بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه معماری و محیط پایدار

**دوره دوم، شماره ۵، بهار ۱۴۰۳**

**صاحب امتیاز :** دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

# فهرست


❖ **بهینه‌سازی انرژی در فصول سرد و گرم با بهره‌گیری از دیوار ترومب در ساختمان‌های اداری.....۱-۱۴**

سینا ملک‌احمدی، حمید ماجدی، راضیه لبیب‌زاده

❖ **بازشناسی سیر تحولی بهرهگیری از نور روز در مدارس به منظور بهبود عملکرد کاربران فضا.....۱۵-۳۰**

رومینا خلیل‌زاده اقدمی؛ سید مجید مفیدی شمیرانی؛ منصوره طاهباز

❖ **واکاوی تاثیر خانه‌های درونگرا در اقلیم گرم و خشک بر سلامت روان ساکنان و بازتاب آن در سناریو آینده‌پژوهی خانه‌ها (مورد پژوهی: خانه‌های سنتی شهر یزد با معماری کهن‌الگو ).....۳۱-۴۸**

مهسا آقایی، لیلا زارع

❖ **بررسی شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار شهری در جهت ارتقاء فضاهای شهری.....۴۹-۶۴**

محمد مهدی زاهدی، نرگس نونژاد

❖ **ارزیابی عملکرد مصالح بازیافتی نوین با کاربرد عایق حرارتی در جداره‌های ساختمانی.....۶۵-۷۸**

آرام میرمطهری، مهسا رهنمائی ذکاوت و سیده مامک صلواتیانگر

❖ **ارزیابی و رتبه‌بندی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد.....۷۹-۹۲**

الهام مقیمی شهری، محسن وفامهر

**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 تلیفق 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

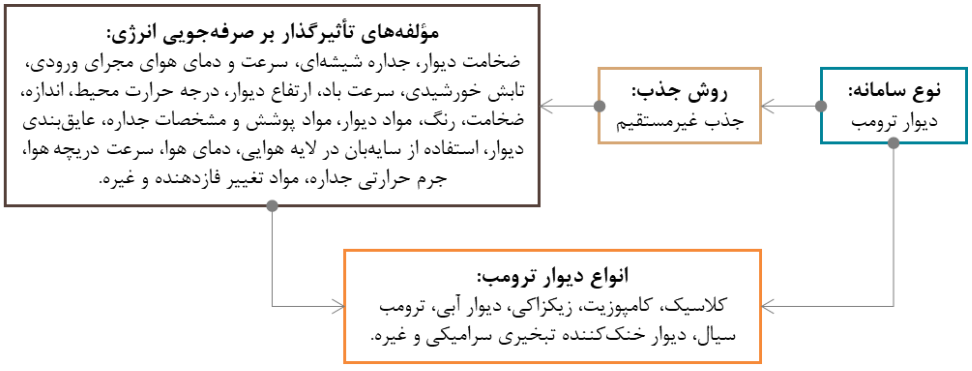
با توجه به شرایط بحران انرژی نیاز ضمنی به بهینه‌سازی طراحی ساختمان وجود دارد که ترکیبی از راه‌حل‌های ایستا و اقدامات صرفه‌جویی در انرژی است (Zacà etal., 2015). برای طراحی متناسب با اقلیم و بهره‌مندی از انرژی‌های پاک مانند انرژی ایستا، شناخت انواع آن الزامی است. انرژی ایستا از آن دسته انرژی‌های تجدیدپذیر 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.

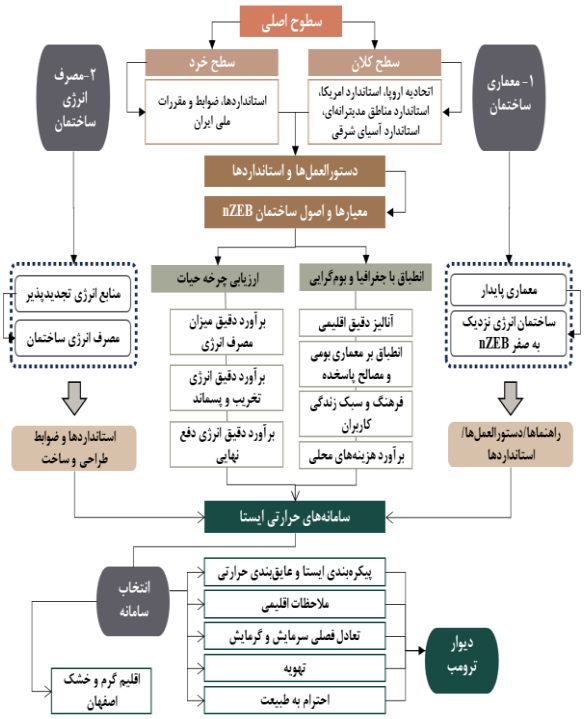



**شکل ۱-معرفی سامانه دیوار ترومب** (ترسیم: نگارندگان)

## 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.



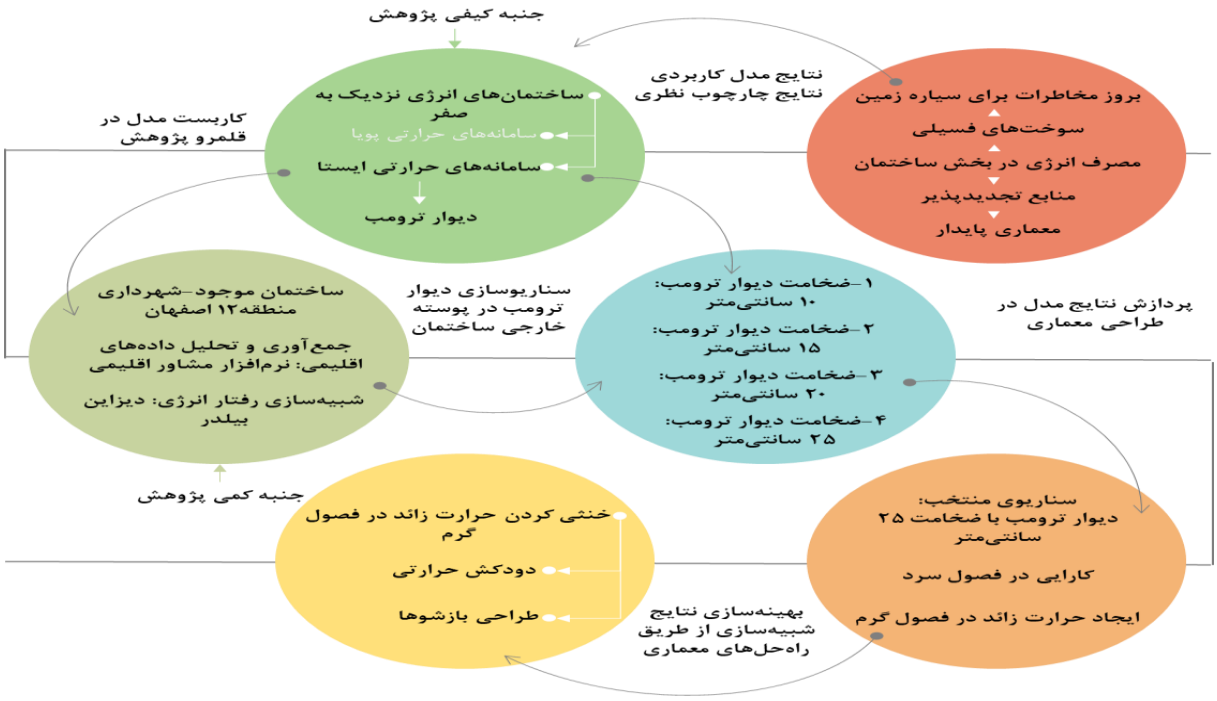

**شکل ۲-مدل کاربردی ساختمان انرژی نزدیک به صفر** (ترسیم: نگارندگان)

**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).

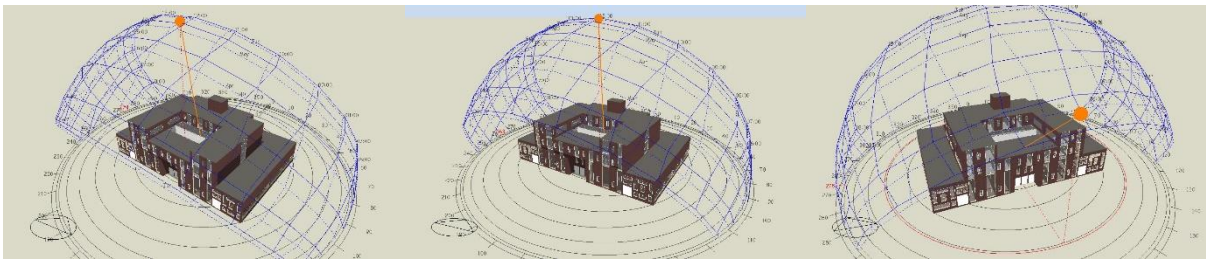
**شکل ۵-نمایی از شهرداری منطقه ۱۲ (راست) و موقعیت استقرار شهرداری منطقه ۱۲ در شهر اصفهان (چپ)**

## 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

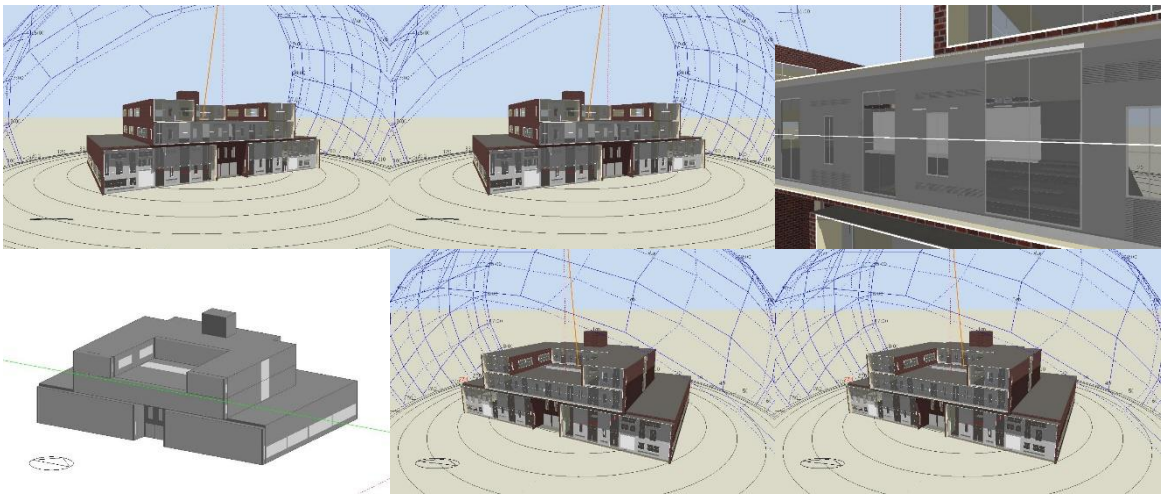
اصفهان بوده است. شکل شماره ۶، تنظیمات مربوط به نرم‌افزار دیزاین بیلدر و انتخاب استانداردهای مربوط به فضاهای اداری و تعیین وسایل گرمایشی و سرمایشی رایج در ایران و جزئیات اجرایی دیوار را نشان می‌دهد.



**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:

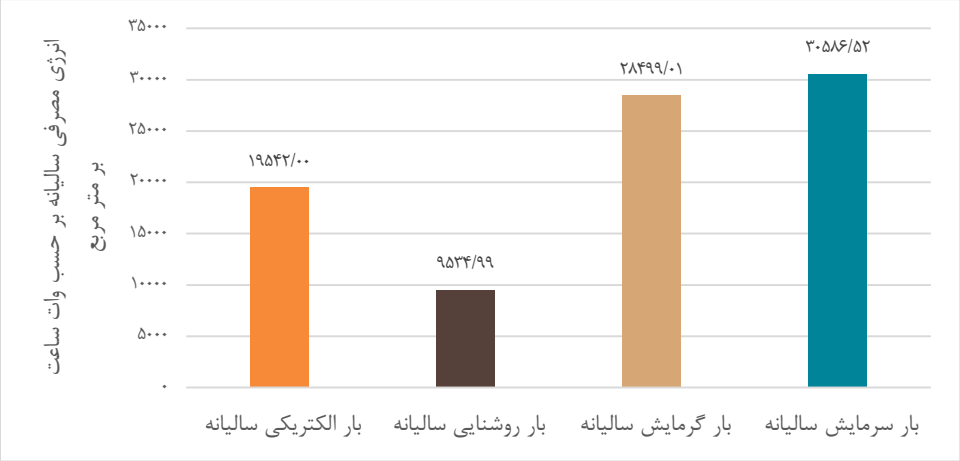
سناریو ۱-دیوار ترومب با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر

سناریو ۲- دیوار ترومب با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر

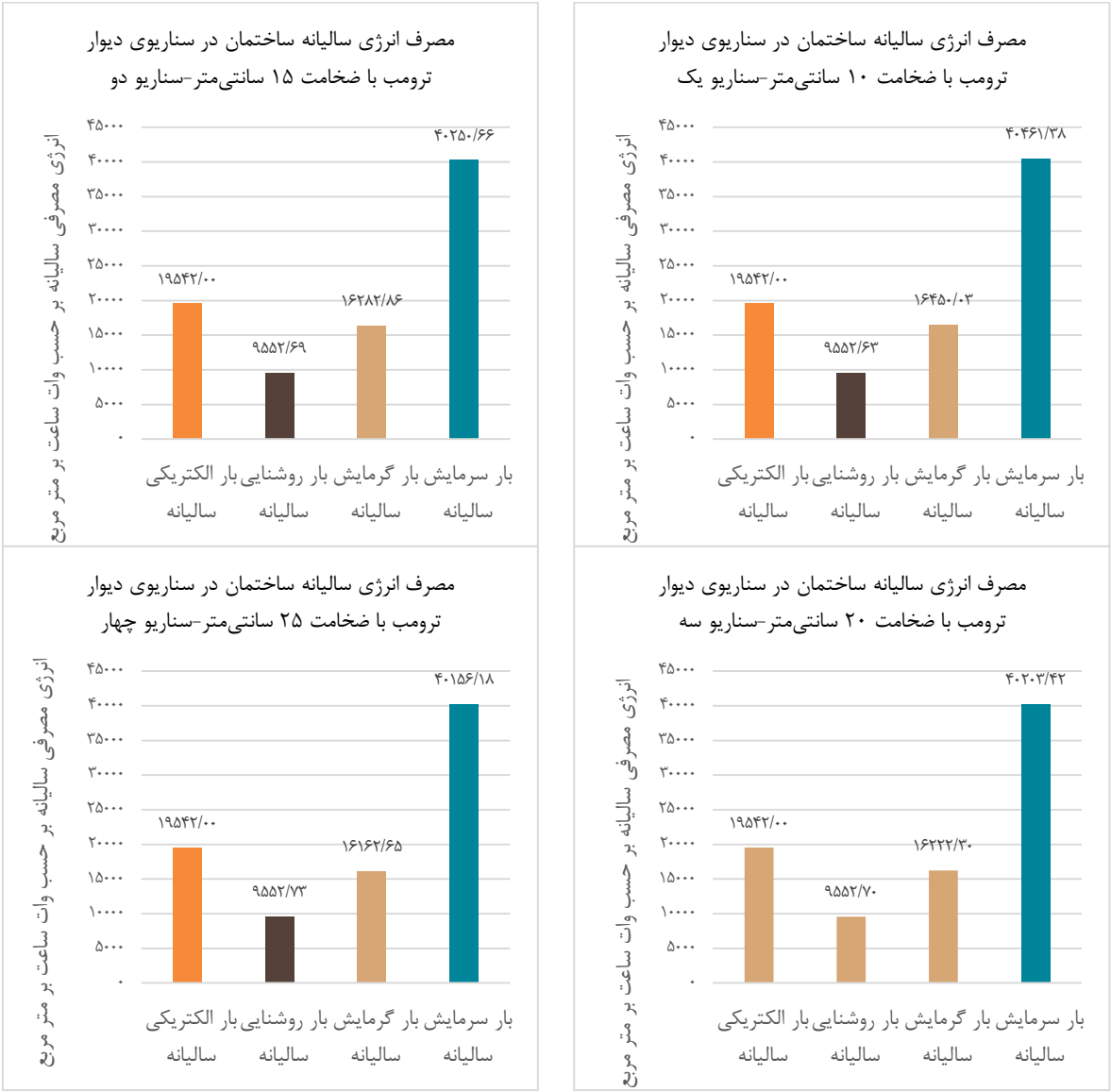
سناریو ۳- دیوار ترومب با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر

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.

