Journal of Islamic Art Studies
www.sysislamicartjournal.ir

Energy-Efficient Patterns for Tall Residential Building Envelopes Utilizing Building Information Modeling

Hassan Jabur [1], **Mohammad Reza Bemanian** [*2], **Mansour Yeganeh** [3]

[1] Department of Architectural Engineering, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. hassan.alaameri@gmail.com
[*2] (Corresponding author) Department of Architectural Engineering, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. bemanian@modares.ac.ir
[3] Department of Architectural Engineering, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. yaganeh@modares.ac.ir

Article Info

Research Article
Issue 53
Volume 21
Page 101 to 117

Submission Date: 2021/10/31
Review Date: 2022/01/16
Acceptance Date: 2022/03/08
Publication Date: 2024/03/20

Keywords

Building Information Modeling (BIM),
Residential Building,
Energy Efficiency.

Cite this article

abur,H. , Bemanian,M. R. and Yeganeh,M. (2024). Energy-Efficient Patterns for Tall Residential Building Envelopes Utilizing Building Information Modeling. *Islamic Art Studies*, *21*(53), 101-117.

dorl.net/dor/20.1001.1.*******.****.**.**.*.*/

dx.doi.org/10.22034/IAS.2022.331412.1889

ABSTRACT

Concurrent with the rapid increase in energy consumption, concerns regarding production problems, the depletion of energy resources, and severe environmental impacts (ozone layer depletion, global warming, climate change, etc.) have grown worldwide. Today, energy efficiency in buildings is the primary goal of energy policy at regional, national, and international levels. Inappropriate design and construction, non-standard materials and equipment, the materials used in buildings, and improper selection of building envelopes such as walls, windows, and insulation systems are among the most important factors for the high intensity of energy consumption in buildings. Improving the aforementioned measures reduces the share of internal energy losses from each component of the building shell. The increasing advancement of technology and the industry's need to use it have caused Building Information Modeling to grow as one of the new technologies in the construction industry and attract researchers' attention for its use and development. The aim of the present research was to investigate energy-efficient patterns for tall residential building envelopes utilizing Building Information Modeling. For this purpose, this research examines the use of different materials in constructing the external walls of a building, based on a case study and using the capabilities of a Building Information Model, from the perspective of energy consumption. The materials investigated in this research are clay block, pumice concrete block, foamed concrete block, Iran-wall block, aerated block, and Wallcrete. Pumice concrete block and foamed concrete block, with approximately 10% savings in fuel-derived energy consumption and 3.8% savings in electrical energy consumption, were selected as the best wall.

Research Objectives:

1. Examining the impact of Building Information Modeling on urban housing.
2. Investigating energy-efficient patterns for residential building envelopes.

Research Questions:

1. What is the impact of Building Information Modeling on urban housing?
2. What are the energy-efficient patterns for residential building envelopes?

2676-7759/ © 2025 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

Introduction

Concurrent with the rapid increase in energy consumption, concerns regarding production problems, the depletion of energy resources, and severe environmental impacts (ozone layer depletion, global warming, climate change, etc.) have grown worldwide. Today, energy efficiency in buildings is the primary goal of energy policy at regional, national, and international levels. Achieving sustainable development at the national level requires minimizing buildings' environmental impact by reducing energy consumption. Current methods and techniques for simulating building energy are time-consuming and inefficient. Furthermore, a lack of high interoperability between theoretical and actual energy data is among the main challenges of these methods. The design stages of the building envelope play a crucial role in the building's lifecycle performance in terms of resources, energy consumption, and lifecycle costs. Analyzing a building's energy performance during the building envelope design stages requires access to specific information such as material properties and environmental conditions. Such information is one of the determining factors of a building's energy performance.

Jiang et al. (2020) empirically studied the amount of solar energy received on walls with brick and wooden facades. Their results indicated the significant influence of building facade material on the building's energy consumption. Olusola et al. (2011) examined the effects of solar energy storage in the building envelope on reducing energy consumption in cold climates. Hyun et al. (2017) conducted an empirical analysis of the impact of the solar reflectance coefficient of painted facades on the building's thermal load. Their research results showed that if the building's exterior facade is covered with gray paint, the building's heating load decreases compared to a facade covered with white paint, while its cooling load increases. (Madalanao et al., 2015). Using numerical simulation, they analyzed the effect of exterior facade material on the annual energy consumption of a building in the climate of Milan, Italy, studying concrete facades, aluminum facades, glass facades, and facades with vegetative cover. Also, Patrina Bahar and colleagues (2019) numerically and experimentally investigated the impact of using vegetative coverings on the building's external envelope. The results of this research showed that using vegetative coverings reduces solar energy absorption and the summer cooling load, while this can increase the building's winter heating load (Søvring et al., 2016). Research has shown that by selecting appropriate materials for the building facade, condensation in ceiling cooling systems in the climate of [city name, likely missing from original] can be prevented. According to these studies, it can be concluded that building envelope design can play a significant role in the energy consumption of tall buildings.

Researchers believe that inadequate compatibility due to the complexity of data exchange between building envelope design and building energy simulation hinders the effective use of energy performance analysis in the early design stage. Energy efficiency in new buildings can be influenced by adopting an integrated approach to building envelope design. Building Information Modeling (BIM) is a suitable solution for extracting data such as daylight or energy in different zones. Building Information Modeling involves the digital representation of a building's physical and functional characteristics. It is used as a shared source of reliable information about a building's facilities for decision-making throughout its entire lifecycle from inception onward. Based on the literature review, the main potentials and added value of adopting BIM technology in the energy sector have been recognized, which can include building performance analysis (Park et al., 2018), integrated design and building performance analysis (Remjai et al., 2020), assisting in building performance analysis during early design stages (Savaros, 2020), improving design quality and reducing resource consumption (Shin et al., 2015), energy efficiency and greenhouse gas emission reduction (Salmon et al., 2013), reducing energy and resource consumption (Bossing et al., 2015), improving design quality and energy efficiency (Van and Cheng, 2017), improving design quality and energy efficiency (Zhang et al., 2013), and improving design quality and energy efficiency (Choi et al., 2012). Therefore, it can be concluded that Building Information Modeling plays a significant role in optimizing energy consumption in tall residential buildings, and alongside building envelope design, this system can be utilized to enhance energy efficiency—a topic that has received less attention in previous research, and the role of BIM in improving energy-efficient patterns for residential building envelopes has not been the focus, a research gap that will be addressed in this study.

Conclusion

The construction industry is considered one of the major consumers of energy among economic sectors in the country, and managing and reducing energy consumption is one of the main necessities of the energy sector. Inappropriate design and construction, non-standard materials and equipment, the materials used in buildings, and improper selection of building envelopes such as windows and insulation systems are among the most important factors for the high intensity of energy consumption in buildings. Implementing the aforementioned measures reduces the share of internal energy losses from each component of the building shell. The efficiency of materials is determined by thermal resistance, thickness, and density parameters. At first glance, one might expect that the higher the thermal resistance of a wall, the lower its energy consumption

will be. However, by changing the thickness of layers and the density of materials, its thermal inertia changes, which will also affect the heat transfer of the materials. Therefore, to consider all the parameters affecting heat transfer, using Building Information Modeling, which also has the capability to model building layers separately, will greatly assist in more accurate and comprehensive energy estimation. The impact of reduced energy consumption from using energy-saving methods in multi-story buildings over their lifespan leads to a high figure. For this reason, when considering the savings from additional costs due to higher energy consumption, the higher initial cost for purchasing and installing materials with better energy performance is justified.

References

Bardbari, M. J., Rastegar, M., & Seifi, A. (2020). Optimizing building energy consumption considering uncertainties. *Energy Engineering and Management, 10*(2), 26–39. [in Persian]

Bucoń, R.; Tomczak, M. (2018). Decision-making model supporting the process of planning expenditures for residential building renovation. Technol. Econ. Dev. Econ. 24, 1200–1214.

Carlo Iapige De G., & Andrea, M,. & P, P. (2020). "Joint Analysis of Cost and Energy Savings for Preliminary Design Alternative Assessment," Sustainability, MDPI, vol. 12(18), 1-18.

