Journal of Sustainable Architecture and Environment
Vol 2, No 5, Spring 2024
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
ISSN (Online): 2981-0892

Research Paper

Optimizing Energy in Cold and Hot Seasons by Using Trombe Wall in Office Buildings

Sina Malekahmadi: Phd student in Architecture, Islamic Azad University Science and research Branch, Tehran, Iran
Hamid Majedi*: Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University Science and research Branch, Tehran, Iran
Razieh Labibzade: Assisst Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University Science and research Branch, Tehran, Iran

Received: 2024/03/15 **PP** 1-14 **Accepted:**2024/04/10

Abstract
Today, saving energy is one of the essential elements for reducing global warming, controlling climate change, reducing the level of greenhouse gases in the atmosphere, and decarbonizing. Considering that the building sector consumes half of the world's energy, the question arises as to how to reduce energy consumption in hot and cold seasons by processing the functional model and using renewable resources in the outer shell of the building. Reduced The purpose of this research is to introduce a practical model that is obtained from the combination of the mechanism related to near-zero energy buildings, the simulation of energy behavior in the environment of Design Builder software, and the architectural design based on climatic characteristics. This model can be easily used in existing buildings with office use located in hot and dry climates, and in addition to cold seasons, it can lead to energy optimization in the building. This research is a combination of quantitative and qualitative and of an applied type. To collect and analyze climate data, climate consultant software was used, and to analyze energy behavior in the building, Design Builder was used as an energy simulator software. The results of the research indicate that energy buildings close to zero are effective in reducing energy consumption. The simulation results confirmed that the use of a Trombe wall with a thickness of 25 cm reduces the heating load of the building by 29.43% in cold seasons. At the same time, this element does not perform well in hot seasons and it is necessary to adjust the heat and energy received in hot seasons by adopting architectural solutions including thermal chimneys and openings, and using natural airflow.

Keywords: Sustainable Architecture, Architectural Design, Hot And Dry Climate, Functional Model, Isfahan City.

Citation: Malekahmadi, S., Majedi, H., & Labibzadeh, R. (2024). **Optimizing Energy in Cold and Hot Seasons by Using Trombe Wall in Office Buildings,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 1-14.

*. **Corresponding author:** Hamid Majedi, **Email:** majedi@srbiau.ac.ir, **Tel:** +982144865154

Extended Abstract

Introduction

In recent years, factors such as global warming and the energy crisis in the world have caused many countries to experience changes in the field of effective and efficient use of energy. Especially after the oil crisis in the 1970s, there has been a significant sensitivity about energy consumption around the world. Since the early 1990s, when it became clear that more than 50% of the energy used in the world is used in buildings, solutions to minimize energy consumption in buildings were studied. Considering that the building sector is one of the leading sectors in energy consumption, there is a great need for various studies to create living conditions in comfortable and healthy spaces in order to reduce energy consumption in buildings. Increasing awareness about energy and environment goes back to the 70s. In the years 2010 to 2012, many laws, regulations and systems were introduced in order to reduce energy dependence in the world, to increase the national reserves of buildings, decarbonization, and guarantee the cost-effective conversion of buildings. It has been very efficient to build buildings with nearly zero energy and reduce greenhouse gas emissions by 80 to 95 percent compared to the end of the 20th century. In order to improve the buildings that are more efficient in reducing energy consumption, the minimum energy performance requirements of the building should be defined and based on that, appropriate strategies to reduce energy consumption should be explained. One of the ways to solve the problems caused by the consumption of renewable energy in the field of construction is to use the models of "close to zero energy buildings".

Methodology

This research is a combination of quantitative and qualitative and of an applied type. The qualitative aspect of the research is based on reviewing and inferring from up-to-date library sources, which led to the formulation of the practical model and the theoretical framework of the research. The quantitative aspect of the research relies on the use of software tools, including climate consultant and design builder, and estimating and analyzing the required load and energy behavior in the building. The results of the applied model and the theoretical framework of the research indicate that the energy supply of the building using fossil fuels faces the planet earth from many aspects with negative consequences and environmental hazards. With this definition, replacing fossil fuels with renewable energy sources is considered one of the pillars of sustainable architecture.

Results and discussion

In near-zero energy buildings, before using the models related to energy consumption optimization, it should be ensured that the energy loss in the building is minimized. In the simulation of the Trombe wall, brick materials have been used due to their favorable heat capacity, and the use of phase change materials has been avoided. At the same time, ventilation is installed at the top and bottom of the Trombe wall. Four different scenarios for the Trombe wall model with thicknesses of 10, 15, 20, and 25 cm in the office building have been processed in Design Builder software. The simulation results show that the annual heating load of the building is reduced by 42.28% in the first scenario, 42.87% in the second scenario, 43.8% in the third scenario, and 43.29% in the fourth scenario compared to the normal state. Therefore, the comparative comparison of the scenarios shows that the lowest annual heating load is related to scenario 4 and the highest is related to scenario 1 (Figure No. 10). Although the use of Trombe wall with a thickness of 25 cm in the entire southern facade reduces the annual heating load by 29.43%; On the other hand, the Trombe wall increases the annual cooling load of the building compared to the normal state. As a result, the Trombe wall does not perform properly in the hot season. The comparison of the scenarios in terms of the total annual cooling and heating load shows that the Trombe wall with a thickness of 25 cm has a better performance and the buildings with a Trombe wall with a thickness of 20, 15 and 10 cm and finally the normal state in the category The evaluation of the results of the scenarios indicates that the use of Trombe wall with a thickness of 25 cm shows the best performance among the scenarios. However, due to the inappropriate performance of the trombe wall in the hot season and the increase in the cooling load required by the building, it is necessary to deal with the excess heat directed to the building

in the hot season while adopting appropriate solutions in the architectural design of the building.

Conclusion

The results and findings of the research show that the near-zero energy building model contributes significantly to the sustainability of the urban energy system on the end user's side. Due to the lack of codified models and standards in Iran regarding near-zero energy buildings, the applied research model was developed according to the conditions and characteristics of hot and dry climate. The results of the model led the researchers to use the Trombe wall in architectural design. The simulation of the energy behavior in the Design Builder software environment confirmed the results of the functional model and showed that the Trombe wall as a static thermal system has a high performance in reducing the heating energy required in cold seasons. However, it increases the need for cooling energy in hot seasons due to the generation of excess heat inside the building. Therefore, it is necessary to neutralize the excess heat in hot seasons by adopting architectural solutions such as using thermal chimneys and changing openings. As a result, energy consumption can be optimized by using Trombe wall simultaneously with architectural solutions in hot and cold seasons. The results of the applied model can be used as a guide and instruction for urban designers and architects in the city of Isfahan and buildings with office use. Also, in future research, by following the materials and methods of this article, researchers can process near-zero building energy models for other types of territorial climates or other urban uses.

References

1. Amaripadath, D., Rahif, R., Zuo, W., Velickovic, M., Voglaire, C., & Attia, S. (2023), Climate change sensitive sizing and design for nearly zero-energy office building systems in Brussels, *Energy and Buildings*, (286).
2. Aşikoğlu, A., Altin, M., & Bayram, N. S. (2021). Pasif Ev Sertifika Sisteminin Mevcut Binalarda Uygulanmasi: EnerPHit Sertifika Sistemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 1146-1156.
3. Attia, Sh., Kurnitski, J., Kosiński, P., Borodiņecs, A., Deme Belafi, Z., István, K., Krstić, H., Moldovan, M., Visa, I., Mihailov, N., Evstatiev, B., Banionis, K., Čekon, M., Vilčeková, S., Struhala, K., Brzoň, R., & Laurent, O. (2022). Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe, *Energy and Buildings*, (267).
4. Barrutieta, X., Gainza, J., Irulegi, O. & Hernández, R. 2023. The zero building: an exemplary nearly zero energy office building (NZEB) and its potential to become a positive energy building (PEB). *Architectural Science Review*, 66 (3), 214-225.
5. Ben Romdhane, S., Mahjoub, H., Mahjoub Said, N., Jemni, A. (2023). Computational modelling and simulation of Trombe walls as a passive ventilation system under an oceanic climate. *Journal of Taibah University for Science*, 17 (1).
6. Borrallo-Jiménez, M., LopezDeAsiain, M., Esquivias, P.M. & Delgado-Trujillo, D. (2022). Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain. *Energy and Buildings*, (254).
7. Bruno, R., Bevilacqua, P., Cirone, D., Perrella, S., & Rollo, A. (2021). A Calibration of the Solar Load Ratio Method to Determine the Heat Gain in PV-Trombe Walls. *Energies*, 15(328), 1-15.
8. Chan, T., Thi Hai Ha, P., & Thi Khanh Phuong, N. (2022). Method of calculating solar heat transmitted through shaded windows for OTTV in consideration of diffuse radiation diminished. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22 (2), 1-16.
9. Chen, Y., Chen, Z., Wang, D., Liu, Y, & et. al. (2023). Co-optimization of passive building and active solar heating system based on the objective of minimum carbon emissions, *Energy*, (275).
10. Cui, M. (2018). A feasibility study of Trombe wall design in the cold region. *International Conference on Indoor Air Quality Ventilation & Energy Conservation in Buildings*. China.

11. EU, Directive 2018/844/EU. (2018). 22 Temmuz 2021, https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG.

12. European Commission, «2020 Climate and energy package». 2017. [En línea]. Disponible en: 2020 Climate and energy package—European Commission, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en.

13. European Commission, «2030 Climate and energy framework». 2018. [En línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en.

14. European Commission, «Energy, transport and environment indicators. Eurostat», 2012.

15. Gong, Q., Kou, F., Sun, X., Zou, Y., Mo, J., & Wang, X. (2022). Towards zero energy buildings: A novel passive solar house integrated with flat gravity-assisted heat pipes. *Applied Energy*, (306).

16. Hassangholinejad Yasouri, K., & Mofidi Shemirani, S. M. (2019). Sustainability standards in the formation of architecture structure and elements in the hot and dry climate. Islamic Art Studies Scientific Research Journal, 15(34), 187-214. [In Persian]

17. Li, L., Chen, G., Zhang, L., & Zhou, J. (2021). Research on the application of passive solar heating technology in new buildings in the Western Sichuan Plateau. Energy Reports, (7), 906-914.