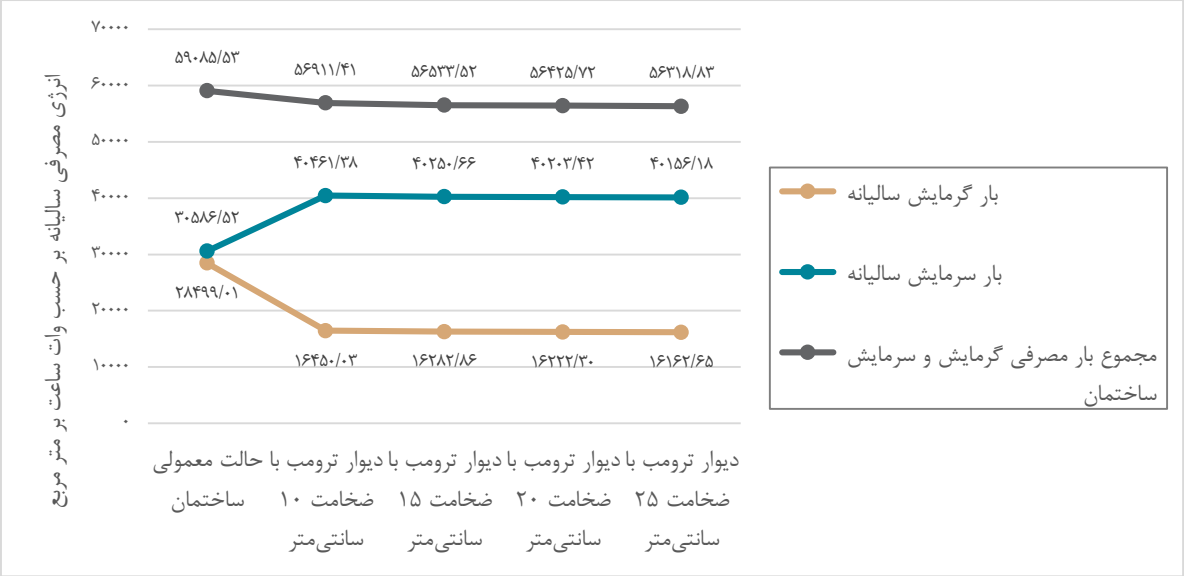



**شکل ۹-مصرف انرژی سالیانه ساختمان در سناریوهای چهارگانه دیوار ترومب.** منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۲.

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

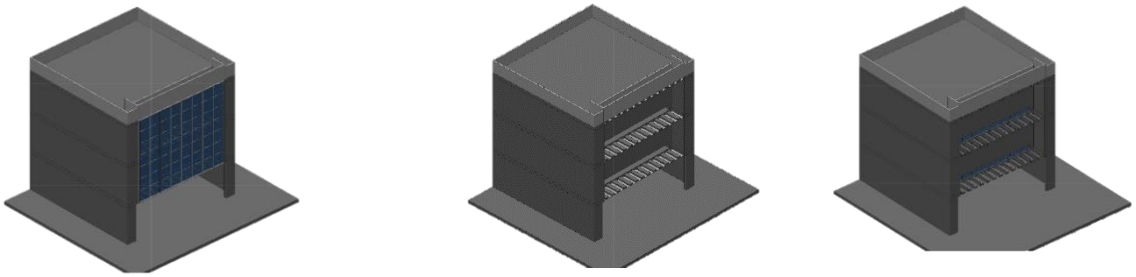
یافته‌های این پژوهش کارایی انرژی ساختمان را در صورت استفاده از دیوار ترومب تأیید می‌کند. به منظور حذف تأثیرات نامطلوب دیوار ترومب در فصول گرم بایستی تغییراتی در طراحی معماری ساختمان ایجاد کرد. اتخاذ راه‌حل‌های مناسب مستلزم شناخت دیوار ترومب به عنوان یک عنصر الحاقی و همچنین ویژگی‌های اقلیمی شهر اصفهان 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.

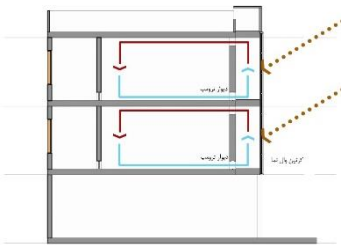
در فصول گرم میزان گرمای ذخیره شده در دیوار ترومب به دلیل تابش شدید خورشید و بالا بودن حرارت محیط نامطلوب است و ممکن است موجب انتقال حرارت به فضای داخلی شود. لذا با لحاظ کردن تمهیداتی می‌توان هوای محبوس در فضا را به جریان انداخت و به منظور خروج هوا بین نما و دیوار ترومب اقدام کرد. از جمله راهکارهای پیشنهادی 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.

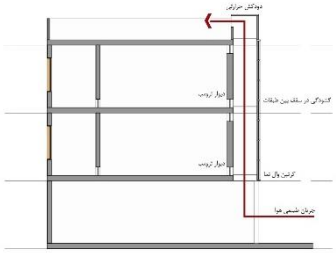
افزایش عملکرد و کارایی دیوار ترومب پیشنهادی در شکل شماره ۱۱ تصویر شده است.



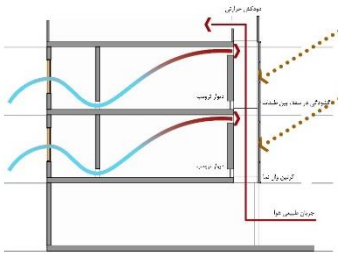
مدل سه بعدی دیوار ترومب پیشنهادی



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.

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

**Research Paper**

# Recognizing the Evolutionary Process of Using Daylight in Schools With Improving Users Performance Approach

**Romina Khalilzadeh Aghdami:** Department of Art and Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
**Seyed Majid Mofidi Shemirani*:** Assistant Professor, Iran University of Science and Technology, School of Architecture and Environmental Design, Tehran, Iran
**Mansoureh Tahbaz:** Associate Professor, Shahid Beheshti University, School of Architecture, Tehran, Iran

**Received:** 2024/04/07 **PP** 15- 30 **Accepted:** 2024/07/29

## Abstract
Learning and education are important parts of every person's life. Schools play the most important role in societies regarding the education of the next generation. Using daylight in designing schools has attracted the attention of designers over the years, and besides improving the efficiency of students, it affects their physical and mental health. Due to performing visual activities in the classroom, it requires qualitative light and providing quantity alone is not effective. Centuries ago, researchers have conducted studies related to the daylight using in schools, and the investigation of this trend indicates daylight using in educational environments. Considering the occurrence of energy crisis in the world and the need to use energy as a factor for growth, development and exercise of the countries power, the use of renewable energy is an undeniable necessity. Daylight using is a factor for participation in reducing energy consumption, and providing environmental comfort requires investigating the factors affecting the quality of received daylight. In order to provide environmental comfort and prevent disturbing glare, it is necessary to design the windows according to the space in order to achieve the criteria of daylight desirability, including the uniformity and useful daylight illuminance. The purpose of this study is to investigate the evolutionary process of using daylight in schools in order to recognize the effects of events in these changes. For this purpose, changes have been investigated with positivist philosophy based on empirical sciences and with inductive reasoning approach. Finally, the development of daylight in schools is affected by the three principles of growth and development of technology, the energy debate, as well as the development of educational theories, and the need to use the appropriate algorithm to use the potential of solar energy in schools with the aim of achieving visual comfort and energy efficiency is proven.

**Keywords:** Daylight, School, Performance Improvement, Environmental Comfort, Energy Efficiency

**Citation:** Khalilzadeh Aghdami, R., Mofidi Shemirani, S. M., & Tahbaz, M. (2024). **Recognizing the Evolutionary Process of Using Daylight in Schools With Improving Users Performance Approach,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 15-30.

*. **Corresponding author:** Seyed Majid Mofidi Shemirani, **Email:** S_m_mofidi@iust.ac.ir, **Tel:** +98 9125116488

## Extended Abstract

### Introduction

Utilization of daylight is a factor for participation in reducing energy consumption, and providing visual comfort requires investigating the factors affecting the quality of received daylight. Visual comfort is affected by the static and dynamic criteria of daylight, and in order to prevent glare that disturbs comfort, lack of uniformity and useful daylight illuminance as daylight criteria, as well as increasing the thermal load on the building, the windows should be designed according to Design the space. Learning and education are important parts of every person's life. Every person spends many years of his life in schools. These buildings play the most important role in societies in the field of education of the future generation. Several factors influence the improvement of classroom quality and student performance. In order to improve students' performance, it is important to examine the physical variables of the classroom structure due to the visual nature of the activities in this environment. The design of the class, from dimensions and proportions to materials and the amount of light reception and sound reflection, should be studied so that students study in an environment away from visual and auditory problems. Considering that a large part of the learning process happens through seeing, the quantity and quality of received daylight is very important. Studies show that the use of daylight in the design of schools has been the focus of designers over the years, and in addition to improving the efficiency of students in the academic process, it has an impact on their physical and mental health. Since centuries ago, researchers have conducted studies related to the use of daylight in schools, and the investigation of this trend shows the importance of using daylight in the educational environment.

### Methodology

The methods chosen to answer questions and problems are different according to the type of situation. The current research has a positivist philosophy and is based on experimental sciences. The approach of the research is inductive reasoning, and based on observation and investigation of the evolutionary process of using daylight and the effects of events in these changes, inferences are made about them. This article is of a practical type because it seeks to develop practical knowledge in the field of daylight in educational spaces and provide visual comfort and energy efficiency. It is a longitudinal survey to investigate the use of daylight and the improvement of environmental conditions. The data in this article is qualitative and the research method and data collection is based on extensive library studies.

### Results and discussion

Excessive use of daylight leads to glare and visual discomfort in the space, as well as thermal load on the building. Examining the evolution of using daylight shows that, over time, daylight in schools is sometimes completely removed according to the current knowledge and the needs of the user, and sometimes the educational space is moved to the open environment to make maximum use of natural light. Is. The development of daylight in schools can be imagined as a pendulum movement back and forth, from small windows to the demand for larger windows, from windowless classrooms to passive solar schools, and this path continues according to the advancement of technology and the development of societies. It is always changing to achieve the best environmental conditions for the user. Considering the occurrence of energy crisis in the world and the need to use energy as a factor for the growth, development and exercise of the power of countries, the use of renewable energy is an undeniable necessity. Considering the high potential of solar energy in Iran, the use of solar energy can be a suitable solution to provide the required lighting for the classroom without wasting energy. In addition to historical issues, examining this trend requires attention to influential factors. The energy crisis as well as the improvement of spatial quality have been two influencing factors on the changes in the use of daylight during these years. The learning space is an environment for the education of the future generation, in addition, it should be focused on the education process as well as the control of the physical and mental health of the students. Therefore, providing visual comfort as well as energy efficiency are two serious elements in the discussion of daylight that must be evaluated.

## Conclusion

The purpose of this study is to investigate the evolutionary process of using daylight in schools in order to recognize the effects of events in these changes. For this purpose, changes have been investigated with positivist philosophy based on empirical sciences and with inductive reasoning approach. Finally, the development of daylight in schools affected by the three principles of growth and development of technology, energy discussion and the development of educational theories was evaluated and the need to use the appropriate algorithm to use the potential of solar energy in schools with the aim of achieving visual comfort and benefit Energy is proven. The importance of learning environments due to the presence of students as the future generation, focusing on their educational process and also paying attention to the control of the physical and mental health of students are among the things that are important regardless of providing the amount of daylight in educational spaces. It is located and shows the need to provide visual comfort in this space. It is hoped that the architects will examine the previous mistakes and that the changes in philosophy and technological progress will show the continuous improvement of daylight development, not just a cycle to return to the current situation. In addition, in recent years, most of the research on daylight has shifted from carrying out specific visual activities to understanding the qualitative aspects of light, although previous studies on the qualitative and psychological effects of lighting are very scattered and lack a common plan to guide researchers. Achieving optimal daylight, visual comfort, and energy efficiency is something that can be achieved according to the path taken by the use of daylight.