Caruso, G., Kämpf, J.H. (2015). Building shape optimisation to reduce air-conditioning needs using constrained evolutionary algorithms. Solar Energy 118, 186–196

Cho, S.-H.; Kang, J.-S.K.; Choi, G.-S. (2016). Energy Performance Evaluation of External Insulation System for Post Remodeling in Apartment Buildings. In Proceedings of the SAREK 2016 Summer Annual Conference, Seoul, Korea, 5–7, pp. 176–178.

Choi, I.Y.; Cho, S.H.; Kim, J.T. Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. Energy Build. 2012, 46, 123–131.

Das, M., Cheng, J. C., & Kumar, S. S. (2015). Social BIMCloud: a distributed cloud-based BIM platform for object-based lifecycle information exchange. Visualization in Engineering, 3(1), 1-20.

Deuble, M.P.; de Dear, R.J. (2012). Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations. Build. Environ. 2012, 54, 53–60.

Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. Automation in Construction, 46, 82-93.

Elnabawi MH. (2020). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. Front. Built Environ. 6:573971.

Ghormezi, M., & Nosratollahi, F. (2019). The effect of building typology on reducing energy consumption in schools of Isfahan city. *Iranian Journal of Energy, 22*(2), 5–21. [in Persian]

Hassani, H., Asadi Boroujeni, K., & Abdollah, A. (2016). Investigating safety aspects in constructability using building information modeling process. *Second Conference on New Materials and Structures in Civil Engineering Science*, Shiraz, Pendar Andish Rahpoo Co. [in Persian]

Hyun Hong, J.; Jun Yeom, D.; Ji Choi, S.; Suk Kim, Y. (2017). A Study of the Decision Support Model to Select an Appropriate Alternative Plan in Apartment Remodeling. J. Archit. Inst. Korea Struct. Constr, 33, 41–50

Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., and Ding, L. (2019). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. Autom. Constr. 106:102861.

Junpeng, Fu. & Jiuju, C. (2020). "Parametric Study on the Flow Profiles of Vertical Sinter Cooling Bed Using the DEM and Taguchi Method for Waste Heat Recovery," Energies, MDPI, vol. 13(19), 1-34.

Kherad Ranjbar, M. (2011). Energy management through optimization of the building exterior envelope. *Regional Conference on Civil Engineering and Architecture (with an Approach to Modifying Consumption Patterns)*, Amol, 56–77. [in Persian]

Kim, J., Ryu, J., & Choo, S. (2013). An Analysis on Effectiveness of BIM-based Area Calculation Method for Improving Quality of Korean Apartment Housing. J. Korean Hous. Assoc, 24, 45–52.

Kota, S., Haberl, J. S., Clayton, M. J., and Yan, W. (2014). Building Information Modelling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. Energy Build. 81, 391–403.

Osello, A., Cangialosi, G., Dalmasso, D., Di Paolo, A., Turco, M. L., and Piumatti, P. (2011). "Architecture data energy efficiency simulations: BIM interoperability

standards," in Proceedings of Building Simulation 2011: 12th conference of International Building Performance Simulation Association (Sydney, NSW), 2210–2217.

Rasouli, M., & Rahbar, N. (2019). Modeling the energy consumption of the amphitheater building of Islamic Azad University, Semnan, using DesignBuilder software. *Journal of Mechanics and Vibrations, 10*(1), 14–23. [in Persian]

Red,. M., & Nasrollahi, F. (1398). The effect of building typology in reducing energy consumption of schools in Isfahan. Iranian Journal of Energy. 22 (2): 21-5.

نشریه مطالعات هنر اسلامی
www.sysislamicartjournal.ir

الگوهای انرژی کارا جدارۀ خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

حسن جبر [1]، محمدرضا بمانیان [2*]، منصور یگانه [3]

[1] گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، hassan.alaameri@gmail.com
[2*] (نویسنده مسئول) گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، bemanian@modares.ac.ir
[3] گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، yaganeh@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
شماره ۵۳
دوره ۲۱
صفحه ۱۰۱ الی ۱۱۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱
تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷
تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلمات کلیدی
مدل‌سازی اطلاعات ساختمان،
ساختمان مسکونی،
انرژی کارا.

ارجاع به این مقاله
جبر, حسن, بمانیان, محمدرضا, & یگانه, منصور. (۱۴۰۳). الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره گیری از مدل سازی اطلاعات ساختمان. مطالعات هنر اسلامی, ۲۱(۵۳), ۱۰۱-۱۱۷

dorl.net/dor/20.1001.1.*******.****.**.**.*.*/

dx.doi.org/10.22034/IAS.۲۰۲۲.۳۳۱۴۱۲.۱۸۸۹

چکیده

هم‌زمان با افزایش سریع مصرف انرژی، نگرانی در مورد مشکلات تولید، تخریب منابع انرژی و اثرات شدید زیست‌محیطی (از بین رفتن لایه اوزون، گرم‌شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا و غیره) در جهان افزایش یافته است. امروزه بهره‌وری انرژی در ساختمان هدف اصلی سیاست انرژی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی است. طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد، مواد به‌کار رفته در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها مانند دیوارها، پنجره‌ها و سیستم عایق‌کاری از مهم‌ترین عوامل شدت بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. بهبودسازی اقدامات فوق موجب کاهش سهم تلفات انرژی داخلی از هر یک از اجزای پوسته ساختمان می‌شود. پیشرفت روزافزون فناوری و نیاز صنعت برای استفاده از آن باعث شده مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین در صنعت ساخت در حال رشد بوده و توجه محققین را برای استفاده و چگونگی توسعه آن جلب کرده است. هدف تحقیق حاضر بررسی الگوهای انرژی کارا جدارۀ خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بود. بدین‌منظور در این پژوهش استفاده از مصالح مختلف در ساخت دیوارهای خارجی ساختمان با تکیه بر یک مطالعه موردی و با استفاده از امکانات یک مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در اختیار می‌گذارد، از نظر مصرف انرژی بررسی شده است. مصالح مورد بررسی در این پژوهش بلوک سفالی، بلوک سیمانی با پوکه، بلوک سیمانی فوم‌دار، بلوک ایران‌وال، بلوک هوادار، و وال‌کریت می‌باشند. بلوک سیمانی با پوکه و بلوک سیمانی فوم‌دار با حدود ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی حاصل از سوخت و ۸/۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی، به‌عنوان بهترین دیوار انتخاب شد.

اهداف پژوهش:

۱. بررسی تأثیر مدل‌سازی اطاعات ساختمان بر خانه‌سازی شهری.
۲. بررسی الگوهای انرژی کارا جدارۀ خارجی ساختمان‌های مسکونی.

سؤالات پژوهش:

۱. تأثیر مدل‌سازی اطاعات ساختمان بر خانه‌سازی شهری چگونه است؟
۲. الگوهای انرژی کارا جدارۀ خارجی ساختمان‌های مسکونی چگونه است؟

2676-7759/ © 2020 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

مقدمه

هم‌زمان با افزایش سریع مصرف انرژی، نگرانی در مورد مشکلات تولید، تخریب منابع انرژی و اثرات شدید زیست‌محیطی (از بین رفتن لایه اوزون، گرم‌شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا و غیره) در جهان افزایش یافته است. امروزه بهره‌وری انرژی در ساختمان هدف اصلی سیاست انرژی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی است. دستیابی به توسعهٔ پایدار در سطح ملی مستلزم به حداقل رساندن تأثیر ساختمان بر محیط‌زیست با کاهش مصرف انرژی است. روش‌ها و تکنیک‌های فعلی برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها زمان بر و غیرکارا است. علاوه‌بر این، آن‌ها فقدان قابلیت تعامل بالا بین داده‌های انرژی نظری و واقعی از چالش‌های اصلی این روش‌ها است. مراحل طراحی جدارهٔ خارجی ساختمان نقش مهمی در عملکرد چرخهٔ عمر ساختمان از نظر منابع، مصرف انرژی و هزینه‌های چرخه عمر دارد. تجزیه‌وتحلیل عملکرد انرژی یک ساختمان در مراحل طراحی جدارهٔ خارجی مستلزم دسترسی به اطلاعات خاصی مانند ویژگی‌های مصالح و محیط است. چنین اطلاعاتی یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ عملکرد انرژی ساختمان است.