18. Ling, L., & Zhou, J. (2021). Research and Application of Solar Energy Heating System for Individual Household in Western Sichuan Plateau. *E3S Web of Conferences 261*.

19. Magrini, A., Lentini, G., Cuman, S., Bodrato, A. & Marenco, L. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*, (3).

20. Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building–A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43 (4), 971-979.

21. Memarian, G. (1996). Introduction to residential architecture in Iran (introverted typology). Science and Industry University Press, 20-32. [In Persian]

22. Mu˜noz-Liesa, J., Royapoor, M., Cuerva, E., Gass´o-Domingo, S., Gabarrell, X., & Josa, A. (2022). Building-integrated greenhouses raise energy co-benefits through active ventilation systems, *Building and Environment*, (208).

23. Sheikholeslami, M., & Al-Hussein, H. (2023). Modification of heat storage system involving Trombe wall in existence of paraffin enhanced with nanoparticles. *Journal of Energy Storage*, (58).

24. Si, P., Lv, Y., Rong, X., Shi, L., Yan, J., & Wang, X. (2020). An innovative building envelope with variable thermal performance for passive heating systems. *Applied Energy*, (269).

25. Sobczyk, W., & Sobczyk, EJ. (2019). Thermal comfort in a passive solar building. *2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development*. IOP Conf.

26. Tousali, M. (2012). Urban and architectural construction in the hot and dry climate of Iran. Tehran: Payam and Peyvand-e-No Publications. [In Persian]

27. Vignola, G., Kiracofe, R., Dietrich, U. (2019). Passive Strategies for Buildings in Hot and Dry Climates: Optimisation of Informal Apartment Blocks in Cairo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*

28. Wang, D., Hu, L., Du, H., Liu, Y., Huang, J., Xu, Y., & Liu, J. (2020). Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (124).

29. Yang, S., Dewancker, B J., & Chen, S. (2021). Study on the Passive Heating System of a Heated Cooking Wall in Dwellings: A Case Study of Traditional Dwellings in Southern Shaanxi, China, *International Journal of Environmental Research and Paublic Health*, 18 (7).

30. Yaran, A., & Jafari, P. (2022). Analysis of the role of passive energy in the evaluation of Kashan houses. Manzar Journal, 14(59), 40-57. [In Persian]

31. Yazdi, Y., Mofidi Shemirani, S. M., & E'tesam, I. (2021). Study of the relationship between the physical components of native houses in the hot and dry climate of Iran (Case study: Qajar houses in Yazd). Bagh-e Nazar Scientific Journal, 18(96), 59-76. [In Persian]

32. Zacà, I., D'Agostino, D., Congedo, P.M, Baglivo, C. (2015). Assessment of cost-optimality and technical solutions in high performance multi-residential buildings in the Mediterranean area, *Energy and Buildings*, (102), 250–265.

33. Zhao, J., Liu, D., & Lu, S. (2022). Research on the Indoor Thermal Environment of Attached Sunspace Passive Solar Heating System Based on Zero-State Response Control Strategy. *Applied Sciences*, 12 (855), 1-22.

فصلنامه معماری و محیط پایدار
دوره ۲، شماره ۵، بهار ۱۴۰۳
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
شاپا الکترونیکی: ۰۸۹۲-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی انرژی در فصول سرد و گرم با بهره‌گیری از دیوار ترومب در ساختمان‌های اداری

سینا ملک احمدی: دانشجوی دکتری معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حمید ماجدی [۱]: استاد، گروه معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
راضیه لبیب زاده: استادیار، گروه معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵ **صص** ۱۴-۱ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۴/۲۰

چکیده

امروزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی یکی از ارکان ضروری برای کاهش گرمایش جهانی، کنترل تغییرات آب و هوایی، کاهش سطح گازهای گلخانه‌ای در جو زمین و کربن‌زدایی به شمار می‌رود. با توجه به اینکه بخش ساختمان نیمی از انرژی جهان را مصرف می‌کند، این سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان با پردازش مدل کاربردی و ضمن استفاده از منابع تجدیدپذیر در پوسته خارجی ساختمان، مصرف انرژی را در فصول سرد و گرم کاهش داد. هدف از این پژوهش معرفی مدل کاربردی است که از تلفیق سازوکار مربوط به ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، شبیه‌سازی رفتار انرژی در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر و طراحی معماری مبتنی بر ویژگی‌های اقلیمی حاصل شده است. این مدل می‌تواند به راحتی در ساختمان‌های موجود با کاربری اداری واقع در اقلیم گرم و خشک استفاده شود و علاوه بر فصول سرد، در فصول گرم نیز به بهینه‌سازی انرژی در ساختمان بیانجامد. این پژوهش ترکیبی کمی و کیفی و از نوع کاربردی است. برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های اقلیمی از نرم‌افزار مشاور اقلیمی و برای تحلیل رفتار انرژی در ساختمان از دیزاین بیلدر به عنوان نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی استفاده شده است. نتایج پژوهش حاکی از این است که ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر در کاهش مصرف انرژی مؤثر است. نتایج شبیه‌سازی تأیید کرد که به‌کارگیری دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر به میزان ۴۳,۲۹ درصد از بار گرمایش ساختمان در فصول سرد می‌کاهد. در عین حال این عنصر عملکرد مطلوبی در فصول گرم ندارد و لازم است تا با اتخاذ راهکارهای معماری شامل دودکش حرارتی و بازشوها و استفاده از جریان طبیعی هوا حرارت و انرژی دریافتی در فصول گرم را تعدیل کرد.

واژه‌های کلیدی: معماری پایدار، طراحی معماری، اقلیم گرم و خشک، مدل کاربردی، شهر اصفهان

استناد: ملک احمدی، سینا؛ ماجدی، حمید و لبیب زاده، راضیه (۱۴۰۳). **بهینه‌سازی انرژی در فصول سرد و گرم با بهره‌گیری از دیوار ترومب در ساختمان‌های اداری،** *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۱-۱۴.

[۱] **نویسنده مسئول:** حمید ماجدی، **پست الکترونیکی:** majedi@srbiau.ac.ir، **تلفن:** ۰۲۱۴۴۸۶۵۱۵۴

مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری با موضوع: مدل توسعه‌ای-کاربردی طراحی اقلیمی ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر مبتنی بر الگوهای سامانه حرارتی ایستا (مورد پژوهی ساختمان‌های اداری میان مرتبه شهر اصفهان)

مقدّمه

در سال‌های اخیر عواملی مانند گرمایش جهانی و بحران انرژی در جهان باعث شده است تا بسیاری از کشورها تحولاتی را در زمینه‌ی استفاده مؤثر و کارآمد از انرژی تجربه‌کنند. به‌ویژه پس از بحران نفت در دهه ۱۹۷۰، حساسیت قابل توجهی در مورد مصرف انرژی در سراسر جهان ایجاد شده است. از اوایل دهه ۱۹۹۰، با مشخص شدن این‌که بیش از ۵۰ درصد انرژی مورد استفاده در جهان در ساختمان‌ها استفاده می‌شود، راه‌حل‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در ساختمان‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به این‌که بخش ساختمان یکی از بخش‌های پیشرو در مصرف انرژی است، مطالعات مختلف در جهت ایجاد شرایط زندگی در فضاهای راحت و سالم در جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها ضرورت زیادی دارد (Aşikoğlu et al, 2021). افزایش آگاهی درباره انرژی و محیط‌زیست به دهه‌ی ۷۰ میلادی بازمی‌گردد. در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲، قوانین، مقررات و سیستم‌های بسیاری به‌منظور کاهش وابستگی به انرژی در جهان معرفی شد که برای افزایش ذخایر ملی ساختمان‌ها، کربن‌زدایی، تضمین تبدیل مقرون به‌صرفه‌ی ساختمان‌های موجود به ساختمان‌هایی با انرژی نزدیک به صفر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۸۰ تا ۹۵ درصد در مقایسه با پایان قرن بیستم، بسیار کارآمد بوده است (EU, 2018).

به‌منظور ارتقای ساختمان‌هایی که در تحقق کاهش مصرف انرژی کارآمدتر هستند، حداقل نیازهای عملکرد انرژی ساختمان می‌بایست تعریف‌شده و بر اساس آن راهکارهای متناسب با کاهش مصرف انرژی تبیین شود (Borrallo-Jiménez etal., 2022). یکی از راهکارهای حل‌وفصل مشکلات ناشی از مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در حوزه ساخت و ساز، بهره‌گیری از مدل‌های «ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر»، است. اهداف اصلی مدل‌های ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، کاهش نیاز انرژی و بهبود کارایی انرژی است و در این مدل‌ها فناوری و سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان نقش مهمی را ایفا می‌کنند که عمدتاً توسط انرژی‌های تجدیدپذیر هدایت می‌شود (Magrini etal., 2020). ساختمان‌های با انرژی نزدیک به صفر بر اقدامات بالقوه کاهش تغییرات آب‌وهوایی مانند کاهش مصرف انرژی تجدیدناپذیر و در نتیجه کاهش انتشار دی اکسید کربن تمرکز دارند. معمولاً تأکید بر این است که چگونه ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، مصرف انرژی و هزینه‌های اجرای اقدامات صرفه‌جویی در انرژی را کاهش می‌دهند. با این‌حال، سایر مزایای مهم در بهره‌گیری از این ایده کنترل مصرف انرژی اغلب نادیده گرفته می‌شود که در درجه‌ی اول با آسایش داخل خانه، بهبود کیفیت هوا، مزایای سلامتی و افزایش بهره‌وری مرتبط هستند (Amaripadath et al., 2023).