## References


1. Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Ghorbani, N., et al. (2018). Analysis of 100% renewable energy for Iran in 2030: integrating solar PV, wind energy and storage. International Journal of Environmental Science and Technology, 15, 17–36. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1373-4
2. Al-Obaidi, K. M., Munaaim, M. A. C., Ismail, M. A., & Rahman, A. M. A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. Solar Energy, 149, 85-101.
3. ANSI IESNA- RP-3-13. (2014). American National Standard Practice on Lighting for Education Facilities. Illuminating Engineering Society of North America, p. 30.
4. Atre, U. V. (2003). Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school (Unpublished master's thesis). Texas A & M University, College Station, TX.
5. Baker, L. (2012). A history of school design and its indoor environmental standards, 1900 to today. National Clearinghouse for Educational Facilities. New York.
6. Baker, N., & Steemers, K. (2002). Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers. James & James, London, UK.
7. Booth, R. (2008, July 21). £35bn revamp will produce generation of mediocre schools. The Guardian. https://www.theguardian.com/politics/2008/jul/21/education.secondaryschools
8. Boubakri, M. (2018). Natural lighting: Design strategies for buildings with an architectural and health perspective (M. Zahhtab, Trans.). Tamer Publications. Tehran. [In Persian]
9. Boubekri, M. (2014). Daylighting design: Planning strategies and best practice solutions. Birkhauser, Boston.
10. BS 8206-2: 2008. Lighting for Buildings-Part 2: Code of Practice for Daylighting.
11. BS EN 12665:2011. Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.
12. Building Research Institute. (1959). Building illumination: The effect of new lighting levels. National Academy of Sciences, National Research Council.
13. Byrd, H. (2012). Post-occupancy evaluation of green buildings: The measured impact of over-glazing. Architectural Science Review, 55(3), 206-212.
14. Castaldi, B. (1969). Creative planning of educational facilities. Chicago, IL: Rand McNally & Co. https://archive.org/details/creativeplanning0000unse_e3m2/page/n9/mode/2up
15. Choi, H., Hong, S., Choi, A., & Sung, M. (2016). Toward the accuracy of prediction for energy savings potential and system

performance using the daylight responsive dimming system. Energy and Buildings, 133(Supplement C), 271-280.

**16.** CHPS (The Collaborative for High Performance Schools). (2002). Best practices manual daylighting. Sacramento: CHPS.

**17.** Code for Interior Lighting. (1977). Chartered Institution of Building Services. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

**18.** Code for Interior Lighting. (1984). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, UK.

**19.** Derek, P. (1997). Lighting historic buildings. Butterworth-Heinemann, Boston.

**20.** Derek, P. (2004). Daylighting: Natural light in architecture (1st ed.). Architectural Press, Oxford, UK.

**21.** Doulos, L. T., Tsangrassoulis, A., Kontaxis, P. A., Kontadakis, A., & Topalis, F. V. (2017). Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming. Energy and Buildings, 140, 336–347. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.013

**22.** Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality: Measurements in experimental office rooms. Lund University, Sweden.

**23.** Dubois, M. C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European low-energy office buildings: A literature review. Energy and Buildings, 43(10), 2572-2582.

**24.** Dubois, M. C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy in buildings: A literature review. Energy Research Journal, 6, 25-41.

**25.** Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. Applied Energy, 97, 101-114.

**26.** Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Koster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings: Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1-13.

**27.** Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. Energy and Buildings, 38, 728-742. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001

**28.** Gelfand, L., & Freed, E. C. (2010). Sustainable school architecture: Design for elementary and secondary schools (1st ed.). Wiley.

**29.** Ghosh, A., & Norton, B. (2018). Advances in switchable and highly insulating autonomous (self-powered) glazing systems for adaptive low energy buildings. Renewable Energy, 126, 1003–1031.

**30.** Gregg, A. (1995). Daylighting performance and design. Van Nostrand Reinhold.

**31.** Haase, M., & Grynning, S. (2017). Optimized façade design: Energy efficiency, comfort, and daylight in the early design phase. Energy Procedia, 132, 484-489.

**32.** Hamlin, A. D. F. (Ed.). (1910). Modern school houses: Being a series of authoritative articles on planning, sanitation, heating, and ventilation (Vol. 1). Swetland Publishing Co.

**33.** Hamon, R. L. (1948). Needed research in the school-plant field. Review of Educational Research, 18(1), 5-12.

**34.** Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 323-343.

**35.** Heidari, S. (2012). Architecture and lighting (2nd ed.). University of Tehran Press. Tehran. [In Persian]

**36.** Heidari, S. (2018). Introduction to research methods in architecture with an analytical perspective on architectural thesis writing. Fekr-e Novo Publications. Tehran. [In Persian]

**37.** Heidari, S., & Jahani Noogh, M. (2014). Thermal comfort in architecture: The first step in energy consumption savings. University of Tehran Press. [In Persian]

**38.** Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. ASHRAE Journal, 44, 65-67.

**39.** Hobday, R. (2016). Myopia and daylight in schools: A neglected aspect of public health?

Perspectives in Public Health, 136(1), 50-55. https://doi.org/10.1177/1757913915576679

**40.** Hosseinpourian, S. (2011). The role of children in shaping environmental spaces. Architecture and Culture Journal, 46, 40-46. [In Persian]

**41.** Illuminating Engineering Society of North America. (2000). IESNA lighting handbook (9th ed.). IESNA.

**42.** Illuminating Engineering Society. (2012). LM-83-12: Approved method: IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). https://www.techstreet.com/standards/ies-lm-83-12?product_id=1853773

**43.** International Energy Agency. (2010). Daylighting in buildings. AECOM.

**44.** Jahangir, M. H., & Rashidi, R. (2022). Optimizing energy consumption in an educational building using physical scenarios. Urban and Regional Planning, 1(1), 73-88. https://doi.org/10.22034/jprd.2022.15046 [In Persian]

**45.** Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The 'adaptive zone': A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research & Technology, 44(2), 149-170. https://doi.org/10.1177/1477153511420097

**46.** Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., et al. (2020). Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology, 52, 423–442.

**47.** Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology, 12(4), 305-317. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9

**48.** Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (4th ed.). John Wiley & Sons.

**49.** Leslie, R. P., Raghavan, R., & Howlett, O. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. Lighting Research & Technology, 37(1), 21-38.

**50.** Mahdavinia, M. J., Tahbaz, M., & Dolatabadi, M. (2016). Optimization of proportions and use of light-reflecting materials in classroom architecture. Journal of Fine Arts – Architecture and Urban Planning, 21(2), 81-92. [In Persian]

**51.** Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. Lighting Research & Technology, 27(4), 181-188. https://doi.org/10.1177/14771535950270040701

**52.** Mardaljevic, J. (2001). The BRE-IDMP dataset: A new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Lighting Research & Technology, 33(2), 117-134. https://doi.org/10.1177/13657828010330020 9

**53.** Mardaljevic, J. (2021). The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. Lighting Research & Technology, 53(5), 489-513. https://doi.org/10.1177/14771535211022145

**54.** Marks, J. (2009). A history of educational facilities laboratories (EFL). National Clearinghouse for Educational Facilities, Funded by the U.S. Department of Education.

**55.** Mayhoub, M. S. (2014). Innovative daylighting systems' challenges: A critical study. Energy and Buildings, 80, 394-405. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019

**56.** McGuffey, C. (1982). Facilities. In H. J. Walberg (Ed.), Improving educational standards and productivity. McCutchan Publishing.

**57.** Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, 116, 190-205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009

**58.** Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research & Technology, 37(1): 41-59.

**59.** NCSC (Ed.). (1964). NCSC Guide for Planning School Plants. National Council on Schoolhouse Construction.

**60.** Office of Electricity and Energy Affairs, Department of Planning and Macro-Economics of Electricity and Energy. (2022). Energy balance sheet for 2020. Ministry of Energy. [In Persian]

**61.** Office of Planning and Economics, Department of Information Technology and

Statistics. (2019). Monthly report on the statistics of the water and electricity industry. Ministry of Energy. [In Persian]

**62.** Osterhaus, W. K. E. (1993). Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations. In Proceedings of the 1993 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto. New York, NY: IEEE.

**63.** Pandharipande, A., and Newsham, G. R. (2018). Lighting controls: Evolution and revolution. Lighting Research & Technology, 50, 115-128.

**64.** Ponmalar, V., and Ramesh, B. (2014). Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai. Energy Engineering, 111(4), 59-80.

**65.** Rea, M. S. (2012). The Trotter Paterson Lecture 2012: Whatever Happened to Visual Performance? Lighting Research & Technology, 44(2), 95-108. https://doi.org/10.1177/1477153512441163

**66.** Rea, M. S. (Ed.). (2000). The IESNA lighting handbook: reference & application (9th ed.). New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.

**67.** Reinhart, C. F., and Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions – a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. Energy and Buildings, 32(2), 167-187. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6

**68.** Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., and Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. LEUKOS, 3(1), 7-31. https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001

**69.** Reinhart, C., and Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. Energy and Buildings, 33(7), 683-697.

**70.** Robson, E. R. (1972). School architecture. Leicester University Press.

**71.** Russell, S. (2012). The architecture of light: A textbook of procedures and practices for the architect, interior designer, and lighting designer (2nd ed.). Walnut, CA: Conceptnine.

**72.** Shen, E., Hu, J., and Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies. Building and Environment, 78, 155-170.

**73.** Simson, R., Fadejev, J., Kurnitski, J., Kesti, J., and Lautso, P. (2016). Assessment of Retrofit Measures for Industrial Halls: Energy Efficiency and Renovation Budget Estimation. Energy Procedia, 96, 124-133.

**74.** Taylor, A., and Enggass, K. (2008). Linking Architecture and Education: Sustainable Design of Learning Environments. University of New Mexico Press.

**75.** Tregenza, P., and Mardaljevic, J. (2018). Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. Lighting Research & Technology, 50(1), 63-79. https://doi.org/10.1177/1477153517740611

**76.** Ward, G. J. (1991). RADIANCE Visual Comfort Calculation. Rapport interne, LESO, EPFL.

**77.** Weinstein, C. S. (1979). The Physical Environment of the School: A Review of the Research. Review of Educational Research, 49(4), 577-610. https://doi.org/10.3102/00346543049004577

**78.** Wienold, J. (2007). Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis. International Building Performance Simulation Association, 1197-1204.

**79.** Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 959-968. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061

**80.** Wu, W., and Ng, E. (2003). A Review of the Development of Daylighting in Schools. Lighting Research & Technology, 32(2), 111-125.

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

مقاله پژوهشی

# بازشناسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بهبود عملکرد کاربران فضا

**رومینا خلیل‌زاده اقدمی:** دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
**سید مجید مفیدی شمیرانی[۱]:** عضو هیات دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه معماری و شهرسازی، تهران، ایران
**منصوره طاهباز:** دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت:۱۴۰۳/۰۲/۰۸صص ۳۰-۱۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

## چکیده

یادگیری و آموزش بخش مهمی از زندگی هر فرد است. محیط‌های یادگیری با توجه به تربیت نسل بعدی بیشترین نقش را در جوامع بر عهده دارند. استفاده از نور روز در طراحی مدارس در طول سال‌ها مورد توجه طراحان بوده و علاوه بر بهبود کارایی دانش‌آموزان بر سلامت جسمی و روانی آن‌ها تاثیرگذار است. باتوجه به انجام فعالیت‌های بصری در کلاس، این محیط نیازمند نور روز با کیفیت است و تامین کمیت به تنهایی موثر واقع نمی‌شود. از قرن‌های پیش محققان در ارتباط با بهره‌گیری از نور روز در مدارس مطالعاتی را انجام داده‌اند که بررسی این روند نشان دهنده تاکید بر لزوم بهره‌گیری از نور روز در فضای آموزشی است. باتوجه به وقوع بحران انرژی در دنیا و لزوم بهره‌گیری از انرژی به عنوان عاملی جهت رشد، توسعه و اعمال قدرت کشورها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ضرورتی قابل انکار است. بهره‌گیری از نور روز عاملی برای مشارکت در تقلیل مصرف انرژی است و تامین آسایش محیطی نیازمند بررسی عوامل تاثیرگذار بر کیفیت نور روز دریافتی است. به منظور تامین آسایش محیطی و جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش، نیاز است شاکله بندی پنجره‌ها متناسب با فضا طراحی شود تا به معیارهای مطلوبیت نور روز از جمله یکنواختی و روشنایی مفید نور روز دست یافت. بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بازشناسی تاثیرات وقایع در این تغییرات هدف پژوهش حاضر است. به همین منظور با فلسفه اثبات گرایانه بر پایه علوم تجربی و با رویکرد استدلال استقرایی به بررسی تغییرات پرداخته شده‌است. نهایتا توسعه نور روز در مدارس متاثر از سه اصل رشد و پیشرفت فناوری، بحث انرژی و همچنین پیشرفت نظریه‌های آموزشی ارزیابی شده و لزوم بهره‌گیری از الگوریتم مناسب جهت استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی در مدارس با هدف دستیابی به آسایش بصری و بهره‌وری انرژی به اثبات می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** نور روز، مدرسه، بهبود عملکرد، آسایش محیطی، بهره‌وری انرژی

**استناد:** خلیل زاده اقدمی، رومینا؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید و طاهباز، منصوره (۱۴۰۳). **بازشناسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بهبود عملکرد کاربران فضا،** *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۱۵-۳۰.

[۱] **نویسنده مسئول:** سید مجید مفیدی شمیرانی، **پست الکترونیکی:** S_m_mofidi@iust.ac.ir، **تلفن:** ۰۹۱۲۵۱۱۶۴۸۸

## مقدّمه

در دهه‌های اخیر، بحث بحران انرژی و آسیب‌های زیست محیطی و ژئوپلیتیکی سوخت‌های فسیلی، منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و بهبود کیفیت روشنایی در طراحی بناها شده‌است. با وجود پیشرفت‌های گسترده در بحث روشنایی، همچنان نور روز از کیفیت و ارزش بالاتری به لحاظ تامین آسایش بصری و همچنین بهبود شرایط فیزیکی و روانی کاربران برخوردار است. نور روز علاوه بر اثرات روانی و فیزیولوژیکی در حوزه سلامت کاربران، سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی ساختمان می‌شود (Galasiu & Veitch, 2006: 730). در ایران براساس آمار سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی برق (ساتبا) ۲۰ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به روشنایی است .که درصورت بهره گیری از نور روز می‌توان این مقدار را ۲۰ درصد و در شرایط خاص تا ۶۰ درصد کاهش داد (Doulos & et al., 2017: 339)

باوجودیکه بهره‌گیری سطح وسیعی از نورگذر در فضاها ممکن است مصرف انرژی روشنایی را کاهش دهد، اما به منظور جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش و یا عدم یکنواختی و همچنین افزایش احتمالی بار حرارتی وارد بر ساختمان، باید شاکله بندی پنجره‌ها به صورت دقیق و متناسب با فضا طراحی شوند. بنابراین یکی از اصلی‌ترین وظایف تیم‌های طراحی ایجاد تعادل میان پدیده‌های متضاد، در راستای دستیابی به آسایش بصری و حرارتی است. به این ترتیب تامین روشنایی روز کافی همراه با یکنواختی، باید در مراحل طراحی برطرف شود. نور روز را می‌توان به روش‌های مختلفی به فضای داخلی هدایت کرد. برخی از این روش‌های فقط به تامین روشنایی در نزدیک‌ترین فاصله با عنصر می‌پردازند و برخی می‌توانند به کمک انعکاس‌های پیاپی نور روز را به عمق فضا هدایت کنند. توزیع نور روز به صورت طبیعی در فضاهای عمیق یکنواخت نبوده و بدون نور مصنوعی به ویژه در مناطق با فاصله از پنجره، به اندازه کافی روشن نمی‌شود. به همین منظور باید از سیستم های خورشیدی که وظیفه اصلی آن‌ها هدایت بخش قابل توجهی از شار نوری به سمت سقف به منظور ایجاد انعکاس است استفاده شود تا ضمن توزیع متعادل‌تر نور روز، منجر به کاهش خیرگی در نزدیکی پنجره‌ها شود (Mayhoub, 2014: 397).