جاینگ و همکاران (۲۰۲۰) میزان دریافت انرژی خورشیدی در دیوارهای دارای نماهای آجری و چوبی را به‌صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان از تأثیر قابل‌توجه جنس نمای ساختمان بر میزان مصرف انرژی ساختمان حکایت داشت. اولوسو و همکاران (۲۰۱۱) اثرات ذخیره انرژی خورشیدی در جدارهٔ خارجی ساختمان را بر کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد مورد بررسی قرار دادند. هیون و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل تجربی میزان تأثیر ضریب انعکاس خورشیدی نماهای رنگ‌شده بر بار حرارتی ساختمان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که اگر نمای خارجی ساختمان با رنگ خاکستری پوشش داده شود، بار گرمایشی ساختمان نسبت به حالت نمای پوشش داده شده با رنگ سفید کاهش و بار سرمایشی آن افزایش می‌یابد. (مادالاناو و همکاران، ۲۰۱۵). با استفاده از شبیه‌سازی عددی به تحلیل میزان اثرات جنس نمای خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان در اقلیم میلان ایتالیا پرداختند و ایشان در بررسی‌های خود، نماهای بتنی، نماهای آلومینیمی، نماهای شیشه‌ای و نماهای دارای پوشش گیاهی را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین پاترینا بحار همکاران (۲۰۱۹) تأثیر استفاده از پوشش‌های گیاهی بر روی جدار خارجی ساختمان را به‌صورت عددی و تجربی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پوشش‌های گیاهی موجب کاهش جذب انرژی خورشیدی و کاهش بار تابستانه می‌شود، این درحالی است که این امر می‌تواند بار زمستانه ساختمان را افزایش دهد (اسوترنگ و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی نشان دادند که با انتخاب مصالح مناسب برای نمای ساختمان می‌توان از رخداد میعان در سیستم‌های سرمایش سقفی در اقلیم شهر جلوگیری کرد. طبق این تحقیقات می‌توان دریافت که طراحی جداره ساختمان می‌تواند نقش مهمی در میزان مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه داشته باشد.

محققان بر این باورند که انطباق ناکافی به دلیل پیچیدگی تبادل داده بین طراحی جدارهٔ خارجی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان، مانع از استفاده مؤثر از تحلیل‌های عملکرد انرژی در مرحله طراحی اولیه می‌شود. بهره‌وری از منابع انرژی

در ساختمان‌های جدید می‌تواند با اتخاذ رویکردی یکپارچه بر طراحی جداره ساختمان تأثیر بگذارد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان راه‌کار مناسبی برای استخراج داده‌هایی مانند نور روز یا انرژی در مناطق مختلف است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شامل نمایش دیجیتالی مشخصات فیزیکی و عملکردی یک ساختمان است. به‌عنوان یک منبع مشترک اطلاعات در مورد امکانات قابل‌اعتماد یک ساختمان برای تصمیم‌گیری در طول چرخهٔ عمر آن از ابتدا تا انتها استفاده می‌شود. براساس بررسی ادبیات تحقیق، پتانسیل‌های اصلی و ارزش افزوده پذیرش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بخش انرژی مورد پذیرش بوده است که می‌توان به تجزیه‌وتحلیل عملکرد ساختمان (پارک و همکاران، ۲۰۱۸)، طراحی یکپارچه و تجزیه‌وتحلیل عملکرد ساختمان (رمجای و همکاران، ۲۰۲۰)، کمک به انجام تجزیه‌وتحلیل عملکرد ساختمان در طراحی مراحل اولیه (ساواروس،۲۰۲۰)، بهبود کیفیت طراحی و کاهش مصرف منابع (شین و همکاران،۲۰۱۵)، بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (سالمون و همکاران، ۲۰۱۳)، کاهش مصرف انرژی و منابع (بوسینگ و همکاران،۲۰۱۵)، بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (ون و چنگ، ۲۰۱۷)، بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳) و بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (چوی و همکاران، ۲۰۱۲) اشاره نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی دارد و در کنار طراحی جدارهٔ خارجی ساختمان از این سیستم می‌توان به‌منظور افزایش کارایی انرژی بهره گرفت، موضوعی که در تحقیقات قبلی کم‌تر بدان توجه شده است و نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود الگوهای انرژی کارا جدارهٔ خارجی ساختمان مسکونی موردتوجه نبوده است که این شکاف تحقیقاتی در این پژوهش پوشش داده خواهد شد.

۱. ادبیات پژوهش

در راستای احداث ساختمان‌های سازگار با محیط‌زیست و جلوگیری از اتلاف انرژی در آن‌ها، مفهوم ساختمان سبز مطرح گردیده است. سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا مفهوم ساختمان سبز را بدین‌گونه تعریف کرده است: «ایجاد ساختارها و انجام فرآیندهایی از منابع کارآمد و مسئول در برابر محیط‌زیست در طول چرخهٔ عمر ساختمان از مرحله طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، بازسازی و تخریب (داس و همکاران، ۲۰۱۵). این فرآیند دغدغه‌های طراحی یک ساختمان سنتی را که شامل اقتصاد، کارآمدی و آسایش بودند را گسترش داده و کامل می‌کند (دینگ و همکاران، ۲۰۱۴). بر این اساس، ساختمان سبز در مقایسه با ساختمان سنتی، علاوه‌بر آسیب کم‌تری که به انسان و محیط‌زیست وارد می‌کند، از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز سودمندتر خواهند بود (دوبل و دیر ،۲۰۱۲). یکی از مهم‌ترین اهداف ساختمان سبز کاهش انرژی مصرفی توسط سیستم‌های گرمایش و سرمایش و در نتیجه افزایش بازدهٔ انرژی ساختمان می‌باشد (اناوایی، ۲۰۱۶). انرژی مصرفی یک ساختمان در چرخهٔ عمر خود به دو بخش انرژی مرحله ساخت و انرژی بهره‌برداری تقسیم می‌شود (کامل و ممری، ۲۰۱۹).

انرژی مرحلهٔ ساخت که از آن به «انرژی نهفته» یاد می‌شود، انرژی مصرف‌شده در مراحل استخراج مواد از معادن، ساخت در کارخانه، حمل مصالح به محل پروژه، ساخت و نصب قطعات، بازسازی و تخریب را شامل می‌شود. «انرژی بهره‌برداری» انرژی موردنیاز برای نگهداری و بهره‌برداری ساختمان در طول عمر آن است (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). به گزارش مؤسسه ملی علوم ساختمان در سال ۹۰،۲۰۰۳ تا ۹۵ درصد انرژی یک ساختمان در طول چرخهٔ عمر آن در مرحلهٔ بهره‌برداری مصرف می‌شود (کوتا و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین تلاش برای کاهش انرژی بهره‌برداری در همان مراحل اولیهٔ طراحی در نهایت به ساختمانی با عملکرد بالاتر منجر می‌شود (جین و همکاران، ۲۰۱۹). در چند سال اخیر سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، سازمان بهره‌وری انرژی، سازمان مسکن و شهرسازی و معاونت امور انرژی وزارت نیرو، با پشتوانهٔ مصوبات و قوانین لازم‌الاجرا و تأمین اعتباراتی در حد امکان، گام‌های بلندی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان‌های عمومی برداشته‌اند، اما به‌نظر می‌رسد که همچنان قوانین مصوب در زمینهٔ بهینه‌سازی مصرف انرژی ضمانت اجرایی لازم را ندارند.