ضرورت پژوهش حاضر را می‌توان در این امر جستجو کرد که شهرها زیر چتر توسعه پایدار باید از تولید انرژی از محل سوخت‌های فسیلی ناپایدار فعلی به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تغییر جهت دهند. ساختمان‌های شهری یکی از مصرف‌کنندگان اصلی انرژی محسوب می‌شوند. استفاده از مدل‌های ساختمان انرژی نزدیک به صفر در طراحی معماری، کاهش مصرف انرژی در ساختمان و تأمین انرژی موردنیاز را از منابع تجدیدپذیر به ارمغان می‌آورد. با توجه به نبود مدل‌ها و استانداردهای مدون برای به‌کارگیری انرژی تجدیدپذیر در ساختمان، در پژوهش حاضر کوشش شده است تا با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی، یک مدل انحصاری و کاربردی از ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر برای اقلیم گرم و خشک ایران جهت استفاده معماران و طراحان شهری پیشنهاد شود.

بنابراین، هدف از این پژوهش معرفی مدل کاربردی است که از تلفیق سازوکار مربوط به ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، شبیه‌سازی رفتار انرژی در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر و طراحی معماری مبتنی بر ویژگی‌های اقلیمی حاصل شده است. این مدل می‌تواند به راحتی در ساختمان‌های موجود با کاربری اداری واقع در اقلیم گرم و خشک استفاده شود و علاوه بر فصول سرد، در فصول گرم نیز به بهینه‌سازی انرژی در ساختمان بیانجامد. با این وصف پژوهش حاضر بر آن است تا به این سؤال پاسخ دهد که چگونه می‌توان با پردازش مدل کاربردی و ضمن استفاده از منابع تجدیدپذیر در پوسته خارجی ساختمان، مصرف انرژی را در فصول سرد و گرم کاهش داد؟

برای پاسخگویی به سؤال یاد شده و دستیابی به هدف پژوهش، سابقه و مبانی نظری موضوع از جنبه‌های متعدد بررسی و حلّاجی شد و از این رهگذر مدل کاربردی ساختمان انرژی نزدیک به صفر و چارچوب نظری پژوهش تدوین شد. مدل کاربردی و چارچوب نظری، لنگرگاه‌های کلیدی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان قلمداد می‌شوند. با اتکا بر تلفیق روش‌های تحقیق کمی و کیفی، چهار سناریو برای دیوار ترومب تدوین شد و آنگاه به پردازش نتایج مدل در طراحی معماری و بهینه‌سازی نتایج شبیه‌سازی از طریق راه‌حل‌های معماری مبادرت شد.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

پژوهشگران در سراسر جهان مطالعات متعددی درباره ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر متناسب با اقلیم‌های متنوع انجام داده‌اند. طبق تعریف وزارت انرژی ایالات متحده، ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، ساختمان‌هایی هستند که انرژی تولید می‌کنند، بیشتر از آن‌چه مصرف می‌کنند (Barrutieta etal., 2023).

ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند: خودکفا و متصل. در سیستم خودکفا، نیازی به اتصال شبکه‌ی خارجی انرژی وجود ندارد و تمامی انرژی موردنیاز آن‌ها از طریق منابع تجدیدپذیر موجود در سایت تأمین می‌شود. در سیستم متصل، ممکن است ساختمان از منبع انرژی خارجی در مواقعی از سال استفاده کند و در مواقع دیگر میانگین انرژی دریافتی و تولیدی آن، صفر باشد (Marszal et al., 2011).

ردپای ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر را علاوه بر پژوهش‌های انجام شده در این حوزه، می‌توان در دستورالعمل‌ها و استانداردهای منتشر شده در بخش ساختمان جستجو کرد. رهیافت‌های حاصل از مرور منابع نشان داد که سامانه‌های حرارتی ایستا و پویا، از راه‌حل‌های طراحی برای دستیابی به ساختمان انرژی نزدیک به صفر به شمار می‌روند. افزون بر آن، مشخص شد که طراحی ساختمان انرژی نزدیک به صفر مستلزم مجموعه‌ای از اقدامات جامع و کامل در یک قلمروی گسترده است. با این توضیح که در چرخه حیات ساختمان لازم است تا از انرژی و مواد و مصالح باکیفیت به طور بهینه استفاده شود تا مصرف ساختمان در وهله نخست کاهش یابد و انرژی موردنیاز ساختمان به کمترین میزان تقلیل پیدا کند و آنگاه در وهله بعدی به تأمین انرژی موردنیاز ساختمان از منابع تجدیدپذیر مبادرت کرد. همچنین الزامات و ویژگی‌های مربوط به ساختمان‌های نزدیک به انرژی صفر در هر نوع اقلیم و شرایط آب‌وهوایی متفاوت است. از این رو توجه به ویژگی‌های جغرافیایی و سرزمینی در طراحی، از ارکان اصلی در موفقیت ساختمان‌های نزدیک به انرژی صفر قلمداد می‌شود. سامانه‌های حرارتی ایستا با توجه به اینکه برخلاف سامانه‌های حرارتی پویا به نیروی مکانیکی متکی نیستند، از منظر معماری پایدار کاربردی‌تر بوده و به علاوه هزینه‌های اولیه مربوط به اجرا و هزینه‌های ثانویه مربوط به بهره‌برداری در آنها کمتر است. در این میان دیوار ترومب از روش‌های پُرکاربرد، مؤثر و پاسخده برای کاهش انرژی گرمایشی موردنیاز ساختمان در فصول سرد به شمار می‌رود و امکان تلفیق آن با راه‌حل‌های معماری جهت بهینه‌سازی انرژی در فصول سرد و گرم وجود دارد. مجموعه مباحث یاد شده و نحوه ارتباط آنها، به تدوین مدل کاربردی و چارچوب نظری پژوهش انجامیده است.

دستورالعمل‌ها و استانداردها

اتحادیه اروپا، به‌عنوان مرجع آوانگارد در بینش مرتبط با ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، دستورالعمل‌هایی تا سال ۲۰۲۰ تهیه کرده است که هدف آن کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی، افزایش ۲۰ درصدی راندمان سیستم انرژی در ساختمان‌های با قدمت بیشتر از ۱۵ سال و افزایش ۲۰ درصدی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است (Commission European, 2010). پس از آن اصلاح بخشنامه، بیان می‌کند که ساختمان انرژی نزدیک به صفر ساختمانی است که دارای ارتفاع بسیار بالایی است. عملکرد انرژی در آن، مقدار تقریباً صفر یا بسیار کم است. انرژی مورد نیاز باید تا حد قابل‌توجهی توسط منابع تجدیدپذیر، از جمله منابع تولید شده در محل یا در نزدیکی آن به‌طور خاص، از نظر مصرف انرژی اولیه در رابطه با سطوح بهینه هزینه برای مجموعه‌ای از ساختمان‌های مرجع پوشش داده شود (European Commission,2018; European Commission,2017; Commission,2012;).

استاندارد اشری توسط انجمن گرمایش، سرمایش و تهویه‌ی مطبوع آمریکا منتشر شد. این انجمن در سال ۱۸۹۴ تأسیس شد و دارای ۵۷ هزار عضو متخصص ساختمان از ۱۳۲ ملیت در دنیا است. این انجمن در خصوص بهره‌وری انرژی، کیفیت هوای درونی ساختمان، سرمایش و گرمایش و پایایی در صنعت تمرکز دارد. کاربران جهت استفاده از این استاندارد می‌توانند دو روش را انتخاب نمایند. روش توصیفی که در آن اجزای ساختمان شامل پوسته، HVAC، آب گرم مصرفی، برق‌رسانی، روشنایی و سایر تجهیزات مانند پمپ‌ها، بالابر و موارد دیگر، می‌بایست حداقل نیازمندی‌های استاندارد را برآورده سازد. روش کارآیی که در آن بر اساس زیربنا و نوع ساختمان یک بودجه هزینه انرژی با استفاده از شبیه‌سازی انرژی ساختمان به عنوان هزینه مبنا برآورد می‌شود. بودجه هزینه انرژی ساختمان پس از طراحی می‌بایست از این مقدار مبنا کمتر شود.

در کشور ما نیز، بخش ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. متأسفانه با این وجود، اقدامات انجام‌شده در سال‌های اخیر اثربخشی مورد انتظار را در کاهش مصرف انرژی بخش ساختمان نداشته است و رشد مصرف، همچنان روند افزایشی و نگران‌کننده‌ای دارد. بدیهی است که تداوم این وضعیت، تبعات اقتصادی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری برای کشور به‌دنبال خواهد داشت.

تجربه کشورهای صنعتی به‌روشنی لزوم تدوین ضوابط و مقررات منطبق با شرایط موجود در هر کشور را آشکار می‌سازد. در همین راستا، در سال ۱۳۷۰، اولین ویرایش مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، با صرفه‌جویی در مصرف انرژی تدوین شد که بخش عمده آن به ضوابط طراحی عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان اختصاص داشت. مبحث نوزده از مقررات ملی ساختمان ضوابط طرح، محاسبه و اجرای عایق‌کاری حرارتی پوسته‌ی خارجی، سیستم‌های تأسیسات گرمایی، سرمایی، تهویه، تهویه‌ی مطبوع، تأمین آب گرم مصرفی و الزامات طراحی سیستم

روشنایی در ساختمان‌ها را تعیین می‌کند و پس از آن پاره‌ای از دستورالعمل‌ها با هدف کاهش مصرف انرژی و مصرف بهینه ارائه می‌کند (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان). با این حال، تعریف ویژه و منحصربه‌فردی از ساختمان انرژی نزدیک به صفر در ایران بر مبنای مقررات و دستورالعمل‌های بخش انرژی، تدوین نشده است. تدوین این دستورالعمل‌ها، نیازمند دستیابی به مدل انرژی ساختمان انرژی نزدیک به صفر در هر کدام از پهنه‌های اقلیمی کشور ایران از جمله اقلیم گرم و خشک است.