استفاده از نور روز در طراحی مدارس، در طول سال‌ها مورد توجه طراحان بوده‌است ( Wu & Ng, 2003: 114). نور روز علاوه بر تاثیر مثبت بر عملکرد دانش‌آموزان و ارتقا شرایط زیستی سالم، سبب کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود (Kuller & Lindsten, 1992: 307). سال‌های زیادی است که انرژی مصرفی در تمام جهان از منابع فسیلی تامین می‌شود. اما با توجه به پایان پذیر بودن این منابع و همچنین اثرات مخرب زیست محیطی آن‌ها که به واسطه‌ی سوختن این منابع ایجاد می‌شود، ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جایگزینی انرژی‌های تجدید پذیر جهت همراهی با محیط زیست و کاهش آلودگی وجود دارد. بنابراین استفاده از نور روز در مدارس یک گزینه بسیار مهم و بین‌المللی است ( Meresi, 2016: 195). در طول تاریخ مطالعات و تغییرات بسیار در طراحی سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها انجام شده تا ضمن تامین بهترین نور روز برای کاربران و توزیع یکنواخت آن در سطح فضا، منجر به کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی شود ( Wong, 2017: 961). هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس و ارائه الگوریتم مناسب جهت تامین آسایش بصری و بهره‌وری انرژی ضمن تامین نور روز مورد نیاز در فضای آموزشی است.

## مواد و روش تحقیق

روش‌هایی که برای پاسخ به سوالات و معضلات انتخاب می‌شوند متناسب با نوع شرایط متفاوت است. پژوهش حاضر دارای فلسفه اثبات گرایانه بوده و برپایه علوم تجربی استوار است. رویکرد پژوهش استدلال استقرایی است و برمبنای مشاهده و بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز و تاثیرات وقایع در این تغییرات، استنباط درباره آن‌ها انجام می‌شود. این مقاله از آن جهت که به دنبال توسعه دانش کاربردی در زمینه نور روز در فضاهای آموزشی و تامین آسایش بصری و بهره‌وری انرژی است، از نوع کاربردی بوده و با توجه به اینکه داده‌ها در طول زمان گردآوری شده‌اند تا ارتباط میان بهره‌گیری از نور روز و بهبود شرایط محیطی بررسی شود، از نوع پیمایشی طولی است. داده‌ها در این مقاله از نوع کیفی بوده و روش تحقیق و گردآوری داده‌ها براساس مطالعات گسترده کتابخانه‌ای انجام گرفته‌است.

### سیر بهره‌گیری از نور روز در فضای آموزشی

نورخورشید ترکیبی از نور پراکنده‌ی آسمان و نور خورشید و نور بازتاب شده از سطوح است (Baker & Steemers, 2002). و نورپردازی روز، نیازمند طراحی نورگذرها در راستای هدایت نور روز به داخل فضا است. استفاده از نور روز برای تامین روشنایی مطلوب در فضاهای داخلی زندگی، به زمان غارنشینی انسان‌های ماقبل تاریخ بر می‌گردد (Derek, 2004). پس از آن، هزاران سال قبل، نور طبیعی در خاورمیانه به صورت متداول استفاده می‌شد. یونانی‌ها و رومی‌ها هم حیاط را وارد ساختمان کردند تا نور طبیعی را به فضاهای داخلی ساختمان بیاورند و به این ترتیب علاوه بر تاکید روی فرم‌های مجسمه‌وار، رشد گیاهان نیز تقویت شود. از آنجا که تمام این تمدن‌ها در اقلیم گرم و خشک واقع

شده‌بود، مردم ترجیح دادند که زمان بیشتری را در فضای خنک‌تر داخل بگذرانند، و این بدان معنا بود که میزان نور روز باید بدون کاهش آسایش محیطی، افزایش می‌یافت. در دهه ۱۷۰۰، شهرها در بیشتر تمدن‌های غربی، با مرور زمان شلوغ و متراکم‌تر شدند و محله‌های کلیمی و غیربهداشتی شکل گرفتند. در این زمان خیابان‌ها باریک‌تر و ساختمان‌ها بلندتر شدند و به این ترتیب نور روز بسیار کمی می‌توانست به داخل ساختمان نفوذ کند (Boubekri, 2014) و بهره‌گیری از نور روز برای روشنایی به مرور کاهش یافت.

از طرفی تا قرن نوزدهم، بیشتر مدارس به جای آنکه در یک ساختمان مستقل باشند، در خانه‌ها شکل می‌گرفتند و یا بخشی از ردیف خانه‌ها بودند. سپس مدارس از ساختمان‌های یک طبقه به ساختمان‌های چند طبقه تبدیل شدند که می‌توانستند پنجره‌های گسترده‌ای برای ورود نور روز داشته باشند. قبل از دهه ۱۹۵۰، معماران بر این باور بودند که نورپردازی یک عنصر اساسی طراحی ساختمان مدرسه است. در سال ۱۸۷۴، رابسون (Robson, 1972) به عنوان یک معمار مدرسه ساز پیشنهاد کرد که در طراحی کلاس درس باید سلامت و راحتی در نظر گرفته شود تا بتوان آموزش موثری به دانش‌آموزان ارائه کرد. رابسون بیان کرد که استفاده از نور روز در کلاس درس بسیار مهم است و اینکه پنجره‌ها در مدرسه هرگز نباید در جهت جنوب و یا جنوب غربی قرار بگیرند زیرا این جهت‌ها سبب خیرگی بیشتر می‌شود و در نتیجه آزار دانش‌آموزان می‌شود (Robson, 1972). او پیشنهاد داد برای رسیدن به بهترین موقعیت پنجره و یکنواخت‌ترین نور دریافتی، باید پنجره‌ها در سمت شمال قرار گیرند. او همچنین تاکید کرد که طراحان باید در نظر داشته باشند که نور شدید خورشید در فصل تابستان باعث افزایش خیرگی برای معلم‌ها و دانش‌آموزان می‌شود(Robson, 1972).

در نیمه دوم قرن نوزدهم، بسیاری از مدارس نورگذرهای جنوبی را حذف کرده و از نورپردازی شمالی استفاده کردند. تا از خیرگی در ضلع جنوبی و غربی ساختمان جلوگیری کنند (Russell, 2012). در یک قرن قبل، مردم معتقد بودند که افزایش نور روز می‌تواند مانع از نزدیک بینی شود. بنابراین مدارس با پنجره‌های وسیع ساخته شدند تا از پیشرفت نزدیک بینی کودکان جلوگیری شود. این تفکر تا دهه ۱۹۶۰ ادامه یافت (Hobday, 2015: 52). متاسفانه طراحی مدارس دیگر امکان بهره‌برداری نور کافی از سمت شمال را نمی‌دادند و این موضوع منجر به افزایش استفاده از چراغ‌های فلورسنت شد، مخصوصا زمانی که این فناوری در دهه ۱۹۲۰ افزایش یافت. تا دهه ۱۹۳۰، زمانیکه فناوری نورپردازی فلورسنت به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شد، این موضوع سبب ایجاد مانع مهمی در جنبش ایجاد نور روز در طراحی ساختمان مدارس شد (Boubekri, 2014). با توجه به هزینه‌های پایین آن، نورپردازی فلورسنت بعد از جنگ جهانی دوم حتی ارزش بالاتری هم یافت و بناهای بدون پنجره‌ی دیگری ساخته شد. با ظهور برق ارزان قیمت و گستردگی استفاده از روشنایی فلورسنت در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، ایالت ها شروع به کنار گذاشتن حداقل روشنایی طبیعی روز در ساختمان‌ها کردند (Heschong, 2002: 65). پس از این دوره زمانی، مجددا استفاده از نور روز طبیعی در طراحی ساختمان مدارس مورد توجه قرار گرفت، زیرا حضور نور روز می‌توانست نیاز به ابزارهای وابسته به برق مثل لامپ های فلورسنت را کاهش دهد (Hobday, 2015: 53). واضح است که بهسازی مدارس بدون پنجره بعد از بحران انرژی، برای ایجاد محیط های یادگیری جذاب‌تر و با عملکرد بهتر بسیار دشوار است (Gelfand & Freed, 2010). ساختمان‌های بدون پنجره علاوه بر اینکه جذاب نیستند، سبب بی‌نظمی در داخل ساختمان نیز می‌شوند، زیرا راهی برای ارتباط با محیط بیرون ندارند. مراکز خرید بزرگ و بدون پنجره‌ای که در دهه‌ی ۱۹۶۰ ساخته شدند در ارتباط با این موضوع بسیار بدنام بودند (Derek, 1997). بنابراین با شروع دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، استفاده از نور روز در طراحی و به طور خاص در بهبود کنترل روشنایی در ساختمان مدارس مجددا بررسی شد (Lechner, 2014) و معماران استفاده از سایه‌بان‌ها، لامپ‌های LED، سنسورهای روشنایی، لوله‌های نوری، لامپ‌های مهتابی و نورهای هیبریدی را مطرح کردند. توجه به سنسورهای نوری در ساختمان‌های تجاری ایالات متحده آمریکا به دلیل افزایش تقاضا در طراحی ساختمان‌های پایدار و همچنین تاثیر آن بر نمودار برق کشور، افزایش یافت (Leslie et al., 2005: 25).

### ساخت مدارسی برای آینده (BSF)[1]

مطالعات گروه هیشانگ به اهمیت طراحی شاکله و محل قرارگیری پنجره‌ها در طراحی اشاره کرد. با این وجود حداقل بریتانیا مطالعات خام گروه هیشانگ را به عنوان گواهی بر افزایش فاکتور نور روز در کلاس‌های درس بدون توجه به حدبالایی آن تفسیر کرد و در ضوابط طراحی بر به حداکثر رساندن استفاده از نور روز به منظور بهبود عملکرد دانش‌آموزان اشاره شد (Tregenza, Mardaljevic, 2018: 70). در گزارش سال ۲۰۰۸ روزنامه گاردین موج اول مدارسی که با برنامه "ساخت مدارس برای آینده" (BSF) براساس نتایج خام مطالعات گروه هیشانگ تکمیل شد، توسط هیئت معماری و محیط ساخته شده (CABE[2]) به شدت مورد انتقاد قرار گرفت (Booth, 2008). از جمله مشکلاتی که در بررسی ۴۰ طرح پیشنهادی مدارس انگلستان مطرح شد، پوشش سطح وسیعی از کلاس‌های درس توسط شیشه بود که سبب غیرقابل

[1] Building Schools for the Future (BSF)
[2] Commission for Architecture and the Built Environment

تحمل شدن گرمای محیط و عدم آسایش می‌شود (Tregenza, Mardaljevic, 2018: 71) که شامل وجود فضاهایی با درجه حرارت بالا در حیاط‌های خلوت، محدوده‌های باز پر سر و صدا که تدریس را دشوار کرده و کلاس‌هایی که بسیار تاریک‌اند یا در بعدازظهرهای آفتابی مستعد گرمازدگی هستند می‌شود (Booth, 2008).

به دلیل تکیه بر فاکتور نور روز به عنوان تنها معیار بررسی عملکرد روشنایی طبیعی، اغلب نور روز مطلوب به معنای فاکتور نور روز بالاتر تلقی می‌شود. بنابراین در حالیکه به نظر می‌رسد اهمیت نور روز در ساختمان‌ها به ویژه کلاس‌های درس سبب حصول شناخت گسترده‌ای می‌گردد، لزوما منجر به فضاهایی با طراحی مطلوب نمی‌شود. انجمن سرمایه گذاری آموزشی انگلستان[۱](EFA) در سال ۲۰۱۳ تصمیم گرفت مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا[۲](CBDM) را به صورت اجباری برای برنامه ساخت مدارس اولویت‌دار[۳](PSBP) و جایگزین "مدارسی برای آینده" معرفی کند تا به این ترتیب شکست‌های مشهود بسیاری از طرح‌های این نوع مدارس پاسخ داده شود. استفاده از (CBDM) برای ارزیابی طراحی، سهم نور خوشید را در ارزیابی کلی نور روز به طور اجتناب ناپذیری افزایش می‌دهد (Tregenza, Mardaljevic, 2018, 72).

### ساخت مدارس با کمک مدل‌سازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM)

در اواخر دهه ۱۹۹۰، کریستوف رینهارت و مردالجویک[۴]به طور مستقل به دنبال تحقیق و توسعه موضوعی بودند که به عنوان مدل‌سازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM) شناخته شد. این نوع مدلسازی ابتدا در جامعه پژوهشی و همچنین برخی از متخصصان دوراندیش پذیرفته و مورد توجه قرار گرفت. CBDM درواقع پیش‌بینی هر کمیت نوری از جمله روشنایی و درخشندگی است که با استفاده از شرایط واقعی خورشید و آسمان براساس داده‌های آب و هوایی استاندارد محاسبه شده (Mardaljevic, 2001: 120; Reinhart, Herkel, 2000). به دلیل نتایج قابل قبول حاصل از مطالعات اعتبارسنجی، سیستم شبیه‌سازی Radiance و در نهایت CBDM به پذیرش گسترده‌ای دست یافتند. در اواسط دهه ۱۹۹۰ مطالعات اعتبارسنجی برای هر روش پیش‌بینی نور روز با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط موسسه تحقیقاتی ساختمان[۵](BRE) به عنوان بخشی از برنامه بین‌المللی اندازه‌گیری نور روز[۶](IDMP) انجام می‌شد (Mardaljevic, 1995: 182; Mardaljevic, 2001: 120).