در سال ۱۳۷۰ اولین ویرایش مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، تحت‌عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تدوین گردید و اجرای آن در ساختمان‌های کشور الزامی شد. ویرایش سوماین مبحث که آخرین ویرایش آن تاکنون می‌باشد، شامل روش‌های طرح، محاسبه و اصول کلی اجرای عایق‌کاری حرارتی پوستهٔ خارجی، سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع، تأمین آب گرم مصرفی، و الزامات طراحی سیستم روشنایی الکتریکی در ساختمان‌ها، برای بهینه‌سازی مصرف انرژی است. گفته می‌شود با اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان شامل عایق‌کاری سیستم تأسیسات و لوله‌ها، عایق‌کاری جدارهٔ خارجی ساختمان و نصب پنجره‌های دوجداره استاندارد در ساختمان کم‌تر از ۵ درصد سبب افزایش هزینه‌های ساختمان در این قسمت می‌شود ولی از طرف دیگر، ظرفیت سیستم گرمایش و سرمایش موردنیاز ساختمان را می‌توان تا ۴۰ درصد نسبت به حالتی که این مبحث اجرا نمی‌شود، کوچک‌تر انتخاب کرد، که به‌نوبهٔ خود کاهش چشم‌گیر هزینه‌ها را در این قسمت شامل می‌شود (خردزنجیر، ۱۳۹۰).

خصوصیات پوشش ساختمان تأثیر قابل‌توجهی بر بازدهی انرژی ساختمان‌ها، کیفیت هوای داخل و دمای آسایش انسان

دارد. بنابراین ارزیابی کارآمد عملکرد حرارتی پوشش ساختمان در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویهٔ مطبوع نقش حیاتی ایفا می‌کند. به‌طور مشخص طراحی دقیق پوشش ساختمان می‌تواند بهره‌وری انرژی ساختمان را بهبود بخشد. دیوارهای خارجی، بازشوها، سقف، پی، عایق‌های حرارتی، جرم حرارتی، سایه‌بان‌ها و ... همگی جزو مؤلفه‌های کلیدی در پوشش ساختمان‌ها هستند. طبق تحقیقی توسط حسینی در سال ۹۰ در یک ساختمان معمولی عرف در تهران مجموع اتلاف حرارتی از دیوارها و سقف حدود ۷۵ درصد از کل حرارت اتلافی را تشکیل می‌دهد (رسئولی و رهبر، ۱۳۹۸). برای درک نحوهٔ اثرگذاری این عوامل بر طراحی ساختمان، نیاز به دانستن چگونگی بهینه‌سازی پوشش براساس پارامترهای آب‌وهوا، مکان و مشخصات پوشش ساختمان است. در سال ۲۰۰۹ عملکرد حرارتی دیوار سنگین حرارتی جهت نیل به هدف ساختمان با مصرف انرژی صفر مورد بررسی قرار داده شد. در سال

۲۰۱۰ افزایش بازدهی انرژی را در طراحی پوشش ساختمان‌ها بررسی شد (قرمزی و نصرالهی، ۱۳۹۸). در تحقیقی در سال ۲۰۱۹ استراتژی‌هایی جهت بهینه‌سازی سیستم‌های پوشش ساختمان در آپارتمان‌ها پیشنهاد داده شد. در سال ۲۰۲۰ مدلی برای تعیین معماری و پوشش ساختمان در مراحل اولیهٔ طراحی باتوجه‌به ملاحظات انرژی راه‌کارهایی ارائه شد (هومن و همکاران، ۱۳۹۵). برای تسهیل فرآیند تخمین عملکرد انرژی ساختمان مدل‌های شبیه‌سازی جامع عملکرد حرارتی ساختمان ایجاد شدند. در حال حاضر، صدها نرم‌افزار برای شبیه‌سازی عملکرد انرژی یک ساختمان و زیرمجموعه‌های آن وجود دارد که برخی از آن‌ها قابلیت واردکردن مدل سه‌بُعدی ازCAD و یا مدل چندبُعدی از ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را دارند. از این‌رو، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند فرصتی جهت بهترین استفاده از اطلاعات طراحی در دسترس برای طراحی پایدار و تحلیل عملکرد ساختمان فراهم کند.

مدل اطلاعات ساختمان که به‌عنوان یک تکنولوژی و فرآیند انقلابی توسط بسیاری از افراد به‌عنوان یک فرصت استثنائی در صنعت معماری، معندسی و ساخت معرفی می‌شود، به‌عنوان راهکاری جهت تسهیل یکپارچه‌سازی و مدیریت اطلاعات در طول چرخهٔ عمر یک ساختمان پدیدار شده است. مشخصه‌های حیاتی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را در چهار حوزه شناسایی شده است: یکپارچه‌سازی پایگاه‌های مختلف داده، تسهیل مدیریت اسناد و داده‌ها، به تصویر کشیدن فرآیندهای تحلیل و خروجی‌ها و فراهم‌کردن تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های پایداری باتوجه‌به توانایی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد و سودآوری پروژه‌ها باعث افزایش علاقه به پذیرش و به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در سراسر جهان شده است. در این میان، کشورهای بسیاری از منطقهٔ خاورمیانه برای به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود تلاش کرده‌اند.

بر طبق پژوهش خردزنجیر (۱۳۹۰)، ۵/۲۲ درصد از شرکت‌های داخل کشور از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود استفاده می‌کنند و ۸/۵۶ درصد از این شرکت‌ها برای به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود تا ۵ سال آینده هدف‌گذاری کرده‌اند. نتایج این آمارگیری حاکی از رشد روزافزون استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ساختمان‌های کشور در سال‌های پیش رو می‌باشد. ابزارهای مدل اطلاعات ساختمان به کاربران کمک می‌کند تا تحلیل کاملی از مصرف انرژی در پروژه داشته باشند و همچنین بتوانند سناریوهای جایگزین را برای کاهش مصرف انرژی در طول مرحله طراحی بررسی کنند. بدین‌وسیله طراحان و کارفرمایان می‌توانند تصمیمات مربوط به انرژی که بیشترین اثر را بر روی هزینهٔ چرخهٔ عمر پروژه می‌گذارد، اتخاذ نمایند. در سال ۲۰۱۲ با استفاده از ابزارهای مدلسازی سه بُعدی و چهار بُعدی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای رسیدن به هدف ۲۰۲۰تا۲۰۳۰ساختمان با مصرف انرژی صفر اروپایی و آمریکای شمالی راهکارهایی ارائه شد (کارلو و همکاران،۲۰۲۰). جلائی در سال۲۰۱۴ در دانشگاه اوتاوا سیستمی یکپارچه از گواهی ساختمان سبز، تحلیل انرژی و ابزار تخمین هزینه برای طراحی ساختمان‌های پایدار ارائه داد. در سال ۲۰۱۳ استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را در بازدهی انرژی مورد بررسی قرار داده شد (هیون و همکاران، ۲۰۱۷).

نرم‌افزار Green Building Studio یکی از نرم‌افزارهای تحلیل انرژی است که از موتور شبیه‌سازی DOE-۲ استفاده می‌کند و قابلیت تحلیل انرژی مدل موجود در نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان مانند Revit را از طریق پلاگین قابل‌نصب در نرم‌افزار دارد. برتری این نرم‌افزار نسبت به نرم‌افزارهای مشابه در کیفیت گرافیکی بالا و سریع از رفتار انرژی در ساختمان براساس منابع ساختمان و منابع بارگذاری شده در آن می‌باشد. همچنین این نرم‌افزار به‌طور اتوماتیک مصرف انرژی را با استفاده از نرخ سودآوری به‌صورت گزارش هزینه انرژی ارائه می‌دهد که می‌تواند نگاهی کلی از تحلیل اقتصادی پروژه به‌دست دهد. باتوجه‌به گسترش استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در طراحی ساختمان‌ها در کشور، استفاده از نرم‌افزارهایی همچون Green Building Studio که قابلیت تحلیل انرژی مدل‌های موجود را در خود نرم‌افزار دارد، باعث افزایش سرعت کار و یکپارچه‌سازی اطلاعات تحلیل انرژی با دیگر اطلاعات پروژه می‌شود.

۲. مدل‌سازی و تحلیل انرژی

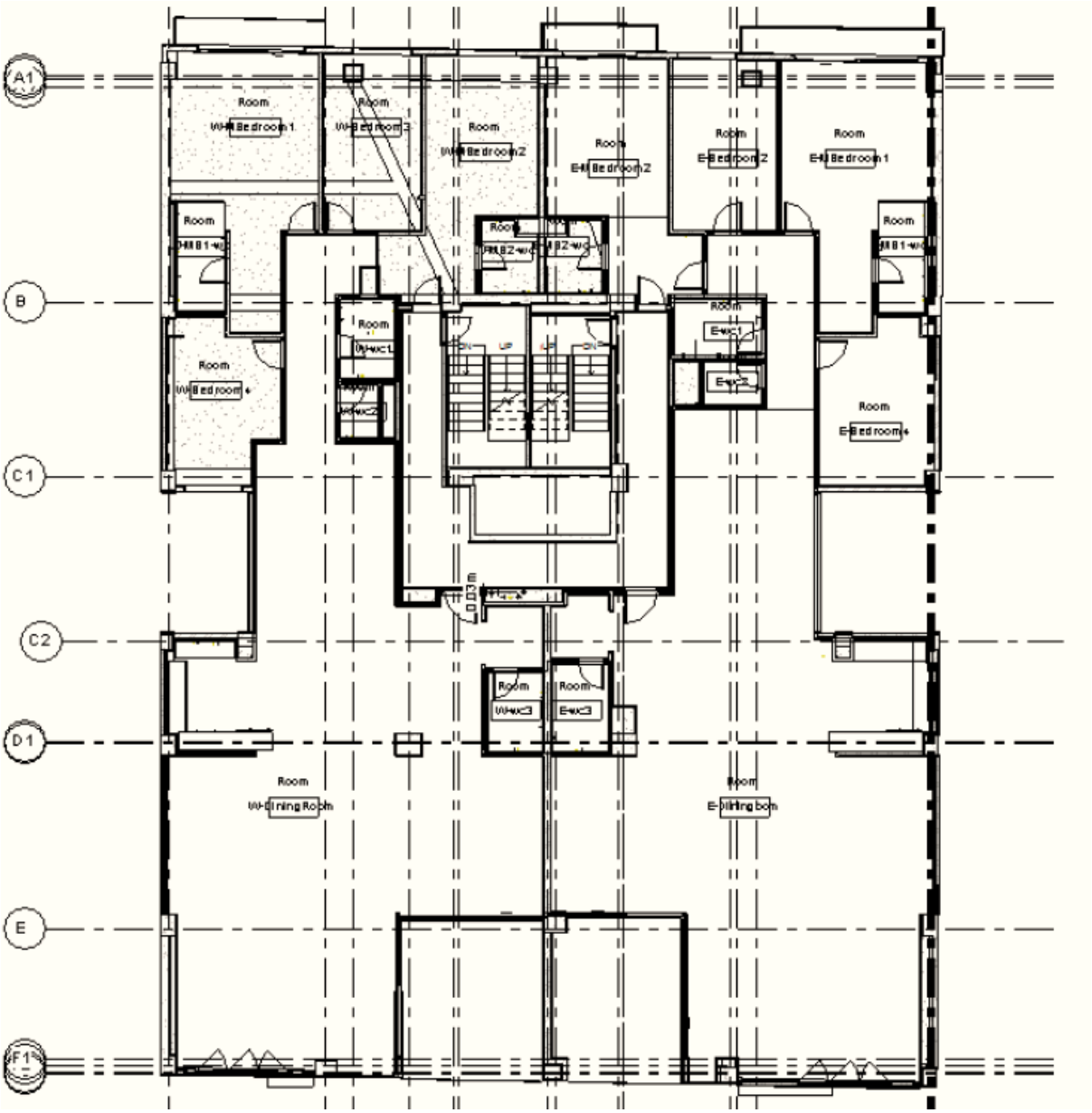
در پژوهش پیش روبلوک سفالی، بلوک سیمانی با پوکه، بلوک سیمانی فوم دار، وال کریت و بلوک بتن هوادار به‌عنوان مصالح رایج ساخت دیوارهای خارجی ساختمان‌های کشور برای مقایسه از نظر میزان تأثیر در اتلاف انرژی انتخاب شده‌اند. مشخصات حرارتی مصالح انتخاب شده از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و کاتالوگ‌های شرکت‌های معتبر استخراج شده و به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات حرارتی مصالح ساخت دیوارهای خارجی رایج در کشور

مصالح	چگالی	ضریب انتقال حرارت
بلوک سفالی	۱۹۸۰	۱.۲۹۷
بلوک سیمانی با پوکه	۷۷۵	۰.۱۱۳
بلوک سیمانی فوم‌دار	۸۰۰	۰.۱۴۰
وال کریت	۶۰۰	۰.۱۳
بلوک بتن هوادار	۶۷۰	۰.۱۳۰

مطالعه موردی ساختمان مسکونی ۱۲ طبقه به مساحت کل ۷۱۰۲ متر مربع واقع در شهر تهران می‌باشد. هر طبقه متشکل از ۲ واحد و هر واحد به مساحت ۳۵۰ متر مربع می‌باشد. دیوارهای خارجی این ساختمان بلوک سفالی و پنجره‌های به‌کار رفته در هر طبقه شیشه دوجداره با جداره UPVC می‌باشند. در چهار دهنه از ساختمان دیوار برشی بتن مسلح تعبیه شده است. نماهای کناری ساختمان سیمانی و نمای رو به خیابان سنگ گرانیت و در بخش‌هایی

ترموود می‌باشد. سیستم گرمایش، سرمایش و تهویه در این ساختمان شامل دیگ بخار برای گرمایش، چیلر برای سرمایش و فن‌کویل برای تهویه می‌باشد. ساعات بهره‌برداری از ساختمان به‌صورت ۲۴ساعته و ۷روز هفته تنظیم شده و مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دمای هوای داخل فضاها، در محل حضور افراد، در اوقات سرد سال حداکثر ۲۰ درجهٔ سلسیوس و در اوقات گرم سال حداقل ۲۸ درجهٔ سلسیوس تنظیم شده است. پلان طبقات ساختمان مذکور در شکل زیر در محیط نرم‌افزار Revit نمایش داده شده است.



شکل ۱. پلان طبقات

باتوجه‌به اینکه در این ساختمان کاربری تمام واحدها مسکونی است و نوع سیستم گرمایش، سرمایش و آب گرم مصرفی

یکسان است. همچنین پوسته خارجی ساختمان به‌صورت سرتاسری بوده و برای تمامی واحدها مشابه است. بنابراین می‌توان تحلیل انرژی را برای بخشی از مدل انجام داده و در نهایت به کل ساختمان تعمیم داد. در این تحقیق ابتدا سه

طبقه (طبقات دهم، یازدهم و دوازدهم) از ساختمان جدا شده و به‌صورت مستقل از نظر مصرف انرژی تحلیل می‌شود. در انتها، نتایج تحلیل انرژی به کل طبقات تعمیم داده می‌شود.

از نرم‌افزار Revit برای مدل‌سازی ساختمان و نرم‌افزار Green Building Studio برای تحلیل انرژی مدل استفاده شده است. شکل زیر نمای سه بُعدی از سه طبقه نهایی ساختمان را نشان می‌دهد.

شکل ۲. مدل سه‌بُعدی از طبقات دهم، یازدهم و دوازدهم (نمای جنوب غربی)

برای محاسبه مقاومت حرارتی یک دیوار متشکل از لایه‌های مصالح متفاوت مقاومت حرارتی هر لایه جداگانه باید محاسبه گردد. برای محاسبه دستی با تقسیم ضخامت هر لایه بر ضریب انتقال حرارت آن، مقاومت حرارتی هر لایه به‌دست آمده و با فرض خطی‌بودن هدایت حرارتی مقاومت کل محاسبه گردد. در نرم‌افزار Revit که قابلیت تعریف هر بخش از ساختمان را به‌صورت لایه‌لایه دارد، می‌توان ضرایب هرکدام از لایه‌ها را در نرم‌افزار تعیین کرد تا خود نرم‌افزار مقاومت حرارتی لایه مجموع را محاسبه کند. چگالی کل، مقاومت حرارتی کل، ضخامت کل و اینرسی حرارتی کل هر دیوار نیز توسط نرم‌افزار محاسبه می‌گردد.

جدول ۱. سناریو اول (دیوار با بلوک سفالی)

سناریوی اول	پوشش داخلی		دیوار	پوشش خارجی		مجموع
مصالح	گچ	گچ و خاک	بلوک سفالی	سیمان	گرایت	
ضخامت	۰.۰۱۰	۰.۰۲۰	۰.۱۵۰	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۰.۲۲۵
چگالی	۱۰۰۰	۱۸۵۶	۱۹۸۰	۱۸۶۰	۲۸۸۰	....
ضریب انتقال حرارت	۰.۵۷۰	۱.۱۰۰	۱.۲۹۷	۱.۳۰۰	۲.۸۰۰	....
مقاومت حرارتی	۰.۰۱۸	۰.۰۱۸	۰.۱۱۶	۰.۰۱۹	۰.۰۰۷	۰.۱۷۸

جدول ۲. سناریو دوم (دیوار با بلوک سیمانی با پوکه)

سناریوی اول	پوشش داخلی		دیوار	پوشش خارجی		مجموع
مصالح	گچ	گچ و خاک	بلوک سیمانی با پوکه	سیمان	گرایت	
ضخامت	۰.۲۲۰	۰.۰۲۰	۰.۱۴۵	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۰.۲۲۰
چگالی	.....	۱۸۵۶	۷۵۵	۱۸۶۰	۲۸۸۰	....
ضریب انتقال حرارت	.....	۱.۱۰۰	۰.۱۱۳	۱.۳۰۰	۲.۸۰۰	....
مقاومت حرارتی	۱.۳۴۳	۰.۰۱۸	۱.۲۸۱	۰.۰۱۹	۰.۰۰۷	۱.۳۴۳

جدول ۳. سناریو سوم (دیوار با بلوک سیمانی فوم‌دار)

سناریوی اول	پوشش داخلی		دیوار	پوشش خارجی		مجموع
مصالح	گچ	گچ و خاک	بلوک سیمانی فوم دار	سیمان	گرایت	
ضخامت	۰.۰۱۰	۰.۰۰۰	۰.۱۵۰	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۰.۲۰۵
چگالی	۱۰۰۰	۱۸۵۶	۸۰۰	۱۸۶۰	۲۸۸۰	....
ضریب انتقال حرارت	۰.۵۷۰	۱.۱۰۰	۰.۱۴۰	۱.۳۰۰	۲.۸۰۰	....
مقاومت حرارتی	۰.۰۱۸	۰.۰۰۰	۱.۰۷۱	۰.۰۱۹	۰.۰۰۷	۱.۱۱۵

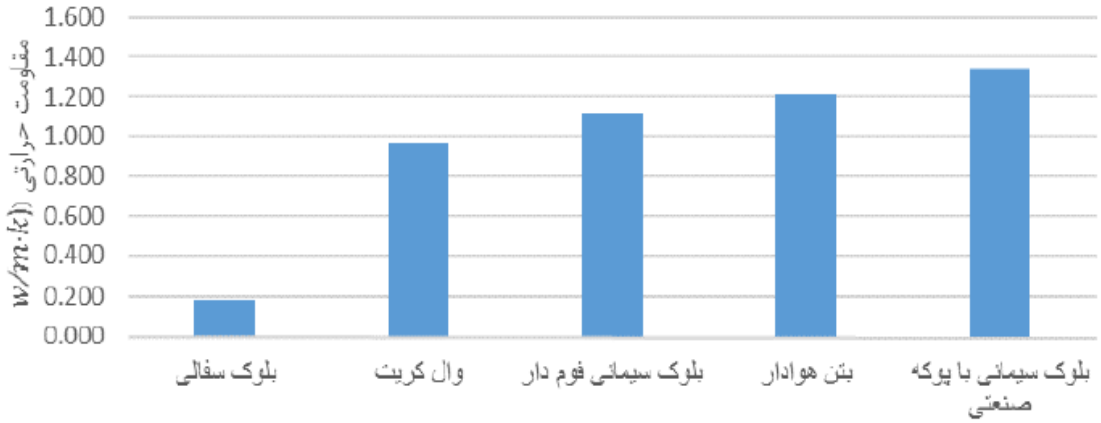
جدول ۴. سناریو چهارم (دیوار با بلوک وال کریت)

سناریوی اول	پوشش داخلی		دیوار	پوشش خارجی		مجموع
مصالح	گچ	گچ و خاک	بلوک وال کریت	سیمان	گرایت	
ضخامت	۰.۰۱۰	۰.۰۰۰	۰.۱۲۰	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۰.۱۷۵
چگالی	۱۰۰۰	۱۸۵۶	۶۰۰	۱۸۶۰	۲۸۸۰	....
ضریب انتقال حرارت	۰.۵۷۰	۱.۱۰۰	۰.۱۳۰	۱.۳۰۰	۲.۸۰۰	....
مقاومت حرارتی	۰.۰۱۸	۰.۰۰۰	۰.۹۲۳	۰.۰۱۹	۰.۰۰۷	۰.۹۶۷

جدول ۵. سناریو پنجم (دیوار با بلوک بتن هوادار)

سناریوی اول	پوشش داخلی		دیوار	پوشش خارجی		مجموع
مصالح	گچ	گچ و خاک	بتن هوادار	سیمان	گرایت	
ضخامت	۰.۰۱۰	۰.۰۰۰	۰.۱۵۰	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰	۰.۱۷۵
چگالی	۱۰۰۰	۱۸۵۶	۶۷۰	۱۸۶۰	۲۸۸۰	....
ضریب انتقال حرارت	۰.۵۷۰	۱.۱۰۰	۰.۱۳۰	۱.۳۰۰	۲.۸۰۰	....
مقاومت حرارتی	۰.۰۱۸	۰.۰۰۰	۱.۱۵۴	۰.۰۱۹	۰.۰۰۷	۰.۹۶۷

مقایسه‌ای از مقاومت حرارتی کل برای انواع دیوارهای مختلف باتوجه‌به سناریوهای بالادر نمودار زیر ارائه شده است، شکل شماره ۴. در این نمودار، برای درک بهتر مقاومت حرارتی مصالح به‌ترتیب از چپ (کم‌ترین) به راست (بیشترین) مرتب شده‌اند. ممکن است در نگاه اول انتظار رود هرچه مقاومت حرارتی دیوار بالاتر باشد مصرف انرژی آن کم‌تر خواهد بود. ولیکن اثر ضخامت و چگالی علاوه‌بر اینکه در مقاومت حرارتی در نظر گرفته می‌شود، در اینرسی حرارتی مصالح نیز ایفای نقش می‌کند.



شکل ۳. مقاومت حرارتی انواع مصالح دیوار

۳. یافته‌ها

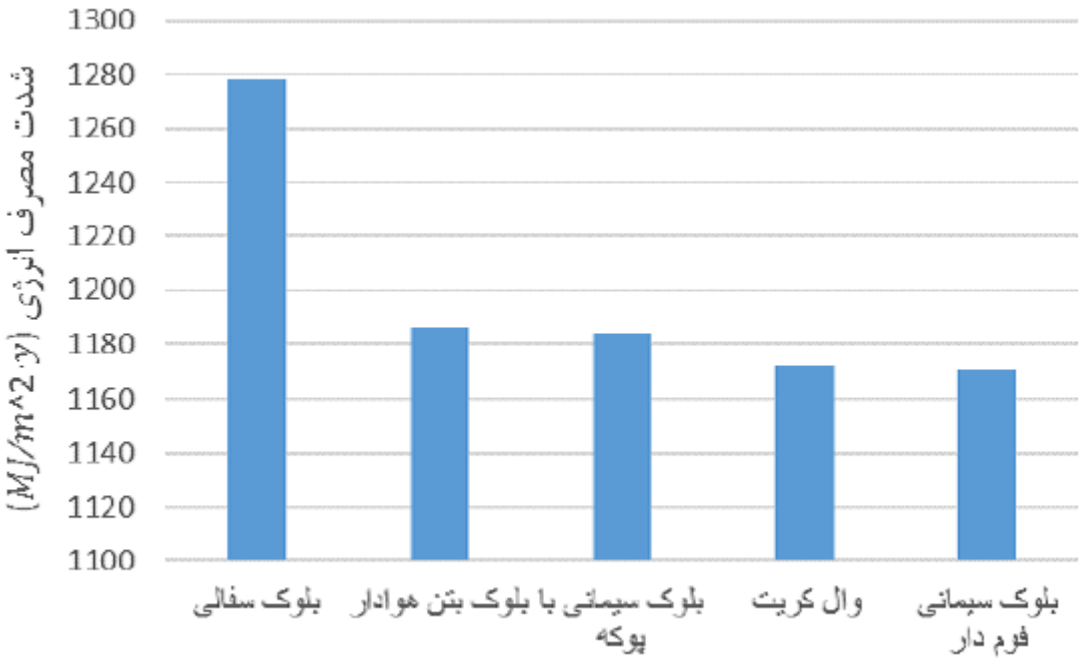
برای مقایسه کارایی انرژی سناریوهای اول تا هفتم ابتدا به مقایسه شاخص مصرف انرژی پرداخته می‌شود. سناریو با بیشترین شدت مصرف انرژی به‌عنوان سناریو مبنا انتخاب می‌شود و در ادامه جهت بررسی میزان صرفه‌جویی انرژی در هر سناریو نسبت به سناریو مبنا، مصرف انرژی الکتریکی و مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی برای هر سناریو و تفاوت آن با سناریو مبنا محاسبه می‌شود. شدت مصرف انرژی یکی از شاخص‌های بررسی مصرف انرژی است که که نمایانگر مقدار مصرف انرژی در واحد سطح می‌باشد. شدت مصرف انرژی سالانه مصالح مختلف در سناریوهای اول تا هفتم مطابق جدول ۷ به‌دست آمده است.

بر طبق این جدول، دیوار با بلوک سفالی با ۱/۱۲۷۸ مگاژول در مترمربع در سال و دیوار با بلوک سیمانی فوم‌دار با ۱/۱۱۷۰ مگاژول بر متر مربع در سال به‌ترتیب بیشترین و کم‌ترین شدت مصرف انرژی را در میان سناریوهای موجود به خود اختصاص داده‌اند. نتایج این جدول پس از مرتب‌سازی از بیشترین مقدار شدت مصرف انرژی به کم‌ترین مقدار در قالب نمودار نمایش داده شده است. (شکل ۴)

همان‌طورکه مشاهده می‌شود دیوار با بلوک سفالی با اختلاف زیادی از سایر مصالح بالاترین شدت مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. بنابراین دیوار با بلوک سفالی به‌عنوان سناریو مبنا انتخاب می‌شود تا در ادامه میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی در صورت به‌کارگیری مصالح جایگزین بررسی شود.

جدول ۷. مقایسه مصرف انرژی سالانه انواع دیوار

سناریو	انواع دیوار	شدت مصرف انرژی	کاهش مصرف نسبت به بلوک سفالی
اول	بلوک سفالی	۱۲۷۸.۱	.....
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۱۸۵.۶	۷.۲۴٪
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۱۱۸۴	۷.۳۶٪
چهارم	وال کریت	۱۱۷۱.۹	۸.۳۱٪
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۱۱۷۰.۱	۸.۴۵٪



شکل ۴. نمودار مقایسه شدت مصرف انرژی انواع دیوار

در تحلیل‌های انرژی توسط نرم‌افزار مصرف انرژی به تفکیک انرژی الکتریکی و انرژی سوخت‌های فسیلی محاسبه می‌شود. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی سوخت‌های فسیلی برای سناریوهای اول تا هفتم مطابق جدول شماره ۸ می‌باشد. مطابق مطابق این جدول بلوک سفالی بیشترین میزان مصرف انرژی و بلوک سیمانیفوم‌دار کم‌ترین میزان مصرف انرژی را در هر دو بخش دارد.

جدول ۸. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی حاصل از سوخت برای انواع دیوار در سه طبقه

سناریو	انواع دیوار	مصرف سالانه انرژی الکتریکی	مصرف سالانه انرژی حاصل از سوخت
اول	بلوک سفالی	۱۴۳۰۵۱	۸۶۳۳۰۴
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۳۹۰۵۹	۷۸۳۰۷۷
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۱۳۷۷۰۸	۷۷۷۶۳۳
چهارم	وال کریت	۱۳۸۰۷۱	۷۸۱۵۸۴
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۱۳۹۱۱۲	۷۸۶۲۱۹

در ادامه برای مقایسه میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی انواع مصالح، اختلاف مصرف انرژی هرکدام از مصالح نسبت به مصرف انرژی بلوک سفالی محاسبه می‌شود، (جدول۹) باتوجه‌به جدول زیر در بهترین حالت، یعنی استفاده از بلوک سیمانی فوم‌دار به‌جای بلوک سفالی در این ساختمان، مصرف انرژی حاصل از سوخت نزدیک به ۱۰ درصد کاهش در مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی در حدود ۳ درصد کاهش در مصرف انرژی الکتریکی گذاشته است. باتوجه‌به اینکه در ساختمان‌ها مصرف انرژی الکتریکی از میزان مصرف انرژی حاصل از سوخت به مراتب کم‌تر می‌باشد، بنابراین به‌کارگیری مصالح با کارایی انرژی بهتر در کاهش مصرف سوخت تأثیر چشم‌گیرتری می‌گذارد. از این‌رو استفاده از بلوک سیمانی فوم‌دار بهترین گزینه در میان مصالح موجود می‌باشد.

جدول ۹. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی حاصل از سوخت برای انواع دیواردر سه طبقه

سناریو	انواع دیوار	کاهش مصرف سالانه انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی	درصد کاهش انرژی الکتریکی	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی	درصد کاهش انرژی حاصل از سوخت
اول	بلوک سفالی	....	.....	....	....
دوم	بلوک بتن هوادار	۳۹۹۲	۲.۷۹٪	۸۰۲۲۷	۹.۲۹٪
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۵۳۴۳	۳.۷۴٪	۸۵۶۷۱	۹.۹۲٪
چهارم	وال کریت	۴۹۸۰	۳.۴۸٪	۸۱۷۲۰	۹.۴۷٪
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۳۹۳۹	۲.۷۵٪	۷۷۰۸۵	۸.۹۳٪

جهت درک میزان واقعی صرفه‌جویی مصرف انرژی با جایگزینی مصالح با کارایی بهتر، تعیین کل میزان کاهش مصرف انرژی در یک ساختمان در طول چرخهٔ عمر آن لازم است. در این مطالعه موردی، ۱۲ طبقه، ابتدا نتایج حاصل از جدول شماره ۹ به کل ساختمان تعمیم داده می‌شود. سپس با فرض ۲۰ سال عمر مفید برای ساختمان‌های شهر تهران، نتایج مربوط به مصرف سالانه انرژی به مصرف انرژی کل چرخهٔ عمر تبدیل می‌گردد.

جدول ۱۰. کاهش مصرف انرژی انواع دیوار نسبت به دیوار بلوک سفالی در کل ساختمان

سناریو	انواع دیوار	کاهش مصرف انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر
اول	بلوک سفالی	....	.....	....	....
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۵۹۶۸	۳۲۰۹۰۸	۳۱۹۳۶۰	۶۴۱۸۱۶۰
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۲۱۳۷۲	۳۴۲۶۸۴	۴۲۷۴۴۰	۶۸۵۳۶۸۰
چهارم	وال کریت	۱۹۹۲۰	۳۲۶۸۸۰	۳۹۸۴۰۰	۶۵۳۷۶۰۰
پنجم	بلوک سیمانی فوم‌دار	۱۵۷۵۶	۳۰۸۳۴۰	۳۱۵۱۲۰	۶۱۶۶۸۰۰

طبق جدول شماره ۱۰ ، بلوک سیمانی فوم‌دار حدود ۲۱۰۰۰کیلووات کاهش مصرف انرژی الکتریکی و ۳۴۰۰۰ مگاژول کاهش مصرف انرژی سوخت داشته است. از طرفی با وجود اینکه در مدل سه طبقه میزان صرفه‌جویی انرژی حاصل از سوخت بلوک وال‌کریت نسبت به بلوک سیمانی فوم‌دار حدود ۷۷۰۰۰ کیلووات بود اما در چرخهٔ عمر کل ساختمان این اختلاف به حدود ۳۱۶۰۰۰ کیلووات خواهد رسید. بنابر نتایج به‌دست آمده بلوک سیمانی فوم‌دار کم‌ترین میزان مصرف انرژی و بلوک سفالی بیشترین میزان مصرف انرژی را در میان مصالح مورد بررسی را به خود اختصاص داده است. باید توجه شود برای درنظر گرفتن میزان صرفه‌جویی در حالت‌های مختلف، نتایج مصرف سالانه انرژی به میزان عمر مفید یک ساختمان تعمیم داده شود تا علاوه‌بر کاهش اتلاف انرژی الکتریکی و سوخت‌های فسیلی، اختلاف هزینه در به‌کارگیری مصالح جایگزین از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد.

نتیجه‌گیری

صنعت ساختمان‌سازی یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در بین بخش‌های اقتصادی در کشور محسوب می‌گردد و مدیریت و کاهش مصرف انرژی یکی از ضرورت‌های اصلی بخش انرژی به‌شمار می‌رود. طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد، مواد به‌کار رفته در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها مانند پنجره‌ها و سیستم عایق‌کاری از مهم‌ترین عوامل شدت بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. انجام اقدامات فوق موجب کاهش سهم تلفات انرژی داخلی از هر یک از اجزای پوسته ساختمان می‌شود. کارایی مصالح با پارامترهای مقاومت حرارتی، ضخامت و چگالی تعیین می‌گردد. ممکن است در نگاه اول انتظار برود هرچه مقاومت حرارتی دیوار بالاتر باشد مصرف انرژی آن کم‌تر خواهد بود. ولیکن با تغییر ضخامت لایه‌ها و تغییر چگالی مواد اینرسی حرارتی آن تغییر کرده و در انتقال حرارت مصالح نیز تأثیر خواهد گذاشت. از این‌رو، برای درنظر گرفتن تمام پارامترهای مؤثر در تبادل حرارت، استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان که قابلیت مدل‌سازی لایه‌های ساختمانی به تفکیک را نیز دارد، کمک شایانی به برآورد دقیق‌تر و جامع‌تر انرژی خواهد کرد. تأثیر کاهش مصرف انرژی به ازای استفاده از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های چند طبقه و در طول عمر آن‌ها رقم بالایی را منجر می‌شود. به همین دلیل در صورت درنظر گرفتن صرفه‌جویی هزینه‌های اضافی ناشی از مصرف انرژی بیشتر، هزینه بالاتر اولیه برای خرید و اجرای مصالح با عملکرد انرژی را توجیه می‌نماید.

منابع و مآخذ:

مقالات

بردباری، محمدجواد؛ رستگار، محمد و سیفی، علیرضا. (۱۳۹۹). «بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان با درنظرگرفتن عدم قطعیت‌ها». مهندسی و مدیریت انرژی، ۱۰ (۲)، ۲۶-۳۹.

خرد رنجبر، محمد، (۱۳۹۰). «مدیریت انرژی با بهینه‌سازی پوسته خارجی ساختمان». همایش منطقه‌ای عمران و معماری (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، آمل، ۷۷-۵۶.

رسئولی، محسن؛ رهبر، نادر. (۱۳۹۸). «مدل‌سازی مصرف انرژی ساختمان آمفی‌تئاتر دانشگاه آزاد سمنان، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر». مهندسی مکانیک و ارتعاشات،۱۰(۱)، ۱۴-۲۳.

قرمزی، میترا؛ نصراللهی، فرشاد. (۱۳۹۸). «اثر تیپولوژی ساختمان در کاهش مصرف انرژی مدارس شهر اصفهان». نشریه انرژی ایران، ۲۲ (۲)، ۵-۲۱.

حسنی، هومن؛ اسدی بروجنی، خشایار و عبدالله، اردشیر. (۱۳۹۵). «بررسی جنبه‌های ایمنی در ساخت‌پذیری با استفاده از فرایند مدلسازی اطلاعات ساختمان». دومین کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.

منابع لاتین

Bucoń, R.; Tomczak, M. (۲۰۱۸). Decision-making model supporting the process of planning expenditures for residential building renovation. Technol. Econ. Dev. Econ. ۲٤, ۱۲۰۰–۱۲۱٤.

Carlo Iapige De G., & Andrea, M,. & P, P. (۲۰۲۰). "Joint Analysis of Cost and Energy Savings for Preliminary Design Alternative Assessment," Sustainability, MDPI, vol. ۱۲(۱۸), ۱-۱۸.

Caruso, G., Kämpf, J.H. (۲۰۱٥). Building shape optimisation to reduce air-conditioning needs using constrained evolutionary algorithms. Solar Energy ۱۱۸, ۱۸٦–۱۹٦

Cho, S.-H.; Kang, J.-S.K.; Choi, G.-S. (۲۰۱٦). Energy Performance Evaluation of External Insulation System for Post Remodeling in Apartment Buildings. In Proceedings of the SAREK ۲۰۱٦ Summer Annual Conference, Seoul, Korea, ٥–۷, pp. ۱۷٦–۱۷۸.

Choi, I.Y.; Cho, S.H.; Kim, J.T. Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. Energy Build. ۲۰۱۲, ٤٦, ۱۲۳–۱۳۱.

Das, M., Cheng, J. C., & Kumar, S. S. (۲۰۱۵). Social BIMCloud: a distributed cloud-based BIM platform for object-based lifecycle information exchange. Visualization in Engineering, ۳(۱), ۱-۲۰.

Deuble, M.P.; de Dear, R.J. (۲۰۱۲). Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations. Build. Environ. ۲۰۱۲, ٥٤, ٥٣–٦٠.

Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (۲۰۱٤). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from ۳D to computable nD. Automation in Construction, ٤٦, ۸۲-۹۳.

Elnabawi MH. (۲۰۲۰). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. Front. Built Environ. ٦:٥٧٣٩٧١.

Hyun Hong, J.; Jun Yeom, D.; Ji Choi, S.; Suk Kim, Y. (۲۰۱۷). A Study of the Decision Support Model to Select an Appropriate Alternative Plan in Apartment Remodeling. J. Archit. Inst. Korea Struct. Constr, ۳۳, ٤١–٥٠

Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., and Ding, L. (۲۰۱۹). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. Autom. Constr. ١٠٦:١٠٢٨٦١.

Junpeng, Fu. & Jiuju, C. (۲۰۲۰). "Parametric Study on the Flow Profiles of Vertical Sinter Cooling Bed Using the DEM and Taguchi Method for Waste Heat Recovery," Energies, MDPI, vol. ۱۳(۱۹), ۱-۳٤.

Kim, J., Ryu, J., & Choo, S. (۲۰۱۳). An Analysis on Effectiveness of BIM-based Area Calculation Method for Improving Quality of Korean Apartment Housing. J. Korean Hous. Assoc, ۲٤, ٤٥–٥۲.

Kota, S., Haberl, J. S., Clayton, M. J., and Yan, W. (۲۰۱٤). Building Information Modelling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. Energy Build. ۸۱, ۳۹۱–٤۰۳.

Osello, A., Cangialosi, G., Dalmasso, D., Di Paolo, A., Turco, M. L., and Piumatti, P. (۲۰۱۱). "Architecture data energy efficiency simulations: BIM interoperability standards," in Proceedings of Building Simulation ۲۰۱۱: ۱۲th conference of International Building Performance Simulation Association (Sydney, NSW), ۲۲۱۰–۲۲۱۷.

Red,. M., & Nasrollahi, F. (۱۳۹۸). The effect of building typology in reducing energy consumption of schools in Isfahan. Iranian Journal of Energy. ۲۲ (۲): ۲۱-٥.