انطباق بر جغرافیا و بوم‌گرایی

وضعیت جغرافیایی در کنار توسعه تکنیک‌های بهره‌گیری از ساختمان انرژی نزدیک به صفر، عدم تفاهم در پذیرش تعریف مشترک از ساختمان انرژی نزدیک به صفر را در اقلیم‌ها و بسترهای مختلف منعکس می‌کند. ارزیابی مقایسه‌ای کامل و مبتنی بر معیارهای جغرافیای منتخب، می‌تواند به تغییر شکاف‌های شناسایی‌شده و خلق فرصت برای توسعه آینده ساختمان‌های با عملکرد بالا در هر نوع آب‌وهوا کمک کند (Attia etal., 2022). با این حال، برای هر منطقه‌ای با توجه به زیرساخت‌های بومی و اقلیمی خود می‌توان چهارچوب‌های نظام‌مند برای بهبود و بهره‌وری انرژی ساختمان ارائه کرد که در برخی از چهارچوب‌ها در تمام دنیا اتفاق‌نظرهایی نیز حاصل شده است و حتی در میان سازمان‌های متعهد به اهداف زیست‌محیطی، استراتژی‌های مناسب و اقدامات لازم برای ایجاد فعالیت‌های مؤثر انجام شده است (حسن‌قلی‌نژاد یاسوری و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۸).

اقلیم، نقش گسترده‌ای در تعیین و شکل‌گیری معماری و شهرها دارد. در واقع یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در طراحی، اقلیم است، به‌طوری که تأثیر آن در تک‌تک بناها و عناصر معماری داخلی فضاها و علاوه بر آن، در تمام تاروپود بافت شهری و همچنین شیوه زندگی انسان، دیده می‌شود (توسلی، ۱۳۹۱).

در ایران به دلیل وجود چهار اقلیم متفاوت، انواع معماری هماهنگ با اقلیم به وجود آمده است. معماری گذشته ایران به ویژه در اقلیم گرم و خشک در خصوص هماهنگی با محیط، استفاده از انرژی‌های طبیعی و مواجهه با وضعیت دشوار اقلیمی موفق عمل کرده است و به سبب دارا بودن تجربیات و الگوهای ارزشمند، راه‌حل‌های خردمندانه‌ای در زمینه معماری پایدار ارائه داده است. تیپولوژی ابنیه در نواحی مختلف نشان می‌دهد که معماری تا چه اندازه متأثر از عوامل اقلیمی و حتی فرهنگی است. معماری اقلیم گرم و خشک ایران موفق شده است با به‌کارگیری عناصر، مصالح و همچنین دانش معمارانش، از عوامل اقلیمی برای متعادل‌سازی حرارتی در بناها استفاده کند (یزدی و همکاران، ۱۴۰۰).

در اقلیم گرم و خشک ایران، شهرهای بومی دارای ساختار و بافتی فشرده و متراکم‌اند و خانه‌ها دیوارهای به هم پیوسته دارند که حد و مرز بین آن‌ها غیر قابل تشخیص است. جهت‌گیری ساختمان تا حد زیادی تابع جهت‌گیری کلی شهر است. هدف اصلی در انتخاب جهت ساختمان در اقلیم گرم و خشک، به حداقل رساندن شدت خورشید در تابستان و کاهش دمای روزانه در فضای داخلی ساختمان است. هدف دیگر به حداکثر رساندن شدت آفتاب در زمستان است (معماریان، ۱۳۷۵).

انتخاب سامانه‌های حرارتی ایستا

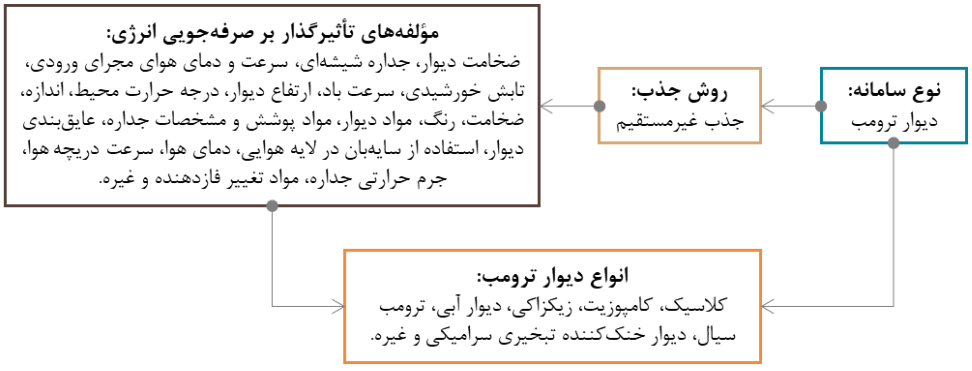
با توجه به شرایط بحران انرژی نیاز ضمنی به بهینه‌سازی طراحی ساختمان وجود دارد که ترکیبی از راه‌حل‌های ایستا و اقدامات صرفه‌جویی در انرژی است (Zacà etal., 2015). برای طراحی متناسب با اقلیم و بهره‌مندی از انرژی‌های پاک مانند انرژی ایستا، شناخت انواع آن الزامی است. انرژی ایستا از آن دسته انرژی‌های تجدیدپذیر است که بدون کمک از دستگاه و انرژی دیگری به‌صورت کاملاً طبیعی، تولید، ذخیره و انتقال انرژی صورت می‌گیرد. سرمایش ایستای انرژی از طریق سرمایش تبخیری، تهویه متقاطع، تهویه دودکشی، تهویه عنصر آب و گیاه، تهویه بام سبز، زمین‌گرمایی، تهویه شبانه، سایبان، پوسته خارجی، حیاط مرکزی، آتریوم، دیوار مؤثر بر هوا و گرمایش ایستای انرژی از طریق پنجره خورشیدی، نورگیر سقفی، دیوار ترومب، حوضچه سقفی، دیوار آبی، اتاق خورشیدی، سامانه ترموسیفون و جرم حرارتی انجام می‌شود (یاران و جعفری،۱۴۰۱).

در سیستم‌های ایستا از اجزای ساختمان برای جمع‌آوری حرارت خورشیدی استفاده می‌شود. فرآیند انتقال حرارت به توان مکانیکی متکی نیست، زیرا دارای مزایای ساختار ساده، هزینه کم و نگهداری راحت است. برعکس، در سیستم‌های پویا، کلکتورهای خورشیدی، مخازن ذخیره‌ی گرما، دستگاه‌های انتقال و توزیع و پایانه‌های گرمایشی با هم ترکیب می‌شوند تا یک سیستم چرخه را تشکیل دهند. این نوع سیستم دارای مزیت بازده جمع‌آوری و تبدیل بالا، ظرفیت ذخیره‌سازی گرمای زیاد، انتقال دقیق و انعطاف‌پذیری توزیع است. از آن جایی که هر دو سیستم گرمایش خورشیدی ایستا و پویا، بهترین پیکربندی را تحت اهداف و طراحی خاص دارند، طراحی تطبیقی آن‌ها موضوع تحقیقاتی مهمی در حوزه فناوری گرمایش خورشیدی است (Chen etal., 2023).

سیستم‌های خورشیدی حرارتی ایستا از عناصر ساختمانی برای انباشت گرما استفاده می‌کند و به‌صورت بدون واسطه از محیط (یا با استفاده از فضای واسط)، برای انتقال حرارت استفاده می‌شود. نور خورشید به صورت امواج مرئی و مادون قرمز به داخل فضای ساختمان نفوذ می‌کند و در دیوارها، کف‌ها و سقف‌ها تجمع می‌یابد. این عناصر گرم می‌شوند و سپس تشعشعات گرمایی ساطع می‌کنند که باعث ایجاد اثر گلخانه‌ای می‌شود (Sobczyk & Sobczyk, 2019). همچنین، سیستم انرژی ایستای خورشیدی، دستیابی به حرارت پایدار، عملکرد مطلوب حرارتی، راحتی و آسایش حرارتی داخلی بالا و اقتصاد به‌صرفه را در پی دارد (Ling & Zhou, 2021). به‌کارگیری استراتژی‌های ایستا در اقلیم‌های مختلف از جمله اقلیم گرمو خشک، عملکرد حرارتی را ساختمان بهبود می‌بخشد (Vignola etal., 2021). پنجره‌های خورشیدی (Chan etal., 2022)؛ احداث دیوار ترومب (Wang etal., 2020)؛ اتاق بهره مستقیم (Si etal., 2020)، به‌عنوان یک ساختار محفظه شفاف دو لایه با مقاومت حرارتی قابل‌تغییر (Gong etal., 2022)؛ بهره‌گیری از سیستم جامع دیوار آتشِ تأثیرگذار بر تغییرات دمای داخلی و کاهش بار حرارتی کلی ساختمان که از طریق همرفت گرما و به‌عنوان عایق در زمستان عمل می‌کند (Yang etal., 2021)؛ بهره‌گیری از تجهیزات یکپارچه جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گرما بر اساس کلکتور غیرفعال لوله خلاء و تغییر فاز مواد (Li etal., 2021)؛ سیستم iRTG که شامل هم‌افزایی ترکیب گلخانه‌ها و جریان‌های هوای اجباری است (Mu˜noz-Liesa etal., 2022) و غیره به‌عنوان سیستم‌های ایستای خورشیدی شناخته می‌شوند که بر صرفه‌جویی در گرمایش انواع ساختمان تأثیرگذارند. اما در طراحی روش‌های ایستای خورشیدی برای ایجاد گرمایش ساختمان به‌ویژه در اقلیم گرم و خشک، ساختمان با چالش‌هایی نیز روبرو می‌شود که ممکن است آسایش حرارتی را دچار مشکل کند. گرمایش ایستا اکثر اوقاتِ شب، چالش‌برانگیز و بسیار دشوار است. در طول روز، ممکن است، جمع‌آوری گرمای اضافی خورشید در زمان‌هایی که تابش خورشیدی شدید است، باعث ورود دمای بیش‌ازحد به محیط حرارتی داخل ساختمان شود. از این‌رو می‌بایست برای جلوگیری از ورود بیش از حد گرما و نوسانات حرارتی، با در نظر گرفتن مکانیسم‌های کنترلی، به یک محیط حرارتی داخلی با ثبات‌تر دست یافت (Zhao etal., 2022).

دیوار ترومب

دیوار ترومب یکی از استراتژی‌های مرتبط با طراحی سامانه‌های ایستای خورشیدی است. پژوهشگران ضمن مداقه، کندوکاو و حلّاجی در پژوهش‌های پیشین و کاربردهای عملیاتی روش‌های ایستای خورشیدی استنتاج کرده‌اند که دیوار ترومب به عنوان یک سامانه حرارتی ایستا بر صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی موردنیاز ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک مؤثر است. دیوار ترومب، انرژی حرارتی را به طور غیر مستقیم و از طریق تابش، همرفت و ترموسیرکولاسیون ایجاد شده در حفره هوا میان یک سطح شفاف و یک سطح جذب‌کننده، انتقال می‌دهد (Bruno etal., 2021). با توجه به تأخیر زمانی در دریافت نور خورشید، دیوار ترومب رو به جنوب در نیمکره شمالی، برای گرم کردن ساختمان‌ها در فصول سرد مناسب است (Ben Romdhane etal., 2023). مصالح مورد استفاده در دیوار ترومب معمولاً یک عنصر ذخیره‌سازی در قالب جرم حرارتی است؛ چراکه در تابستان هوای گرم در روز را حذف می‌کند و بسته می‌شود و شب به کاهش تلفات حرارتی کمک می‌کند (Cui, 2018). گرچه دیوار ترومب را می‌توان یک روش عالی برای صرفه‌جویی انرژی در نظر گرفت و تقاضای گرمایش را در زمستان کاهش می‌دهد. با این حال موجب گرم شدن بیش از حد در تابستان می‌شود (Sheikholeslami & Al- Hussein, 2023). سامانه دیوار ترومب در شکل شماره ۱ معرفی شده است.

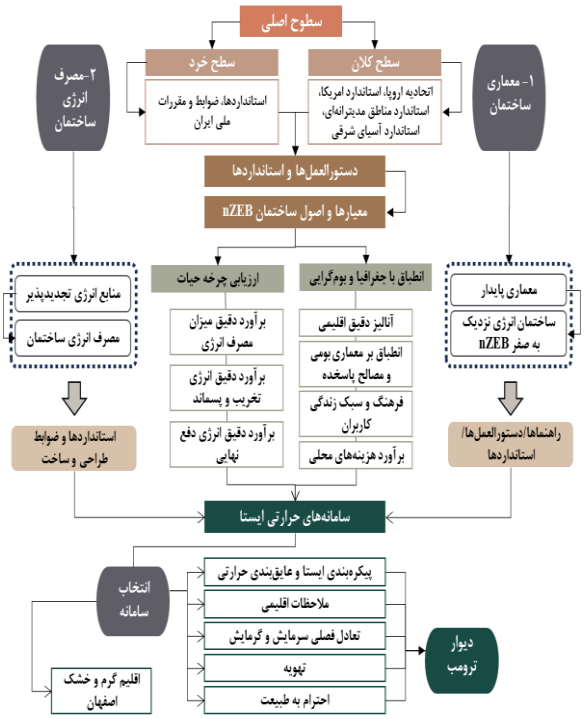


شکل ۱-معرفی سامانه دیوار ترومب (ترسیم: نگارندگان)

مدل کاربردی

طراحی معماری ساختمان بر مصرف انرژی تأثیر بسزایی دارد. ساختمان انرژی نزدیک به صفر یکی از مهم‌ترین مدل‌هایی است که با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی، مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد و از این رهگذر دستیابی به معماری پایدار

را میسر می‌کند. نکته کلیدی در طراحی معماری با اصول ساختمان انرژی نزدیک به صفر این است که ساختمان بایستی مطابق با استانداردهای بین‌المللی و ملی طراحی شود تا هدررفت انرژی در آن به حداقل برسد و بالتبع مصرف انرژی در آن به کمترین میزان کاهش پیدا کند. به علاوه سازگاری با ویژگی‌های اقلیمی تا حدود زیادی میزان هدررفت انرژی را کاهش می‌دهد و توامان امکان جذب انرژی از منابع تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد. در نهایت توجه به چرخه حیات ساختمان در روند طراحی و اجرا با میزان تقاضا و رفتار انرژی در ساختمان، ارتباط مستقیم دارد. استنتاج و حلّاجی در مفاهیم برشمرده، پژوهشگران را به سمت سامانه‌های حرارتی ایستا سوق داده است. سامانه‌های حرارتی ایستا دارای انواع مختلفی است. توجه به پیکره‌بندی ایستا، ملاحظات اقلیمی، تعادل فصلی سرمایش و گرمایش، تهویه و احترام به طبیعت به عنوان مؤلفه‌های اثرگذار و در نظر گرفتن اقلیم گرم و خشک اصفهان به عنوان قلمرو پژوهش به انتخاب سامانه دیوار ترومب منتج شد. مدل کاربردی ساختمان انرژی نزدیک به صفر در شکل شماره ۲ و چارچوب نظری پژوهش در شکل شماره ۳ مشخص شده است.



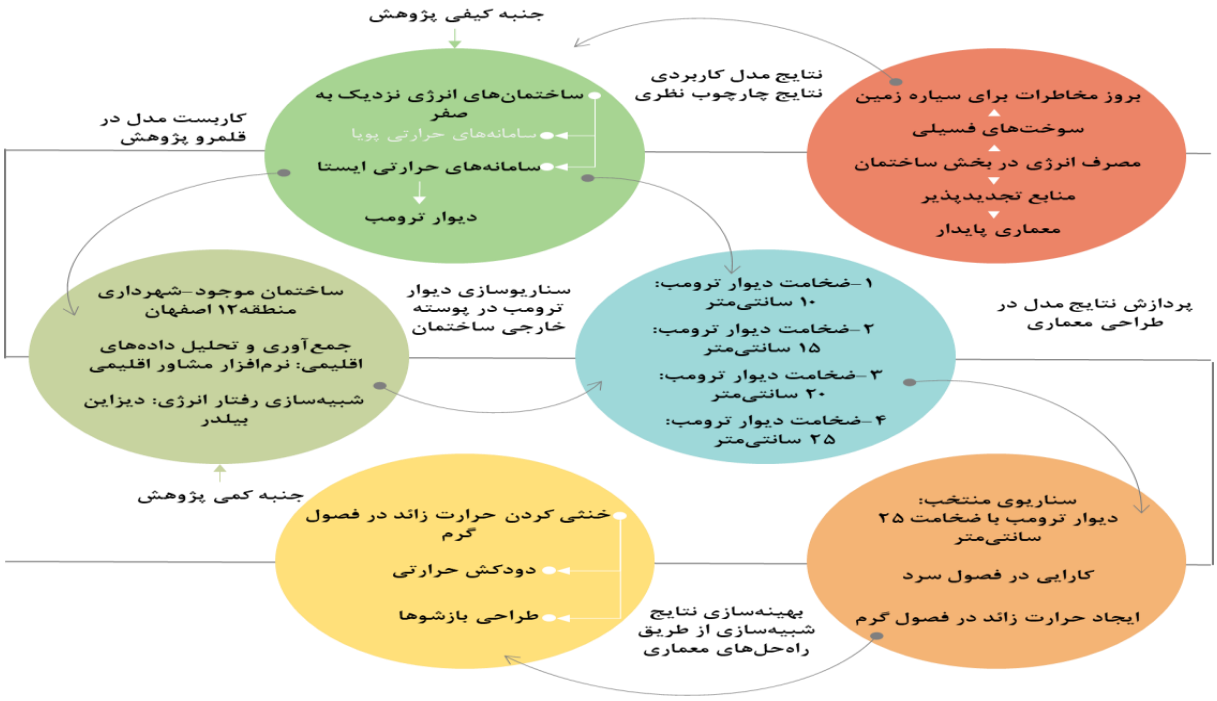
شکل ۲-مدل کاربردی ساختمان انرژی نزدیک به صفر (ترسیم: نگارندگان)

شکل ۳-چارچوب نظری پژوهش (ترسیم: نگارندگان)

مواد و روش تحقیق

این پژوهش ترکیبی کمی و کیفی و از نوع کاربردی است. جنبه کیفی پژوهش بر مرور و استنتاج از منابع کتابخانه‌ای به‌روز استوار است که به تدوین مدل کاربردی و چارچوب نظری پژوهش انجامید. جنبه کمی پژوهش بر استفاده از ابزار نرم‌افزار شامل مشاور اقلیمی و دیزاین بیلدر و برآورد و تحلیل بار موردنیاز و رفتار انرژی در ساختمان متکی است. نتایج مدل کاربردی و چارچوب نظری پژوهش حاکی از این است که تأمین انرژی ساختمان با استفاده از سوخت‌های فسیلی، سیاره زمین را از جنبه‌های متعدد با پیامدهای منفی و مخاطرات محیطی مواجه می‌سازد. با این وصف، جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر یکی از ارکان معماری پایدار قلمداد می‌شود. تحلیل کیفی نشان داد که سامانه دیوار ترومب برای اقلیم گرم و خشک به بهینه‌سازی مصرف انرژی منتج می‌شود. قلمرو پژوهش ساختمان اداری شهرداری منطقه ۱۲ اصفهان است. داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک شهر اصفهان اخذ شد و به کمک نرم‌افزار مشاور اقلیمی، داده‌های موردنیاز برای ورود به نرم‌افزار دیزاین بیلدر تهیه شد. با توجه به ورود داده‌های اقلیمی و سناریوسازی، رفتار انرژی در سناریوهای چهارگانه شبیه‌سازی شد و بار انرژی موردنیاز ساختمان به طور سالیانه محاسبه شد. با پردازش نتایج مدل، سناریوی برتر معرفی شد و مداقه در نتایج نشان داد که به‌کارگیری دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر در فصول سرد، مصرف انرژی گرمایشی را در ساختمان بهینه می‌کند؛ با این حال در فصول گرم، حرارت زائد ایجاد می‌کند. خنثی کردن حرارت زائد در فصول گرم و متعاقباً بهینه‌سازی انرژی سرمایشی در ساختمان مستلزم اتخاذ

راه‌حل‌های معماری است. راه‌حل‌های پیشنهادی پژوهشگران استفاده از دودکش حرارتی و ایجاد تغییرات در بازشوهای ساختمان بوده است. فرایند انجام پژوهش در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-فرایند انجام پژوهش (ترسیم: نگارندگان)

محدوده مورد مطالعه

ساختمان مورد مطالعه شهرداری منطقه ۱۲ واقع در خیابان بهارستان غربی است. فضای اداری ساختمان در سه طبقه ساخته شده است (شکل شماره ۵).

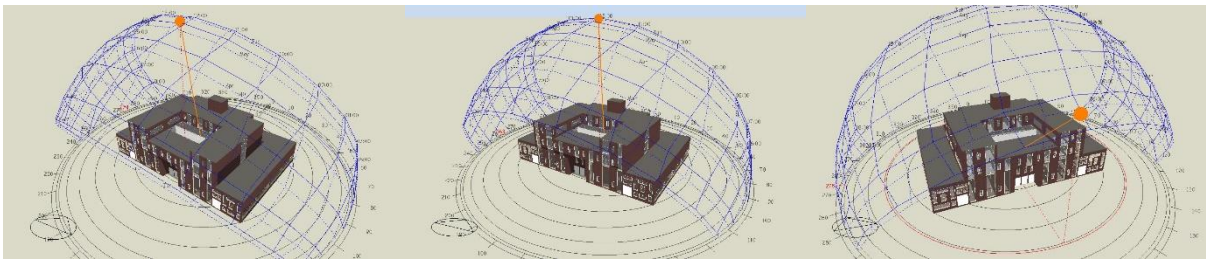
شکل ۵-نمایی از شهرداری منطقه ۱۲ (راست) و موقعیت استقرار شهرداری منطقه ۱۲ در شهر اصفهان (چپ)

بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

مدل‌سازی ساختمان موجود در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر

در ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، پیش از استفاده از مدل‌های مرتبط با بهینه‌سازی مصرف انرژی بایستی اطمینان حاصل نمود که اتلاف انرژی در ساختمان به حداقل رسیده است. با این توضیح جهت مدل‌سازی ساختمان موجود اداری فرض شده است که نحوه اجرای ساختمان بر اساس قوانین و مقررات و استانداردهای ملاک عمل و مصوب از سوی وزارت راه و شهرسازی و ساختمان نظام مهندسی استان

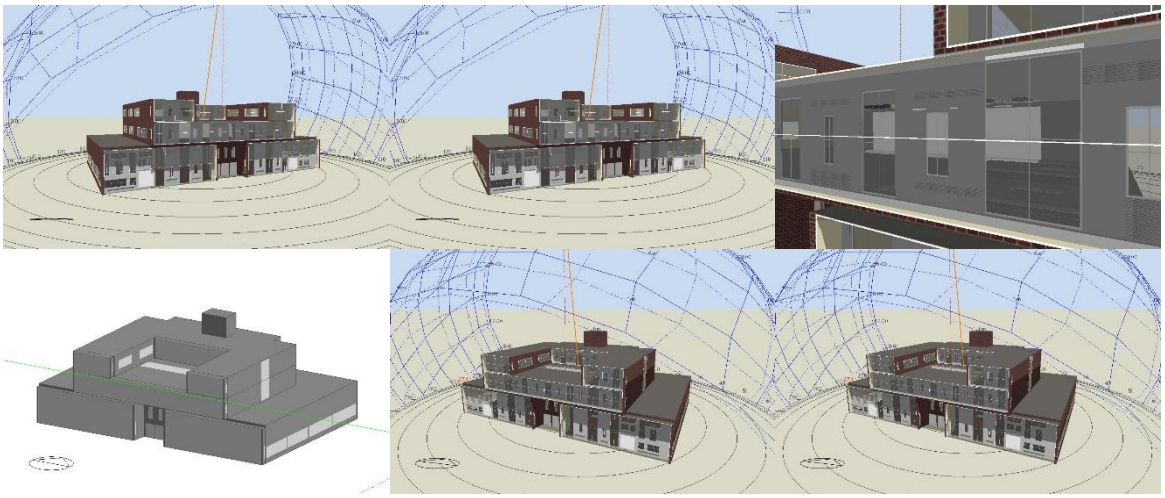
اصفهان بوده است. شکل شماره ۶، تنظیمات مربوط به نرم‌افزار دیزاین بیلدر و انتخاب استانداردهای مربوط به فضاهای اداری و تعیین وسایل گرمایشی و سرمایشی رایج در ایران و جزئیات اجرایی دیوار را نشان می‌دهد.



شکل ۶-مدل‌سازی ساختمان موجود در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر. منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

سناریوسازی و مدل‌سازی ساختمان اداری با دیوار ترومب در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر

در شبیه‌سازی دیوار ترومب به دلیل ظرفیت حرارتی مطلوب از مصالح آجر استفاده شده است و از به‌کارگیری مواد تغییر فازدهنده اجتناب شده است. در عین حال تهویه در بالا و پایین دیوار ترومب نصب شده است (شکل شماره ۷).



شکل ۷-مدل‌سازی دیوار ترومب در نمای ساختمان اداری. منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

چهار سناریوی مختلف برای مدل دیوار ترومب در ساختمان اداری در نرم‌افزار دیزاین بیلدر پردازش شده است. وجه تمایز سناریوها، در متغیر ضخامت دیوار منظور شده است. بدین ترتیب سناریوهای تدوین شده به قرار زیر است:

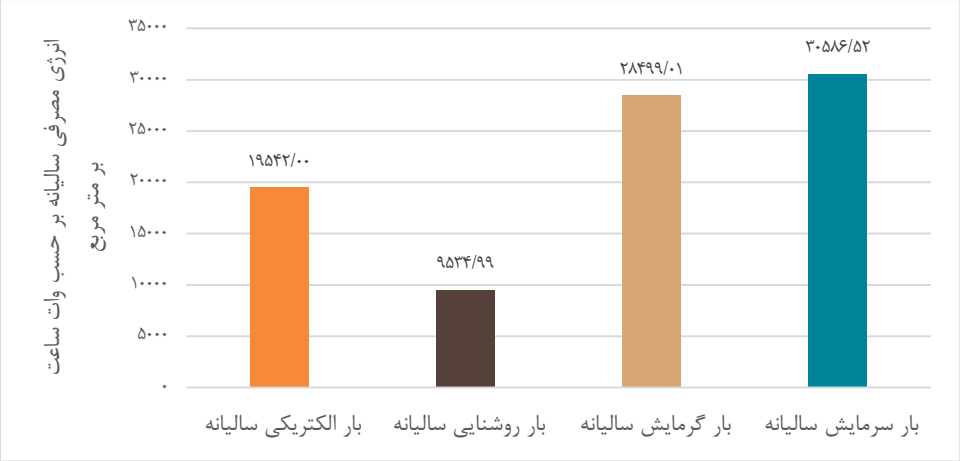
سناریو ۱-دیوار ترومب با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر

سناریو ۲- دیوار ترومب با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر

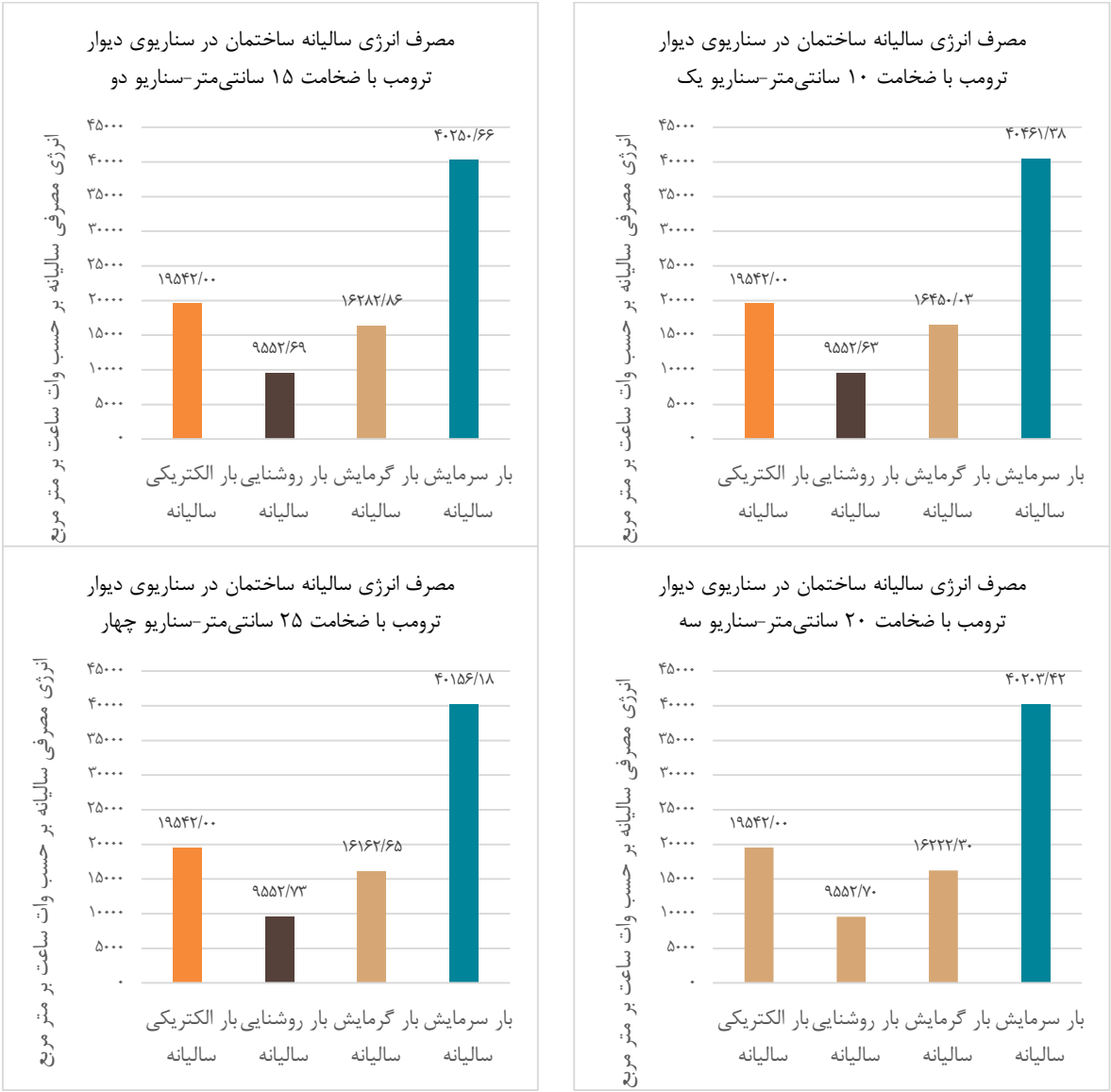
سناریو ۳- دیوار ترومب با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر

سناریو ۴- دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر

نتایج شبیه‌سازی مندرج در شکل (۸) و (۹) نشان می‌دهد که بار گرمایش سالیانه ساختمان در مقایسه با حالت معمولی در سناریوی یک ۴۲,۲۸ درصد، در سناریوی دو ۴۲,۸۷ درصد، در سناریوی سه ۴۳,۸ درصد و در سناریوی چهار ۴۳,۲۹ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۸- مصرف انرژی سالیانه ساختمان در حالت معمولی (بدون دیوار ترومب). منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

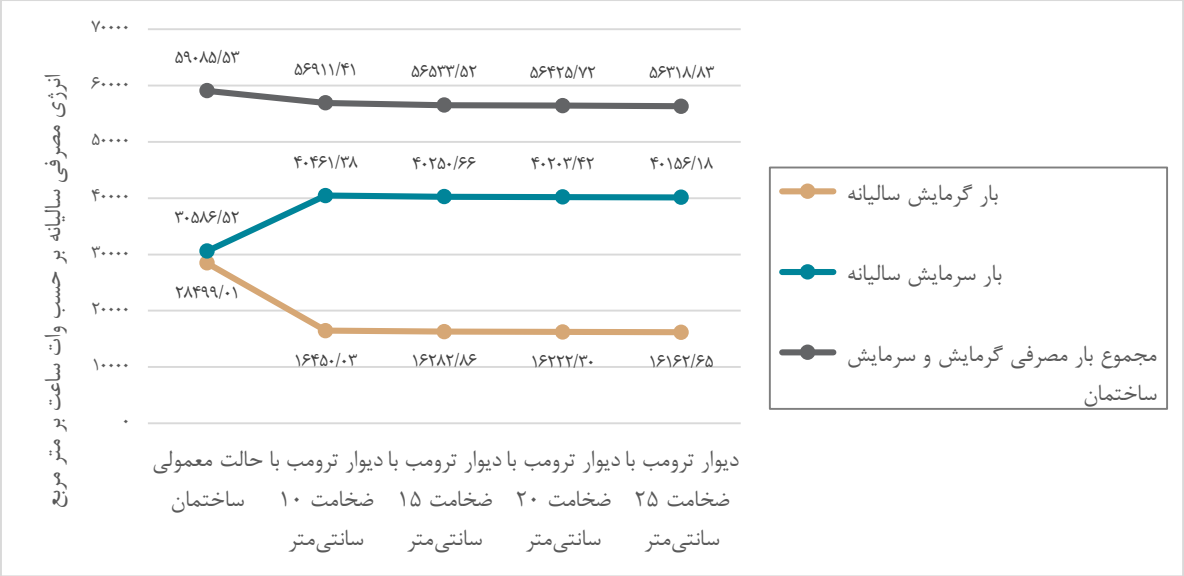


شکل ۹-مصرف انرژی سالیانه ساختمان در سناریوهای چهارگانه دیوار ترومب. منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

بنابراین مقایسه تطبیقی سناریوها نشان می‌دهد که کمترین بار گرمایش سالیانه مربوط به سناریوی ۴ و بیشترین آن مربوط به سناریوی یک است (شکل شماره ۱۰). اگرچه استفاده از دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر در تمام نمای جنوبی به میزان ۴۳,۲۹ درصد بار گرمایش سالیانه را کاهش می‌دهد؛ در مقابل دیوار ترومب بار سرمایش سالیانه ساختمان را نسبت به حالت معمولی افزایش می‌دهد. در نتیجه دیوار ترومب عملکرد مناسبی در فصل گرما ندارد.

مقایسه سناریوها از حیث مجموع بار سرمایش و گرمایش سالیانه نشان می‌دهد که دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر عملکرد بهتری دارد و ساختمان‌های با دیوار ترومب با ضخامت ۲۰، ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر و در نهایت حالت معمولی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

ارزیابی نتایج حاصل از سناریوها حاکی از این است که استفاده از دیوار ترومب با ضخامت ۲۵ سانتی‌متر، بهترین عملکرد را در میان سناریوها نشان می‌دهد. با این حال به دلیل عملکرد نامناسب دیوار ترومب در فصل گرما و افزایش بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان ضروری است تا ضمن اتخاذ راه‌حل‌های مناسب در طراحی معماری ساختمان با حرارت زائد هدایت شده به ساختمان در فصل گرما مقابله کرد.



شکل ۱۰-مقایسه تطبیقی سناریوهای چهارگانه دیوار ترومب با یکدیگر و با حالت معمولی ساختمان از نظر متغیرهای بار گرمایش سالیانه، بار سرمایش سالیانه و مجموع بار مصرفی گرمایش و سرمایش ساختمان. منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

بهینه‌سازی و افزایش کارایی دیوار ترومب پیشنهادی با طراحی معماری مبتنی بر اقلیم

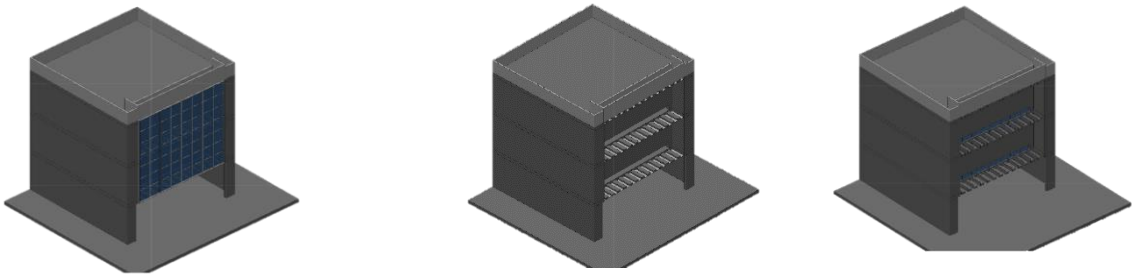
یافته‌های این پژوهش کارایی انرژی ساختمان را در صورت استفاده از دیوار ترومب تأیید می‌کند. به منظور حذف تأثیرات نامطلوب دیوار ترومب در فصول گرم بایستی تغییراتی در طراحی معماری ساختمان ایجاد کرد. اتخاذ راه‌حل‌های مناسب مستلزم شناخت دیوار ترومب به عنوان یک عنصر الحاقی و همچنین ویژگی‌های اقلیمی شهر اصفهان است. دیوار ترومب عنصر ثابت ساختمان محسوب می‌شود، قابلیت انعطاف پذیری ندارد و برای عملکرد مطلوب در جبهه جنوبی ساختمان به عنوان جبهه آفتاب‌گیر استقرار دارد. بنابراین با ایجاد تغییراتی می‌توان افزایش مصرف انرژی سرمایشی را در فصول گرم خنثی کرد. به علاوه با بهره‌گیری از گرمای حاصل شده از تابش خورشید، کوران طبیعی و فشار منفی را در ساختمان ایجاد کرد. بدین ترتیب تهویه طبیعی و جریان باد به خنک کردن ساختمان و متعاقباً کاهش میزان مصرف انرژی سرمایشی در فصول گرم می‌انجامد.

با این تفاسیر، عناصر پیشنهادی در پوسته ساختمان شامل دیوار ترومب، دودکش حرارتی و بازشوها در سقف و کف طبقات در فاصله بین نمای شیشه‌ای و دیوار ترومب است. عملکرد عناصر پیشنهادی به نحوی است که با بسته بودن گشودگی‌های سقف و کف طبقات در فصول سرد و باز کردن گشودگی‌های بین دیوار ترومب و فضای داخلی، انتقال طبیعی هوا بین فضای گرم دیوار ترومب و نما و متعاقباً فضای داخلی انجام می‌شود و موجب گرم شدن فضای داخلی می‌شود. این سازوکار تا آن‌جایی ادامه می‌یابد که گرمای ذخیره شده در دیوار ترومب بیشتر از فضای داخلی باشد و زمانی که این دو فضا به تعادل گرمایی برسند، می‌توان با بستن گشودگی دیوار از اتلاف حرارت در فضای داخلی جلوگیری کرد.

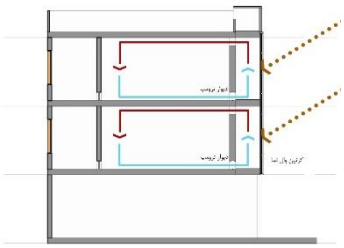
در فصول گرم میزان گرمای ذخیره شده در دیوار ترومب به دلیل تابش شدید خورشید و بالا بودن حرارت محیط نامطلوب است و ممکن است موجب انتقال حرارت به فضای داخلی شود. لذا با لحاظ کردن تمهیداتی می‌توان هوای محبوس در فضا را به جریان انداخت و به منظور خروج هوا بین نما و دیوار ترومب اقدام کرد. از جمله راهکارهای پیشنهادی می‌توان به دودکش حرارتی اشاره کرد. ترکیب دودکش حرارتی با دیوار ترومب موجب می‌شود تا هوا به جریان بیفتد و حرارت ساختمان کاهش یابد. عملکرد دودکش حرارتی به نحوی است که با افزایش دمای زیر سقف دودکش بر اثر تابش مستقیم خورشید، در قسمت فوقانی فشار منفی یا همان مکش ایجاد می‌شود. سپس از طریق باز کردن گشودگی‌های همه طبقات، هوا از پایین به بالا حرکت می‌کند و در نهایت از فضای بین دیوار ترومب و نما خارج می‌شود.

چنانچه در طراحی ساختمان امکان استفاده از کوران شمالی و جنوبی، استقرار حیاط مرکزی و جانمایی نورگیرها و نظایر آن به منظور گردش افقی هوا در طول ساختمان فراهم باشد، با باز کردن گشودگی فوقانی دیوار ترومب، در دیگر گشودگی‌های ساختمان فشار منفی ایجاد می‌شود. آنگاه ترکیب دیوار ترومب با دودکش حرارتی موجب می‌شود تا هوا در فضای داخلی جریان پیدا کند. بدین ترتیب گرما از طریق دودکش حرارتی از ساختمان خارج خواهد شد.

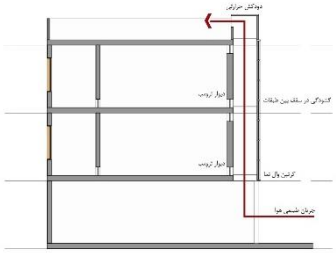
افزایش عملکرد و کارایی دیوار ترومب پیشنهادی در شکل شماره ۱۱ تصویر شده است.



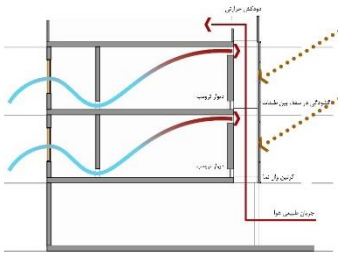
مدل سه بعدی دیوار ترومب پیشنهادی



عملکرد دیوار ترومب پیشنهادی در فصل سرما



عملکرد دیوار ترومب پیشنهادی و دودکش حرارتی در فصل گرما



عملکرد دیوار ترومب پیشنهادی و دودکش حرارتی، ایجاد فشار منفی و کوران طبیعی در فصل گرما

شکل ۱۱-افزایش عملکرد و کارایی دیوار ترومب پیشنهادی در فصول سرد و گرم. منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

نتایج و یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدل ساختمان انرژی نزدیک به صفر به پایداری سیستم انرژی شهری در سمت کاربر نهایی کمک شایان توجهی می‌کند. با توجه به نبود مدل‌ها و استانداردهای مدون در ایران در خصوص ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر، مدل کاربردی پژوهش متناسب با شرایط و ویژگی‌های اقلیم گرم و خشک تدوین شد. نتایج مدل، پژوهشگران را به استفاده از دیوار ترومب در طراحی معماری رهنمون کرد.

شبیه‌سازی رفتار انرژی در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر، نتایج مدل کاربردی را تأیید کرد و نشان داد که دیوار ترومب به عنوان سامانه حرارتی ایستا در کاهش انرژی گرمایشی موردنیاز در فصول سرد، از عملکرد بالایی برخوردار است. با این حال، نیاز به انرژی سرمایشی در فصول گرم را به دلیل ایجاد حرارت زائد داخل ساختمان افزایش می‌دهد. بنابراین ضروری است تا با اتخاذ راه‌حل‌های معماری از قبیل استفاده از دودکش حرارتی و تغییر بازشوها، حرارت زائد در فصول گرم خنثی شود. در نتیجه بهینه‌سازی مصرف انرژی با به‌کارگیری دیوار ترومب همزمان با راه‌حل‌های معماری در فصول سرد و گرم میسر می‌شود. نتایج مدل کاربردی می‌تواند به مثابه یک راهنما و دستورالعمل برای طراحان شهری و معماران در شهر اصفهان و ساختمان‌های با کاربری اداری استفاده شود. همچنین پژوهشگران می‌توانند در تحقیقات آتی با پیگیری مواد و

روش‌های این مقاله، مدل‌های انرژی ساختمان نزدیک به صفر را برای انواع دیگر اقلیم‌های سرزمینی یا سایر کاربری‌های شهری پردازش کنند.

منابع

۱. توسلی، محمود. (۱۳۹۱). *ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران*. تهران: انتشارات پیام و پیوند نو.

۲. حسن‌قلی‌نژاد یاسوری، کبری، و مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۹۸). استانداردهای پایداری در شکل‌گیری ساختار و عناصر معماری اقلیم گرم و خشک. *نشریه علمی-پژوهشی مطالعات هنر اسلامی*، ۱۵ (۳۴)، ۱۸۷-۲۱۴.

۳. معماریان، غلامحسین. (۱۳۷۵). آشنایی با معماری مسکونی ایران (گونه‌شناسی درون‌گرا)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۲۰-۳۲.

۴. یاران، علی، و جعفری، پرستو. (۱۴۰۱). تجزیه‌وتحلیل نقش انرژی غیرفعال در ارزیابی خانه‌های کاشان. *مجلهٔ منظر*، ۱۴(۵۹)، ۴۰-۵۷.

۵. یزدی، یاسمن، مفیدی شمیرانی، سید مجید، و اعتصام، ایرج. (۱۴۰۰). بررسی رابطهٔ اجزای کالبدی خانه‌های بومی اقلیم گرم و خشک ایران (مطالعهٔ موردی: خانه‌های قاجاری یزد). *نشریهٔ علمی باغ نظر*، ۱۸ (۹۶)، ۵۹-۷۶.

6. Amaripadath, D., Rahif, R., Zuo, W., Velickovic, M., Voglaire, C., & Attia, S. (2023), Climate change sensitive sizing and design for nearly zero-energy office building systems in Brussels, *Energy and Buildings*, (286).
7. Aşikoğlu, A., Altin, M., & Bayram, N. S. (2021). Pasif Ev Sertifika Sisteminin Mevcut Binalarda Uygulanmasi: EnerPHit Sertifika Sistemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 1146-1156.
8. Attia, Sh., Kurnitski, J., Kosiński, P., Borodiņecs, A., Deme Belafi, Z., István, K., Krstić, H., Moldovan, M., Visa, I., Mihailov, N., Evstatiev, B., Banionis, K., Čekon, M., Vilčeková, S., Struhala, K., Brzoň, R., & Laurent, O. (2022). Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe, *Energy and Buildings*, (267).
9. Barrutieta, X., Gainza, J., Irulegi, O. & Hernández, R. 2023. The zero building: an exemplary nearly zero energy office building (NZEB) and its potential to become a positive energy building (PEB). *Architectural Science Review*, 66 (3), 214-225.
10. Ben Romdhane, S., Mahjoub, H., Mahjoub Said, N., Jemni, A. (2023). Computational modelling and simulation of Trombe walls as a passive ventilation system under an oceanic climate. *Journal of Taibah University for Science*, 17 (1).
11. Borrallo-Jiménez, M., LopezDeAsiain, M., Esquivias, P.M. & Delgado-Trujillo, D. (2022). Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain. *Energy and Buildings*, (254).
12. Bruno, R., Bevilacqua, P., Cirone, D., Perrella, S., & Rollo, A. (2021). A Calibration of the Solar Load Ratio Method to Determine the Heat Gain in PV-Trombe Walls. *Energies*, 15(328), 1-15.
13. Chan, T., Thi Hai Ha, P., & Thi Khanh Phuong, N. (2022). Method of calculating solar heat transmitted through shaded windows for OTTV in consideration of diffuse radiation diminished. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22 (2), 1-16.
14. Chen, Y., Chen, Z., Wang, D., Liu, Y, & et. al. (2023). Co-optimization of passive building and active solar heating system based on the objective of minimum carbon emissions, *Energy*, (275).
15. Cui, M. (2018). A feasibility study of Trombe wall design in the cold region. *International Conference on Indoor Air Quality Ventilation & Energy Conservation in Buildings*. China.
16. EU, Directive 2018/844/EU. (2018). 22 Temmuz 2021, https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG.
17. European Commission, «Energy, transport and environment indicators. Eurostat», 2012.
18. European Commission, «2020 Climate and energy package». 2017. [En línea]. Disponible en: 2020 Climate and energy package—European Commission, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en.
19. European Commission, «2030 Climate and energy framework». 2018. [En línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en.
20. Gong, Q., Kou, F., Sun, X., Zou, Y., Mo, J., & Wang, X. (2022). Towards zero energy buildings: A novel passive solar house integrated with flat gravity-assisted heat pipes. *Applied Energy*, (306).

21. Li, L., Chen, G., Zhang, L., & Zhou, J. (2021). Research on the application of passive solar heating technology in new buildings in the Western Sichuan Plateau. Energy Reports, (7), 906-914.
22. Ling, L., & Zhou, J. (2021). Research and Application of Solar Energy Heating System for Individual Household in Western Sichuan Plateau. *E3S Web of Conferences 261*.
23. Magrini, A., Lentini, G., Cuman, S., Bodrato, A. & Marenco, L. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*, (3).
24. Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building–A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43 (4), 971-979.
25. Mu˜noz-Liesa, J., Royapoor, M., Cuerva, E., Gass´o-Domingo, S., Gabarrell, X., & Josa, A. (2022). Building-integrated greenhouses raise energy co-benefits through active ventilation systems, *Building and Environment*, (208).
26. Sheikholeslami, M., & Al-Hussein, H. (2023). Modification of heat storage system involving Trombe wall in existence of paraffin enhanced with nanoparticles. *Journal of Energy Storage*, (58).
27. Si, P., Lv, Y., Rong, X., Shi, L., Yan, J., & Wang, X. (2020). An innovative building envelope with variable thermal performance for passive heating systems. *Applied Energy*, (269).
28. Sobczyk, W., & Sobczyk, EJ. (2019). Thermal comfort in a passive solar building. *2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development*. IOP Conf.
29. Vignola, G., Kiracofe, R., Dietrich, U. (2019). Passive Strategies for Buildings in Hot and Dry Climates: Optimisation of Informal Apartment Blocks in Cairo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
30. Wang, D., Hu, L., Du, H., Liu, Y., Huang, J., Xu, Y., & Liu, J. (2020). Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (124).
31. Yang, S., Dewancker, B J., & Chen, S. (2021). Study on the Passive Heating System of a Heated Cooking Wall in Dwellings: A Case Study of Traditional Dwellings in Southern Shaanxi, China, *International Journal of Environmental Research and Paublic Health*, 18 (7).
32. Zacà, I., D'Agostino, D., Congedo, P.M, Baglivo, C. (2015). Assessment of cost-optimality and technical solutions in high performance multi-residential buildings in the Mediterranean area, *Energy and Buildings*, (102), 250–265.
33. Zhao, J., Liu, D., & Lu, S. (2022). Research on the Indoor Thermal Environment of Attached Sunspace Passive Solar Heating System Based on Zero-State Response Control Strategy. *Applied Sciences*, 12 (855), 1-22.