پس از تاکید انجمن سرمایه گذاری آموزشی انگلستان در سال ۲۰۱۳ بر بکارگیری مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا برای برنامه ساخت مدارس اولویت دار (PSBP)، به منظور دستیابی به روشنایی مفید نور روز باید ضوابط خاصی در طرح‌های ارائه شده لحاظ شد. درواقع از نیم قرن پیش و پس از معرفی فاکتور نور روز، این موضوع اولین پیشرفت مهم در بحث نور روز است. در ایالات متحده آمریکا، CBDM تایید شده توسط انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی[۷]، در آخرین نسخه مدیریت در طراحی انرژی و محیط[۸]وجود دارد که بسیار بحث برانگیز بوده و منتقدان بسیاری دارد.[۹]این نوع مدلسازی علاوه بر پیش‌بینی معیارهای سالانه روشنایی نور روز، با شبیه‌سازی درخشندگی میدان دید کاربران فضا امکان محاسبه میزان خیرگی و عدم آسایش بصری را فراهم می‌کند (Wienold, 2007:1201).

در ۲۰ سال گذشته CBDM در پروژه‌ها و مطالعات متعددی برای ارزیابی مشکلات طولانی مدت و جدید نور روز استفاده شده‌است. در حال حاضر استفاده از این روش مدل‌سازی در میان طراحان نور روز و مهندسین مشاور رایج است، در حالیکه جامعه دانشگاهی همچنان به دنبال گسترش دامنه کاربرد و مهم‌تر از همه، اعتبار سنجی پیش‌بینی فرمول‌های مختلف CBDM است (Mardaljevic, 2021).

### مدارس نوظهور قرن بیست و یک

با رایج شدن سیستم‌های فناوری اطلاعات مرتبط با ساختمان جهش بزرگی در طراحی مدارس اتفاق خواهد افتاد. با افزایش قیمت انرژی به نظر می‌رسد در آینده نظارت بیشتری بر مصرف انرژی خواهد شد به گونه‌ای که در نهایت منجر به بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و آسایش محیطی شود. با این حال، موضوعی که باید به آن توجه داشت این است که فناوری‌های جدید اغلب به بهبود شرایط و برطرف شدن مشکلات کمک می‌کند و در عین حال مشکلات جدید ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی یک جامعه طراحی متفکر، باز و صادق با حلقه‌های بازخورد

[1] UK Education Funding Agency (EFA)
[2] Climate-Base Daylight Modeling (CBDM)
[3] Priority Schools Building Programme (PSBP)
[4] C., Reinhart & J., Merdaljevic
[5] Building Research Establishment (BRE)
[6] International Daylight Measurement Programme (IDMP)
[7] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)
[8] Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)
[9] John Mardaljevic, “Climate-based daylight modelling and its discontents”.

قوی، به منظور یادگیری آنچه برای محیط‌های آموزشی مناسب باشد بسیار مهم است. یکی از راه‌های اطمینان از حرکت به سمت الگوی طراحی متکی بر چرخه‌ی بازتاب و بازخورد صادقانه، اجرای استانداردهای دقیق در طراحی و بهره‌برداری مدرسه است به نحوی که مبتنی بر سنجش عملکرد ساختمان و ارزیابی آن پس از اشغال فضا باشد. به عنوان مثال، موفقیت ایده ساختمان‌های صفر انرژی[1](ZEB) مستلزم طراحی بنایی است که انرژی مصرفی آن، کم‌تر از انرژی تولید شده در طول یک سال باشد. این موضوع مستلزم وجود سامانه‌های جدید با فناوری پیشرفته نیست، بلکه نیازمند پیگیری مداوم و آموزش به کاربران فضا است. بعلاوه، بررسی مداوم به منظور اطمینان از عملکرد صحیح سامانه مهم است. با دستیابی به این هدف فقط تا پایان ساخت و ساز ساختمان انجام نمی‌شود و با توجه به عملکردی بودن آن مسیر دشواری است. کمیته استاندارد ASHRAE برای دهه‌های آینده اهداف مشابهی را تعیین کرده و تلاش‌های اولیه برای ساختمان‌های صفر انرژی که شامل مدارس می‌شود، نشان دهنده قابل دستیابی بودن این اهداف است. با توجه به تغییر اقلیم جهانی ضرورت تحقیق اهداف منجر به کاهش مصرف انرژی قابل درک است (Baker, 2012: 24). اروپا، استرالیا و تعداد معدودی از کشورهای توسعه یافته در دهه‌های اخیر، پیشرفت چشمگیری در تحقق چشم‌اندازهای مترقی برای ساختمان مدارس قرن بیست و یکم داشته‌اند که در گزارش مدارس پایدار[2]وزارت آموزش و مهارت بریتانیا قابل مشاهده است.

انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی[3](IESNA) در دهه ۱۹۸۰، ۵۰ فوت کندل (۵۳۸ لوکس) را برای فعالیت‌های عادی کلاس و ۱۰۰ فوت کندل (۱۰۷۶ لوکس) را برای آموزش روی تخته سیاه پیشنهاد می‌دهد. علاوه بر این انجمن مهندسی روشنایی آمریکا وجود حداقل یک پنجره را در فضای آموزشی برای دستیابی به کیفیت مناسب یک محیط آموزشی پیشنهاد می‌دهد. نسخه جدید ویرایش نهم کتاب راهنمای روشنایی انجمن مهندسی روشنایی آمریکا (IESNA)، همچنان بر اهمیت وجود نور روز در مدارس تاکید می‌کند (Rea, 2000: 874). این نسخه از کتاب راهنمای روشنایی با حرکت از کمیت به سمت کیفیت در نورپردازی حرفه‌ای، سطح نور را برای فعالیت‌های بصری و خاص پیشنهاد نمی‌کند و فقط فاکتورهای مهمی را که ممکن است بر کیفیت نور در ساختمان مدارس تاثیر بگذارد به عنوان جایگزین ذکر کرده است. در «جدول ۱» سیر بهره‌گیری از نور روز در مدارس آمریکا از ۱۹۱۸ تا ۲۰۰۲ ارائه شده است. بررسی این روند نشان دهنده حرکت دائمی طراحان متناسب با شرایط اجتماعی و فرهنگی مسلط بر جامعه است. تقابل جدی میان مدارس فضای باز و مدارس بدون پنجره در طول ۴۰ سال بر میزان تاثیر پذیری از شرایط و وقایع حاکم را به اثبات می‌رساند.

بررسی این سیر علاوه بر مسائل تاریخی نیازمند توجه به عوامل تاثیرگذار و تاثیر پذیر است. بحران انرژی و همچنین بهبود کیفیت فضایی دو عامل تاثیر گذار بر روند تغییرات بهره‌گیری از نور روز در طول این سال‌ها بوده‌اند. فضای یادگیری محیطی است برای تربیت نسل آینده، بعلاوه باید بر فرآیند آموزش و همچنین کنترل سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان نیز متمرکز باشد. بنابراین تامین آسایش بصری و همچنین بهره‌وری انرژی دو عنصر جدی در بحث نور روز است که باید مورد ارزیابی قرار گیرند.

**جدول ۱- سیر بهره‌گیری از نور روز در مدارس آمریکا**

| دوره زمانی | ویژگی‌های طراحی مدارس و روشنایی کلاس‌های درس |
|---|---|
| ۱۹۱۸ | براساس استاندارد IES، حداقل نور مصنوعی مورد نیاز در کلاس باید ۳/۵ الی ۶ فوت کندل برای فعالیت‌های عادی باشد. (Osterhaus, 1993) |
| قبل از ۱۹۳۰ | مساحت پنجره ۴۰ تا ۵۰ درصد کل مساحت دیوار ضلع بلند کلاس باشد و در کل $\frac{1}{4}$ مساحت کف کلاس باشد. |
| | پنجره باید ۶ اینچ از سقف فاصله داشته باشد و فاصله آستانه از کف نباید بیش از ۳ الی ۳/۵ فوت باشد. (Hamlin, 1910) |
| اواخر دهه ۱۹۳۰ | لامپ‌های فلوئورسنت اختراع شدند. |
| ۱۹۳۰- ۱۹۴۰ | مدارس فضای باز ظهور کردند و تاکید بر هوای آزاد، نور و فعالیت در فضای باز بود. |
| دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ | هزینه کم لامپ‌های فلوئور سنت سبب گسترش استفاده از آن‌ها شد. |
| دهه ۱۹۵۰ | هامون در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۴۸ انجام داد برخی موضوعات اساسی را مطرح کرد که نیاز به تحقیقات بنیادی دارد:<br>۱. تعداد و محل طراحی بازشوها به عنوان منبع دریافت نور روز تحت شرایط مختلف آب و هوایی.<br>۲. سایه‌بان برای کاهش خیرگی حاصل از تابش منبع نور (Hamon, 1948)<br>اهمیت نکاتی که هامون ذکر کرده بود، نوع نگرش را از کمیت نور روز به کیفیت و توجه به آسایش بصری با توجه به بحث خیرگی و سطوح فضا تغییر داد. |

[1] Zero Energy Buildings (ZEB)
[2] Sustainable Schools
[3] The Illumination Engineering Society of North America (IESNA)

| دوره زمانی | ویژگی‌های طراحی مدارس و روشنایی کلاس‌های درس |
|---|---|
| ۱۹۵۹ | محققان انجمن مهندسی روشنایی (IES) از یک روش آزمایشی به نام "ارزیابی وظایف بصری" برای تعیین مجموعه‌ای از استانداردهای سطح نور استفاده کردند. |
| | سطح نور کلاس از ۳۰ به ۷۰ فوت کندل افزایش یافت. (Building research institute, 1959) |
| اواخر ۱۹۶۰ | صنعت ارتباط بهتری با نور مصنوعی برقرار کرد. |
| ۱۹۶۹ | تاکید از نور روز به نور مصنوعی تغییر کرد (Castaldi, 1969, 194)<br>شورای ملی ساخت مدرسه[2](NCSC) از این روند حمایت و اشاره کرد:<br>نور روز منعکس شده از آسمان، پنجره‌ها و دیوارهای روشن ساختمان‌های مجاور، رایج‌ترین منابع نور هستند که تعادل روشنایی توصیه شده در این راهنما را برهم می‌زنند (NCSC, 1969, 131). |
| اوایل دهه ۱۹۷۰ | واینستین[3]بیان کرد، کلاس‌های بدون پنجره هیچ تاثیر منفی قابل تشخیصی بر یادگیری دانش‌آموزان ندارند (Weinstein, 1979). |
| دهه ۱۹۷۰ | آزمایشگاه امکانات آموزشی[4](EFL) از تاثیرگذارترین گزینه‌ها در زمینه نظریه پردازی و ساخت مدرسه در دهه ۱۹۷۰ بود که توسط بنیاد فورد، از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۷ تامین مالی می‌شد. این گروه "مدارس پلان باز" را ترویج دادند (Marks, 2009). |
| | جنبش حفظ انرژی در این دوره شکل گرفت. |
| | کلاس‌های پدون پنجره محبوبیت یافت که از نظر واینستین یک نوآوری در معماری است. عوامل موثر در گسترش این نوع کلاس ها، رهایی از گرمای بیش از حد، خیرگی و حواس پرتی و همچنین افزایش فضای قابل استفاده روی دیوارها و انعطاف پذیری فضا برای چیدمان متنوع است (Weinstein, 1979). |
| | مک گافی[5]در مطالعات خود بیان کرد، کلاس بدون پنجره تاثیری در عملکرد دانش‌آموزان ندارد. این موضوع نشان دهنده اهمیت تکرار و آزمایش مجدد یافته‌های پژوهشی است (Mc Guffey, 1982). |
| دهه ۱۹۸۰ | کاهش سرمایه گذاری در تسهیلات و نوسازی مدارس به منظور بهبود شرایط مطابق با استانداردهای اولیه. |
| | انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) ۵۰ فوت کندل (۵۳۸ لوکس) را برای فعالیت‌های عادی کلاس و ۱۰۰ فوت کندل (۱۰۷۶ لوکس) را برای آموزش روی تخته سیاه پیشنهاد می‌دهد. وجود حداقل یک پنجره در کلاس برای دستیابی به کیفیت مناسب لازم است (Rea, 2000). |
| دهه ۱۹۹۰ | ظهور جنبش ساختمان‌های سبز و ساختمان‌های با بازدهی بالا |
| | کریستوف رینهارت و مردالجویک و ترگنزا بر روی مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM) کار می‌کردند. |
| ۱۹۹۲ | تولید هورمون کورتیزول در دانش‌آموزان و دریافت نور روز همبستگی مثبت دارند (Kuller and Lindsten, 1992). |
| | مطالعاتی درباره نور روز گروه هیشانگ انجام گرفت و نشان داد مدارس با بازدهی انرژی بالا می‌توانند بر یادگیری دانش‌آموزان تاثیر مثبت داشته باشند. |
| ۱۹۹۸ | سازمان رتبه‌بندی ساختمان‌های سبز (LEED) راه اندازی شد. |
| دهه ۲۰۰۰ | در اوایل این دهه جنبش جدید رشد خوبی داشت و یکی از مهم‌ترین تاثیرات بر ساخت مدارس و بناها را داشت (Taylor, 2008). |
| | روشنایی مورد نیاز برای کلاس درس طبق راهنمای طراحی انرژی پیشرفته[6](ASHRAE) که توسط IESNA پشتیبانی می‌شود، ۳۰ تا ۷۰ فوت کندل و براساس دستورالعمل IESNA ۵۰ تا ۱۰۰ فوت کندل پیشنهاد می‌شود (Wu & Ng, 2003). |
| ۲۰۰۲ | مطالعات به شکل‌گیری استاندارد ANSI 12.60 کمک کرد. این استاندارد توسط انجمن آکوستیک آمریکا نوشته شده‌بود. |

## بهره‌وری انرژی و آسایش بصری در مدارس

### نور روز و بهره‌وری انرژی

تحریم نفتی و بحران انرژی سال ۱۹۷۳ انسان‌ها را به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی هدایت کرد. معماری خورشیدی راه حلی بود که در اواخر دهه ۱۹۷۰، بویژه در جنوب غربی آمریکا گسترش پیدار کرد. استفاده جهانی از تمام منابع انرژی تا سال ۲۰۳۰ درحال افزایش است، سوخت‌های فسیلی بیشتر انرژی مصرفی را تامین می‌کنند، ولی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر درحال افزایش است (بوبکری، ۱۳۹۷). رسیدن به توسعه پایدار یکی از اهداف کشورمان ایران است. در این بین مصرف انرژی از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار بر این موضوع بشمار می‌رود. به همین دلیل مصرف انرژی در ساختمان‌ها، که اکثرا از سوخت‌های فسیلی و یا برق استفاده می‌کنند بسیار مورد توجه است. استفاده از نور طبیعی یکی از مواردی است که بر میزان انرژی الکتریکی تاثیر می‌گذارد و سیستم‌های روشنایی یکی از مهم‌ترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی به حساب می‌آیند. کمبود منابع و رشد سریع میزان مصرف انرژی الکتریکی در

[1] Visual task evaluator
[2] National Council on Schoolhouse Construction (NCSC)
[3] Weinstein
[4] Educational Facilities Laboratory (EFL)
[5] Mc Guffey
[6] The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

کشور، سبب تمرکز بیشتر بر مصرف انرژی و دستیابی به روش‌هایی شده که ضمن حفظ کارایی، امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی را فراهم کند.

روشنایی طبیعی روز، نوری رایگان، همراه با توزیع طیف برق ۳۲۰ تا ۲۶۰۰ نانومتر به صورت مداوم به ارائه می‌دهد که پیامدهایی برای گرمایش، سرمایش و میزان تقاضای انرژی روشنایی یک ساختمان دارد (Dubois et al., 2015: 326). نوروز به صورت مستقیم سبب کاهش انرژی مورد نیاز برای روشنایی اتاق می‌شود. اینکه این نور تا چه اندازه می‌تواند جایگزین میزان استفاده از روشنایی الکتریکی شود، با طراحی، مکان، هدف و نوع استفاده از فضای داخل ساختمان ارتباط دارد. نمی‌توان نقش تاثیرگذار نور روز بر شکل گیری فرم ساختمان‌ها به لحاظ جهت‌گیری، توجه به سایه‌اندازی و ویژگی‌های ساختاری آن، فضای داخلی و آسایش محیطی کاربران نادیده گرفت. بنابراین نور روز یک آغاز طبیعی است (Derek, 2004).

در حال حاضر تامین روشنایی و نورپردازی داخلی فضاها به صورت گسترده‌ای از طریق نورپردازی مصنوعی انجام می‌شود، از این رو با توجه به گستردگی و سهولت دسترسی به نور مصنوعی در تمام ساعات شبانه روز، مصرف انرژی به صورت بی‌رویه‌ای افزایش یافته است که زندگی بشر را تهدید می‌کند. با وجود در دسترس بودن نور مصنوعی و امکان استفاده از آن در لحظه، نمی‌توان این موضوع را که تولید آن تا چه اندازه هزینه بر است نادیده گرفت و باید برای بهره‌گیری از نور روز به جای نور مصنوعی برنامه‌ریزی کرد. اولین راه‌حلی که برای افزایش بهره گیری از نور روز به نظر می‌رسد، افزایش سطح نورگذرها به منظور دریافت حداکثر نور روز ممکن است. باید توجه کرد که افزایش سطح نورگذرها بدون مطالعه و بررسی، می‌تواند منجر به افزایش بار حرارتی خورشید و افزایش مصرف انرژی و همچنین بروز خیرگی و کاهش آسایش بصری کاربران شود. با طراحی صحیح سطوح شفاف نورگذر از نظر مکان، جهت‌گیری، اندازه و مصالح مورد استفاده، می‌توان میزان نور روز دریافتی را به حداکثر رساند. در صورت بهره‌گیری از نورگیرهای سقفی و یا پنجره‌های دیواری، باید احتمال نیاز به سایبان و یا سطوح بازتابنده را به منظور کاهش و یا حذف خیرگی مخل آسایش مورد بررسی قرار داد (Al-Obaidi, 2017: 87; Byrd, 2012: 208). یک فضای آموزشی در اولین و آخرین ساعات اشغال فضا و در طول فصل زمستان (در نیمکره شمالی) نور کمی دریافت می‌کند که در صورت بهره‌برداری موثر، می‌تواند کافی باشد. از طرف دیگر در صورت استفاده بیش از اندازه از نور روز در زمان ظهر و در تابستان، می‌تواند منجر به بروز خیرگی، مختل شدن دید و دریافت گرمای خورشیدی ناخواسته شود (Byrd, 2012: 208). به منظور به دست آوردن روشنایی مطلوب و به حداقل رساندن مصرف انرژی در مورد دوم، بررسی و کنترل طراحی صحیح تناسبات عناصر مختلف مانند فضای داخلی، چیدمان بخش های مختلف نما، پنجره‌ها و سایبان‌ها را بسیار مهم می‌کند (Haase & Grynning, 2017: 485). نور مصنوعی تا ۴۰ درصد از کل مصرف را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین پتانسیل زیادی برای صرفه جویی در مصرف انرژی با استفاده از نور روز به عنوان منبع روشنایی داخلی ایجاد می‌کند (Gago et al., 2015, 4; Ponmalar & Ramesh, 2014: 60). مطالعات نشان داده که ۴۰٪ کاهش در مصرف انرژی روشنایی سبب ۱۷٪ کاهش در مصرف انرژی اولیه می‌شود (Knoop et al., 2020, 424).

در ساختمان‌های کارای امروزی بهره‌گیری از لامپ‌های کم مصرف، استفاده از نور روز و کنترل میزان روشنایی مورد نیاز مبتنی بر تقاضای کاربران، در حال تبدیل شدن به یک روش معمول است ( Pandharipande & Newsham, 2018; Dubois & Blomsterberg, 2011 ). بسیاری از مطالعات انجام شده براساس شبیه‌سازی و همچنین بررسی‌های میدانی برای انواع مختلف ساختمان، تاثیر مثبت بهره‌گیری از نور روز و کنترل روشنایی بر میزان مصرف انرژی برای تامین روشنایی را نشان می‌دهد ( Wong, 2017, 961; Simson et al., 2016, 125; Choi et al., 2016, 125). براساس مطالعات انجام شده توسط لی و لام در سال ۲۰۰۱، برنامه روشنایی مناسب در ارتباط با تغییرات نور روز می‌تواند منجر به ۵۰ درصد صرفه‌جویی در روشنایی الکتریکی در ساختمان شود. در حالی‌که کاهش بهره‌گیری از روشنایی مصنوعی در ساختمان از طریق تئوری‌های نور روز، نیاز به برق را کاهش می‌دهد، بارهای گرمایشی و سرمایشی و کل مصرف انرژی ساختمان را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (Hee et al., 2015: 324).

ایران به دلیل نزدیکی به خط استوا و تنوع آب و هوایی بالا، در بهترین شرایط برای دریافت تابش خورشیدی قرار دارد و به طور متوسط حدود ۲۸۰ روز آفتابی دارد. در سال ۲۰۲۰ تنها ۹۰۰ مگاوات (حدود ۴۸۰ نیروگاه خورشیدی و ۴۲۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی خانگی) از برق مورد نیاز ایران از انرژی خورشیدی تامین شد که این میزان در مقایسه با میانگین جهانی بسیار پایین است. همچنین در سال ۲۰۲۱، ۴۵۰ مگاوات برق خورشیدی تولید شد که کمتر از ۱ درصد ظرفیت بود (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹، ۱۴۰۱) و این میزان تولیدی در مقایسه با کشورهای همسایه بسیار ناچیز است. ایران به طور متوسط سالانه ۲۲۰۰–۱۹۰۰ کیلووات ساعت تابش خورشیدی در هر متر مربع دارد و ۹۰ درصد مساحت کشور، خورشید کافی برای تولید انرژی خورشیدی در ۳۰۰ روز در سال دارد. براساس مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر، استقلال انرژی در ایران بدون بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی، تا سال ۲۰۳۰ یک گزینه قابل دستیابی است (Aghahosseini et al., 2018: 20). به گفته مهدی زارع استاد پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ایران پتانسیل افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی خود

را از حدود یک درصد در سال ۲۰۱۸ به ۱۶ درصد تا سال ۲۰۳۰ دارد. ایران توانایی تولید ۴٫۵ تا ۵٫۵ کیلووات–ساعت در هر مترمربع در روز انرژی خورشیدی دارد. باتوجه به توانمندی انرژی خورشیدی در کشورمان، فرصت مناسبی برای گسترش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آینده با یک برنامه ریزی بلند مدت وجود دارد.

### آسایش بصری در مدارس

کودکان به عنوان حساس‌ترین گروه سنی جامعه باید فضایی در راستای پرورش و رشد استعدادها و خلاقیت‌شان را تجربه کنند (حسین پوریان، ۱۳۹۰، ۴۲). یادگیری تنها یک نتیجه نبوده و نیازمند طی یک فرآیند در فضایی است که امکان ادراک و تعقل را برای دانش‌آموزان فراهم آورد. کیفیت روشنایی در فضاهای آموزشی در واقع تجمیع کننده‌ی نیازهای انسان، معماری، اقتصاد و محیط (مهدوی نژاد، طاهباز و دولت آبادی، ۱۳۹۵، ۸۳) و تامین کننده آسایش بصری است. در استاندارد اروپا (BS EN 12665, 2011) آسایش بصری به عنوان شرایط ذهنی و درونی که توسط محیط بصری برای شخص ایجاد شده است تعریف می‌شود. آسایش بصری به عواملی همچون: فیزیولوژی چشم انسان، کمیت‌های فیزیکی توصیف کننده میزان نور و توزیع آن در فضا و همچنین انتشار طیف منبع نور بستگی دارد. با ارزیابی مجموعه‌ای از عوامل که ارتباط میان نیازهای کاربران و نور محیط را تنظیم می‌کند، این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل میزان نور دریافتی، یکنواختی نور دریافتی، کیفیت نور در دریافت رنگ‌های مختلف و پیش بینی خطر خیرگی برای کاربران فضا می‌شود (BS EN 12665, 2011). در این میان، توزیع یکنواخت روشنایی خصوصا در مکان‌هایی مانند محیط‌های آموزشی و کلاس‌های درس که غالبا فعالیت بصری در آن‌ها انجام می‌گیرد، از اهداف نورپردازی محسوب می‌شود.

این موضوع که وجود خورشید بخش بسیار مهمی از زندگی انسان بر روی زمین است یک امر بدیهی است ولی با این وجود گرایشی وجود دارد که فقط از آن استفاده شود چون یک منبع نامتناهی و رایگان روشنایی است که همیشه وجود دارد (Derek, 1964). بهره‌گیری از نور روز فرآیند کامل و تمام عیاری در طراحی ساختمان‌ها برای رسیدن به بالاترین حد بهره‌برداری از نور طبیعی است. این فرآیند همه‌ی موارد زیر را دربر می‌گیرد:

- استقرار بنا، یعنی جهت بنا به منظور استفاده‌ی بهینه از نور آفتاب.
- توده ساز بنا، یعنی استقرار سطوح بهینه ساختمان به سمت خورشید.
- طراحی پنجره‌بندی برای ایجاد امکان ورود نور مناسب به بنا متناسب با فصول و آب و هوا و حرکت روزانه‌ی زمین به دور خورشید.
- سایه بازی نمای بنا و پنجره‌بندی‌ها برای محافظت از بنا در برابر تشعشعات خورشیدی ناخواسته.
- افزودن ابزارهای سایه‌ساز مناسب مانند کرکره و پرده برای ایجاد امکان کنترل نور طبیعی توسط ساکنین بنا.
- طراحی کنترل کننده‌های نورپردازی الکتریکی با هدف تحقق صرفه‌جویی تمام و کمال در مصرف انرژی در هنگام استفاده از نور طبیعی (Dubois, 2001).

روشنایی بیش از اندازه توسط لامپ‌ها و روشنایی الکتریکی، تاثیرات نامطلوبی بر شرایط روحی و جسمی دارد که بر توان یادگیری دانش آموزان نیز تاثیر گذار است. تحقیقات نشان داده قدرت یادگیری دانش‌آموزانی که در کلاس‌های با روشنایی طبیعی تحصیل کرده‌اند بهبود یافته است (Atre, 2003). استفاده از نور روز در ساختمان به دو دلیل صورت می‌گیرد، اول تامین آسایش بصری که به دنبال آن بهبود عملکرد و سلامت کاربران رخ می‌دهد، دوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی که منجر به بهره‌وری انرژی خواهد شد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که تامین روشنایی به تنهایی نمی‌تواند معیاری برای کارایی سازوکار بکار رفته باشد، بلکه عوامل دیگری نیز باید در نظر گرفته شود. نیازهای روشنایی به نوع کاربری وابسته است، با این وجود سه عامل در تامین نور روز مطلوب باید در نظر گرفته شوند: کیفیت نور، کمیت روشنایی و توزیع مناسب نور که این عوامل را براساس استاندارد IEA (IEA, 2010) و CHPS (CHPS, 2002) می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

– توزیع یکنواخت نور روز – نبود خیرگی و چشم زدگی– کاهش مصرف انرژی – توجیه اقتصادی– مسائل ایمنی و امنیتی– هزینه پایین نگهداری– داشتن دید به مناظر بیرون

توزیع یکنواخت نور روز و جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش و چشم زدگی سبب ایجاد آسایش بصری می‌شود. آسایش بصری از ویژگی های مهم در طراحی محیط‌های کار و زندگی محسوب شده و معیاری برای سنجش کیفیت روشنایی است. آسایش بصری بیان کننده درصدی از افراد و یا کاربران فضای معماری است که در رابطه شدت خیرگی در یک محیط معماری احساس آسایش می‌کنند (Ward, 1991). بعلاوه هرگونه استفاده بهره‌گیری کنترل نشده و بیش از حد استاندارد نور، همچون فقدان روشنایی محیطی، آلودگی نور است. سطوحی که روشنایی بیش از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس بازتاب می‌کنند سبب خیرگی می‌شوند. سطح روشنایی میزان کیفیت بینایی را تعریف می‌کند. در استاندارد اروپا (BS EN 12665, 2011) آسایش بصری به عنوان شرایط ذهنی و درونی که توسط محیط بصری برای شخص ایجاد شده است تعریف می

شود. آسایش بصری به عواملی همچون: الف. فیزیولوژی چشم انسان، ب. کمیت‌های فیزیکی توصیف کننده میزان نور و توزیع آن در فضا، پ. انتشار طیف منبع نور بستگی دارد. با ارزیابی مجموعه‌ای از عوامل که ارتباط میان نیازهای کاربران و نور محیط را تنظیم می‌کنند، این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل: الف. میزان نور دریافتی، ب. یکنواختی نور دریافتی، پ. کیفیت نور در دریافت رنگ‌های مختلف، ت. پیش بینی خطر خیرگی برای کاربران فضا (BS EN 12665, 2011).

بنابراین نورگیری طبیعی در ساختمان نیازمند بررسی‌های اساسی و بنیادین است و درصورت در نظر نگرفتن هریک از اصول، طراحی نورگیری طبیعی بنا با مشکل روبرو خواهد شد. نور روز از عالی ترین چشمه‌های نور برای نورپردازی فضاهای داخلی به خصوص محیط‌هایی که فعالیت های دقیق بصری در آن جریان دارد، مانند فضاهای آموزشی و یا کتابخانه‌ها و همچنین فضاهای عمومی مانند فرودگاه‌ها و فضاهای فرهنگی یا تجاری است و علاوه بر تامین حس آرامشی که در استفاده کننده ایجاد می‌کند بازدهی بیشتری نیز در عملکرد افراد برجای گذاشته و سبب بهره‌وری انرژی می‌شود.

## بهره‌وری انرژی در مدارس

بهینه سازی مصرف انرژی در بهبود کیفیت فضای داخلی ساختمان و آسایش محیطی دانش‌آموزان در مدرسه تاثیر گذار است، اما نمی‌توان از تاثیر آن بر هزینه‌ها نیز چشم پوشی کرد. بررسی مصرف انرژی، بهترین روش برای صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی است (Fiaschi, Bandinelli & Conti, 2012: 104). از آنجا که سیستم روشنایی یک ساختمان معمولاً بیش از ۳۰٪ کل انرژی مصرف شده در یک ساختمان را شامل می‌شود، و این مقدار در ایران برابر با ۲۰ درصد از برق تولیدی است یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی، استفاده از نور طبیعی خورشید است که منجر به بهبود عملکرد دانش‌آموزان نیز می‌شود. با طراحی اصولی نورگذرها می‌توان میزان مصرف انرژی را تا حد قابل قبولی کاهش داد. در صورت طراحی شاکله نورگذرها متناسب با کاربری فضا و شرایط اقلیمی در جهت بهره‌گیری مناسب از نور روز به عنوان یکی از منابع گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توان به بهره‌وری انرژی دست یافت. با پیشرفت تکنولوژی و انجام مطالعات گسترده در زمینه انرژی، روش‌های بهره‌وری انرژی نیز به روزتر می‌شود. شکل و جهت‌گیری بنا، همسایگی‌ها، ساختگاه طراحی، شرایط آب و هوایی، کاربری فضا و مدت زمان استفاده از آن توسط کاربر، سن ساختمان و تعمیر و نگهداری از آن موارد تاثیرگذار بر عملکرد مصرف انرژی در ساختمان‌اند (جهانگیر و رشیدی، ۱۴۰۱: ۷۱).

کاهش میزان انرژی مصرفی برای نورپردازی ساختمان، باعث کاهش میزان گرمای تولید شده توسط منابع روشنایی الکتریکی و همچنین سبب کاهش بار برودتی ساختمان می‌شود (Boubekri, 2014). بر اساس اعلام وزارت انرژی آمریکا[1] و EIA، بیش از ۱۵% برق تولید شده در کشور آمریکا مربوط به روشنایی الکتریکی در ساختمان‌ها است. بر اساس اطلاعات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) در سال ۹۷، ۳۰٪ مصرف انرژی برق در حوزه خانگی مربوط به سیستم‌های روشنایی است که این مقدار در مقایسه با میانگین ۱۸درصدی جهان بسیار بالاتر است و استفاده از نور طبیعی منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی می‌شود. قانون سیاست‌گذاری انرژی در سال ۲۰۰۵، زمان بهره‌گیری از نور روز (DST)[2] را به مدت سه هفته در بهار و یک هفته در پاییز افزایش داد تا با بهره‌گیری بیشتر از روشنایی طبیعی که توسط DST ایجاد شده، میزان بهره‌وری انرژی نیز افزایش یابد (Murray, 2011). مدارس می‌توانند با کمک شیوه‌های طراحی، بیشترین استفاده را از نور روز در طول زمان‌های بهره‌گیری از مدرسه را داشته باشند.

## ارزیابی عملکرد نور روز

معیارهای نور روز مبتنی بر شدت روشنایی، نزدیک به یک قرن است که برای ارزیابی عملکرد نور روز در فضاهای داخلی استفاده می‌شود می توان نمونه‌های ابتدایی را همچون فاکتور نوروز[3] و یا حداقل شدت روشنایی[4] سطح کار در شرایط آسمان صاف[5] در زمان طراحی محاسبه کرد، بعلاوه اگر شرایط موجود به آسمان اصلی شباهت داشته باشد، امکان اندازه‌گیری به صورت مستقیم در فضای واقعی وجود دارد. اخیرا استانداردهای ساختمان و سیستم‌های رتبه‌بندی ساختمان‌های سبز، به سمت معیارهای تابش نور روز بر پایه آب و هوا[6] حرکت کرده است که نمونه‌هایی از آن عبارت است از استقلال نوروز (Reinhart & Walkenhorst, 2001: 684) که از طریق انجمن مهندسی روشنایی آمریکای

[1] Department of Energy (DOE)
[2] Daylight Savings Time (DST)
[3] Daylight Factor
[4] Illuminance
[5] Clear Sky
[6] (CBDM) Climate- Based Daylighting Metrics

شمالی[1]اندازه‌گیری روشنایی شده و همچنین شدت روشنایی نور روز مفید، ارتقا می‌یابد (Nabil & Mardaljevic, 2005). معیارهای تابش نور روز بر پایه آب و هوا (CBDM)، توزیع‌های روشنایی را که در همه شرایط آسمان در ساعات منظم اشغال فضا مشاهده می‌شود، در نظر می‌گیرد. باتوجه به اینکه هرگونه تلاش برای اندازه‌گیری مستقیم معیار تابش نور بر پایه آب و هوا، نیاز به یک سال بررسی کامل دارد. این معیارها باید واقع‌بینانه و با استفاده از یک موتور شبیه سازی مانند دیزاین بیلدر در ارتباط با انرژی و کلایمت استودیو در ارتباط با نور روز تعیین شوند.

در حال حاضر از مدل‌سازی‌های ساختمانی به صورت گسترده‌ای در طراحی نور روز استفاده می‌شود. اگر یک مدل‌سازی، به اندازه کافی به فضای واقعی شبیه باشد و در شرایط آسمان مشابه مورد آزمایش قرار گیرد، نتایج حاصل با نتایج فضای واقعی ساختمان یکسان خواهد بود (Gregg, 1995). این مدل سازی‌ها متناسب با نیاز و دقت کار در مقیاس‌های متفاوتی طراحی و ساخته می‌شوند. به کمک شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از شاخص‌ها، امکان بررسی میزان روشنایی و بهره‌وری انرژی بر اساس نور روز دریافتی فراهم شده است. مطلوبیت روشنایی در کلاس‌های درس زمانی برقرار می‌شود که هم نیازهای بصری دانش آموزان تامین شود و هم به لحاظ اقتصادی شرایط مناسبی فراهم شده باشد. هدف از بهره‌وری انرژی در مدارس نیز تامین روشنایی با کیفیت در کلاس‌ها به همراه کاهش انرژی روشنایی است.

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

بدیهی است که تا به امروز، نور روز بهترین منبع روشنایی در ساختمان مدارس بوده و طراحی ساختمان‌های آموزشی در مقایسه با طراحی سایر کاربری‌های ساختمانی، فاقد تأثیرات تجاری است. بعلاوه تغییر دائمی نور خورشید در طول روز، سبب آرامش بصری و ارتباط با چشم اندازی در حال تغییر می‌شود، همه دلایل خوبی برای استفاده از روشنایی طبیعی در مدارس است. بر اساس بررسی‌های انجام شده سه عامل عمده بر توسعه نوروز در مدارس تاثیر می‌گذارند:

۱. رشد و پیشرفت فناوری در جوامع مختلف منجر به تکامل بهره‌گیری از نور روز در مدارس می‌شود. همگام با توسعه علم ساختمان، استفاده از نور روز نیز پیشرفت‌هایی داشته است، از جمله بهره‌گیری از رف نوری به عنوان یکی از انواع نوگذرها که امکان افزایش عمق نفوذ همراه با کاهش خیرگی را در فضا فراهم می‌آورد، و یا لوله‌های نوری که به کمک انعکاس‌های پیاپی امکان استفاده از نور روز در عمق فضا را فراهم می‌آورد. در دهه‌های گذشته نیز پیشرفت‌ها در صنعت ساختمان سازی جنبش‌های همچون جنبش مدارسی برای آینده (BSF) مدارس باز را در اوایل قرن بیستم به وجود آورد. با پیشرفت علم در ارتباط با بحث نور، بهره‌گیری از ابزارهای پیشرفته اندازه‌گیری و شبیه‌سازی نور روز علاوه بر کمک به درک درست از شرایط نور روز در فضای داخلی، امکان پیش‌بینی توزیع نور روز با دقت بسیار خوبی را فراهم می‌آورد. به کمک شبیه‌سازی نور روز می‌توان میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در صورت طراحی اصولی و شاکله‌بندی نورگذرها متناسب با فضا و کاربری آن را ارزیابی کرد.

۲. انرژی عامل اعمال قدرت حکومت‌ها برای توسعه است. با توجه به بحران انرژی و همچنین افزایش تقاضای انرژی به سبب رشد نسبی جمعیت و فعالیت‌های صنعتی در جهان تقاضای انرژی افزایش یافته و این موضوع نیاز به توجه هرچه بیشتر به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر را به اثبات می‌رساند. بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ به سبب ارزان بودن انرژی الکتریکی، مدارس بدون پنجره ساخته شدند. این موضوع علاوه بر بحث انرژی، اثرات جبران ناپذیری بر سلامت جسمی و روحی کاربران خواهد داشت. بحران نفت در دهه ۱۹۷۰ مردم را متوجه اهمیت کاهش مصرف انرژی کرد و مدارس غیر فعال خورشیدی بوجود آمدند. امروزه بنیان و تفکر سبز مربوط به ساختمان‌های مدارس، بر معیارهای طبیعی و زیست محیطی به منظور تامین آسایش بصری دانش آموزان تاکید دارد.

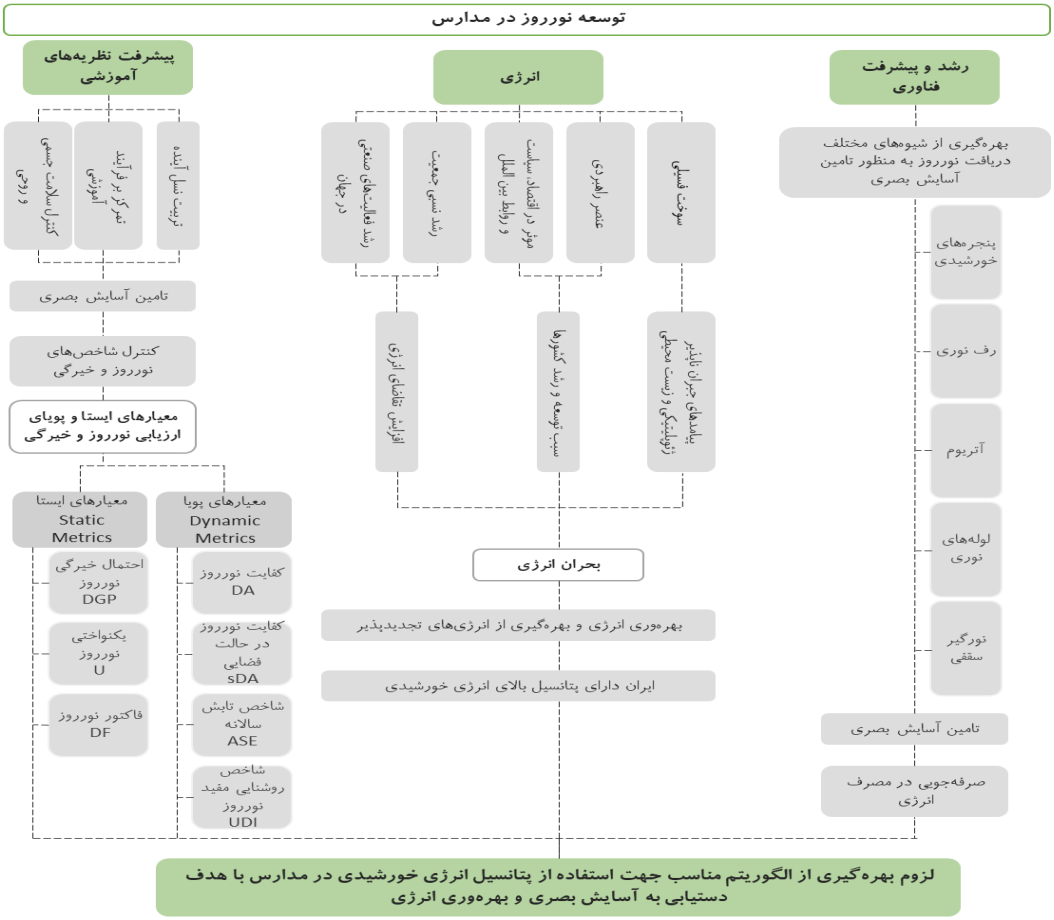
۳. توسعه نور روز در مدارس و پیشرفت نظریه‌های آموزشی در قرن بیستم به صورت موازی با هم حرکت می‌کنند. به عنوان مثال، به نظر می رسد در طول دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مفهوم آموزش مترقی، با تاکید بر پیش‌ساختگی و انعطاف‌پذیری متناسب با جنبش معماری مدرن باشد و به این ترتیب به شما اجازه می‌دهد تا حد ممکن سطح شیشه در کلاس‌ها افزایش یابد. در قرن بیست و یکم، آموزش با کیفیت نیازمند یک مدرسه چند منظوره و در ارتباط با محیط زیست با بالاترین کیفیت است.

توسعه نور روز در مدارس را می‌توان به صورت نوسان یک آونگ به جلو و عقب تصور کرد، از پنجره‌های کوچک به تقاضای بزرگتر بودن پنجره‌ها، از کلاس‌های بدون پنجره تا مدارس غیرفعال خورشیدی. این بررسی نشان می‌دهد که سه عامل بالا، سبب پیشرفت نور روز در مدارس شده و در آینده نیز بر این موضوع تاثیر گذار خواهند بود. در نهایت با مشاهده پیشرفت‌های نور روز در مدارس در قرن ۱۹ و ۲۰،

[1] (IESNA) Illuminating Engineering Socity of North America

روندهای اخیر توسعه آن پیش‌بینی می‌شود. براساس تحقیقات انجام شده، توسعه فناوری، تغییر نظریه‌های آموزشی و قدرت تحول اجتماعی، سیاسی و اقتصادی به صورت قابل توجهی به توسعه روشنایی در مدارس کمک می‌کند. به نظر می‌رسد که این موارد در آینده نیز تغییرات مشابهی را ایجاد خواهند کرد. تغییر در مقررات و ضوابط سال‌های اخیر سبب حرکت از کمیت به کیفیت نور هم در مباحث تحقیقاتی و هم عملی شده است. به طور کلی ما درک درستی از کیفیت نور روز در مدارس و ارتباط میان کیفیت و کمیت آن نداریم و نیازمند تحقیقات گسترده تر است. بررسی اصول و ضوابط مرتبط با نور روز در ایران نیازمند به‌روزرسانی و حرکت دانش بنیان به سوی اهداف کشور است که پیشنهاد می‌شود موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و همچنین سازمان نوسازی و توسعه و تجهیز مدارس با به‌روزرسانی آئین‌نامه و ضوابط موجود گامی موثر در جهت بهبود کیفیت و کمیت روشنایی در مدارس بردارند و علاوه بر افزایش کارایی دانش‌آموزان، میزان مصرف انرژی نیز کاهش یابد.

تصویر ۱ دیاگرام تبیین لزوم بهره‌گیری از نور روز در مدارس را ارائه می‌دهد. براساس این دیاگرام توسعه نور روز در مدارس وابسته به سه اصل رشد و پیشرفت فناوری، بحث انرژی و همچنین پیشرفت نظریه‌های آموزشی است. بر این اساس با استفاده از شیوه‌های نوین دریافت نور روز می‌توان ضمن تامین روشنایی روز لازم برای فضا، سبب افزایش عمق نفوذ نور روز، بهبود یکنواختی و همچنین کاهش خیرگی مخل آسایش شده و به این ترتیب با توجه به تامین نور لازم توسط روشنایی طبیعی خورشید، میزان مصرف انرژی الکتریکی برای مصرف روشنایی را کاهش داد. توجه به بحث انرژی نیز بیانگر اهمیت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است. انرژی عامل اعمال قدرت حکومت‌ها برای توسعه است و به عنوان عنصری راهبردی و موثر در اقتصاد، سیاست و روابط بین‌الملل سبب توسعه و رشد کشورها می‌شود. از طرف دیگر با توجه به رشد نسبی جمعیت و همچنین رشد فعالیت‌های صنعتی در جهان، تقاضای انرژی افزایش یافته و در صورت بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی، با اثرات مخرب زیست محیطی و ژئوپلیتیکی مواجه خواهیم شد که غیرقابل جبران هستند. بنابراین با وقوع بحران انرژی در دنیا، بهره وری انرژی و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار مهم است. باتوجه به اینکه ایران دارای پتانسیل بالای انرژی خورشیدی است و براساس آمار موسسه منابع جهانی رتبه ۱۶ در پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان را داراست، لزوم بهره‌گیری از این انرژی در دسترس و رایگان بیش از پیش به اثبات می‌رسد.




**تصویر ۱- دیاگرام تبیین لزوم بهره‌گیری از نور روز در مدارس**

سومین عامل موثر در توسعه نور روز مدارس، پیشرفت نظریه‌های آموزشی در گذر زمان است. اهمیت محیط‌های یادگیری به واسطه حضور دانش‌آموزان به عنوان نسل آینده، تمرکز بر فرآیند آموزشی آن‌ها و همچنین توجه به کنترل سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان از جمله مواردی است که فارغ از تامین کمیت نور روز در فضاهای آموزشی مورد توجه قرار گرفته و لزوم تامین آسایش بصری در این فضا را نشان می‌دهد. امید است معماران اشتباهات قبلی را بررسی کرده و تغییراتی که در فلسفه و پیشرفت فناوری وجود دارد، نشان دهنده بهبود دائمی توسعه نور روز باشد، نه فقط چرخه‌ای برای بازگشت به شرایط فعلی. علاوه بر این، در سال‌های اخیر بیشتر تحقیقات در مورد نور روز از انجام فعالیت‌های بصری خاص به درک جنبه‌های کیفی نور منتقل شده است، اگرچه مطالعات قبلی درباره تاثیرات کیفی و روانشناختی نورپردازی بسیار پراکنده و فاقد برنامه مشترک برای راهنمایی محققان است اما دستیابی به نور روز مطلوب، آسایش بصری و بهره‌وری انرژی با توجه به مسیری که سیر بهره‌گیری از نور روز طی کرده، امری دست یافتنی است.

## منابع


۱. بوبکری، محمد. (۱۳۹۷). روشنایی طبیعی،استراتژی‌های طراحی ساختمان با رویکرد معماری و سلامتی. مترجم: محمدحسن زهتاب. انتشارات تامر. تهران.

۲. جهانگیر, محمد حسین, رشیدی, ریحانه. (۱۴۰۱). بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان آموزشی با کمک سناریوهای فیزیکی. برنامه ریزی شهری و توسعه منطقه‌ای، ۱ (۱)، ۷۳- ۸۸.

۳. حسین پوریان، سمانه. (۱۳۹۰). نقش کودک در شکل گیری فضاهای محیطی. نشریه معماری و فرهنگ، شماره ۴۶: ۴۶-۴۰.

۴. حیدری، شاهین. (۱۳۹۱). معماری و روشنایی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران.

۵. حیدری، شاهین، جهانی نوق، مجید. (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه‌جویی مصرف انرژی. انتشارات دانشگاه تهران.

۶. حیدری، شاهین. (۱۳۹۷). درآمدی بر روش تحقیق در معماری با نگرشی تحلیلی بر پایان‌نامه نویسی معماری. انتشارات کتاب فکرنو، تهران.
۷. معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی. (۱۴۰۱). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹. وزارت نیرو.
۸. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی دفتر فناوری اطلاعات و آمار. (۱۳۹۸). گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق. وزارت نیرو.
۹. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ طاهباز، منصوره؛ دولت آبادی، مهناز. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی تناسبات و نحوه‌ی استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی. نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی. ۲۱(۲)، ۸۱-۹۲.
10. Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Ghorbani, N., et al. (2018). Analysis of 100% renewable energy for Iran in 2030: integrating solar PV, wind energy and storage. International Journal of Environmental Science and Technology, 15, 17–36. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1373-4
11. Al-Obaidi, K. M., Munaaim, M. A. C., Ismail, M. A., & Rahman, A. M. A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. Solar Energy, 149, 85-101.
12. ANSI IESNA- RP-3-13. (2014). American National Standard Practice on Lighting for Education Facilities. Illuminating Engineering Society of North America, p. 30.
13. Atre, U. V. (2003). Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school (Unpublished master's thesis). Texas A & M University, College Station, TX.
14. Baker, L. (2012). A history of school design and its indoor environmental standards, 1900 to today. National Clearinghouse for Educational Facilities. New York.
15. Baker, N., & Steemers, K. (2002). Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers. James & James, London, UK.
16. Booth, R. (2008, July 21). £35bn revamp will produce generation of mediocre schools. The Guardian. https://www.theguardian.com/politics/2008/jul/21/education.secondaryschools
17. Boubekri, M. (2014). Daylighting design: Planning strategies and best practice solutions. Birkhauser, Boston.
18. BS 8206-2: 2008. Lighting for Buildings- Part 2: Code of Practice for Daylighting.
19. BS EN 12665:2011. Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.
20. Building Research Institute. (1959). Building illumination: The effect of new lighting levels. National Academy of Sciences, National Research Council.
21. Byrd, H. (2012). Post-occupancy evaluation of green buildings: The measured impact of over-glazing. Architectural Science Review, 55(3), 206-212.
22. Castaldi, B. (1969). Creative planning of educational facilities. Chicago, IL: Rand McNally & Co. https://archive.org/details/creativeplanning0000unse_e3m2/page/n9/mode/2up
23. Choi, H., Hong, S., Choi, A., & Sung, M. (2016). Toward the accuracy of prediction for energy savings potential and system performance using the daylight responsive dimming system. Energy and Buildings, 133(Supplement C), 271-280.
24. CHPS (The Collaborative for High Performance Schools). (2002). Best practices manual daylighting. Sacramento: CHPS.
25. Code for Interior Lighting. (1977). Chartered Institution of Building Services. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
26. Code for Interior Lighting. (1984). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, UK.
27. Derek, P. (1997). Lighting historic buildings. Butterworth-Heinemann, Boston.
28. Derek, P. (2004). Daylighting: Natural light in architecture (1st ed.). Architectural Press, Oxford, UK.
29. Doulos, L. T., Tsangrassoulis, A., Kontaxis, P. A., Kontadakis, A., & Topalis, F. V. (2017). Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming. Energy and Buildings, 140, 336–347. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.013
30. Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality: Measurements in experimental office rooms. Lund University, Sweden.
31. Dubois, M. C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European low-energy office buildings: A literature review. Energy and Buildings, 43(10), 2572-2582.

32. Dubois, M. C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy in buildings: A literature review. Energy Research Journal, 6, 25-41.
33. Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. Applied Energy, 97, 101-114.
34. Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Koster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings: Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1-13.
35. Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. Energy and Buildings, 38, 728-742. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001
36. Gelfand, L., & Freed, E. C. (2010). Sustainable school architecture: Design for elementary and secondary schools (1st ed.). Wiley.
37. Ghosh, A., & Norton, B. (2018). Advances in switchable and highly insulating autonomous (self-powered) glazing systems for adaptive low energy buildings. Renewable Energy, 126, 1003–1031.
38. Gregg, A. (1995). Daylighting performance and design. Van Nostrand Reinhold.
39. Haase, M., & Grynning, S. (2017). Optimized façade design: Energy efficiency, comfort, and daylight in the early design phase. Energy Procedia, 132, 484-489.
40. Hamlin, A. D. F. (Ed.). (1910). Modern school houses: Being a series of authoritative articles on planning, sanitation, heating, and ventilation (Vol. 1). Swetland Publishing Co.
41. Hamon, R. L. (1948). Needed research in the school-plant field. Review of Educational Research, 18(1), 5-12.
42. Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 323-343.
43. Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. ASHRAE Journal, 44, 65-67.
44. Hobday, R. (2016). Myopia and daylight in schools: A neglected aspect of public health? Perspectives in Public Health, 136(1), 50-55. https://doi.org/10.1177/1757913915576679
45. Illuminating Engineering Society of North America. (2000). IESNA lighting handbook (9th ed.). IESNA.
46. Illuminating Engineering Society. (2012). LM-83-12: Approved method: IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). https://www.techstreet.com/standards/ies-lm-83-12?product_id=1853773
47. International Energy Agency. (2010). Daylighting in buildings. AECOM.
48. Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The 'adaptive zone': A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research & Technology, 44(2), 149-170. https://doi.org/10.1177/1477153511420097
49. Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., et al. (2020). Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology, 52, 423–442.
50. Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology, 12(4), 305-317. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9
51. Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (4th ed.). John Wiley & Sons.
52. Leslie, R. P., Raghavan, R., & Howlett, O. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. Lighting Research & Technology, 37(1), 21-38.
53. Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. Lighting Research & Technology, 27(4), 181-188. https://doi.org/10.1177/14771535950270040701
54. Mardaljevic, J. (2001). The BRE-IDMP dataset: A new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Lighting Research & Technology, 33(2), 117-134. https://doi.org/10.1177/136578280103300209

55. Mardaljevic, J. (2021). The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. Lighting Research & Technology, 53(5), 489-513. https://doi.org/10.1177/14771535211022145
56. Marks, J. (2009). A history of educational facilities laboratories (EFL). National Clearinghouse for Educational Facilities, Funded by the U.S. Department of Education.
57. Mayhoub, M. S. (2014). Innovative daylighting systems' challenges: A critical study. Energy and Buildings, 80, 394-405. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019
58. McGuffey, C. (1982). Facilities. In H. J. Walberg (Ed.), Improving educational standards and productivity. McCutchan Publishing.
59. Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, 116, 190-205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009
60. Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings." Lighting Research & Technology, 37(1): 41-59.
61. NCSC (Ed.). (1964). NCSC Guide for Planning School Plants. National Council on Schoolhouse Construction.
62. Osterhaus, W. K. E. (1993). Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations." In Proceedings of the 1993 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto. New York, NY: IEEE.
63. Pandharipande, A., and Newsham, G. R. (2018). Lighting controls: Evolution and revolution." Lighting Research & Technology, 50, 115-128.
64. Ponmalar, V., and Ramesh, B. (2014). Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai." Energy Engineering, 111(4), 59-80.
65. Rea, M. S. (2012). The Trotter Paterson Lecture 2012: Whatever Happened to Visual Performance?" Lighting Research & Technology, 44(2), 95-108. https://doi.org/10.1177/1477153512441163
66. Rea, M. S. (Ed.). (2000). The IESNA lighting handbook: reference & application (9th ed.). New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.
67. Reinhart, C. F., and Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions – a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods." Energy and Buildings, 32(2), 167-187. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6
68. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., and Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design." LEUKOS, 3(1), 7-31. https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001
69. Reinhart, C., and Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds." Energy and Buildings, 33(7), 683-697.
70. Robson, E. R. (1972). School architecture. Leicester University Press.
71. Russell, S. (2012). The architecture of light: A textbook of procedures and practices for the architect, interior designer, and lighting designer (2nd ed.). Walnut, CA: Conceptnine.
72. Shen, E., Hu, J., and Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies." Building and Environment, 78, 155-170.
73. Simson, R., Fadejev, J., Kurnitski, J., Kesti, J., and Lautso, P. (2016). Assessment of Retrofit Measures for Industrial Halls: Energy Efficiency and Renovation Budget Estimation." Energy Procedia, 96, 124-133.
74. Taylor, A., and Enggass, K. (2008). Linking Architecture and Education: Sustainable Design of Learning Environments. University of New Mexico Press.
75. Tregenza, P., and Mardaljevic, J. (2018). Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer." Lighting Research & Technology, 50(1), 63-79. https://doi.org/10.1177/1477153517740611
76. Ward, G. J. (1991). RADIANCE Visual Comfort Calculation." Rapport interne, LESO, EPFL.
77. Weinstein, C. S. (1979). The Physical Environment of the School: A Review of the Research." Review of Educational Research, 49(4), 577-610. https://doi.org/10.3102/00346543049004577
78. Wienold, J. (2007). