۹۶)، "ارزیابی حرارتی و صوتی مصالح ساختمانی رایج به عنوان پوسته خارجی ساختمان"، *دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی شریف، اسفند۹۶.*

۷. گرجی مهلبانی، یوسف؛ مفرد بوشهری، یوسف؛ عزیززاده آرائی، روانبخش(۱۳۹۶)، "تاثیر پنجره در کاهش میزان بار حرارتی و برودتی ساختمان با استفاده از شبیه سازی نرم افزار دیزاین بیلدر"، *فصلنامه علمی ترویجی انرژی های تجدیدپذیر و نو*، سال چهارم، شماره اول، تابستان۹۶، صص۱–۸.

۸. مهدوی نژاد، محمد جواد؛ هادیان پور،محمد؛ بمانیان، محمد رضا حق شناس،محمد(۱۳۹۳)، "ظرفیت سنجی به کارگیری پوسته‌های دوجداره در طراحی معماری اقلیم گرم و خشک ایران به منظورکاهش مصرف انرژی (نمونه موردی شهر یزد)"، *نشریه هنر های زیبا-معماری و شهرسازی*، دوره ۱۹ ، شماره۳.

۹. نصرالهی، فرشاد، (۱۳۹۳)، "ساختمان های اداری انرژی کارا؛ بهره وری انرژی با طراحی معماری"، *مجموعه مقالات تحقیقاتی پروژه شهرهای جوان*، جلد یازدهم.

10. Auer, T.(2011), "High-Performance Facades Design Strategies and Applications in North America and Northern Europe", *in Public Interest Energy Research (PIER) Program.*
11. Al-Obaidi, K.m., Ismail,M., Rahman,A.M.A. (2014), "Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed house", *Energy Covers Manage, Vol.85,488*-504.
12. Erdem, C., Riffat, S.B.(2015)," A state – of- the art review on innovative glazing technologies ", *Renew ,Sust. Energy, Vol.41, 695-714.*
13. Cuce E.(2014), "development of innovative window and fabric technologies for low carbon buildings" *[Ph.D. thesis], The university of Nottingham.*
14. Cuce E.& Cuc e Pm.(2013)," A comprehensive review on solar cookers, Energy", Vol.102:1399-421.
15. http://www.isover-students.com/content/view/247/312/.

16. Q. Yang, M. Liu & Ch. Shu, D.& Mmererki, H.& Md.Uzzal, X. Zha. (2015), " Impact Analysis of Window-Wall Ratio on Heating and Cooling Energy Consumption of Residential Buildings in Hot Summer and Cold Winter Zone in China ", *Journal of Engineering,(10)11.*
17. S. Didbaia, V.& Gray, J. Mathur (2014), *Optimization of Window-Wall Ratio For Different Buildings Types, International Institute of Information Technology*, Hyderabad(India).
18. S. Grynning, B& Time, B. Matusiak (2014)," Solar shading control strategies in cold climates–Heating, cooling demand and daylight availability in office spaces", *Solar energy, Vol. 107, pp. 182–194.*
19. Z. Brown.(2009), "Reconciling human and automated intelligence in the provision of occupant comfort", *Intelligent buildings international 1, pp. 39–55.*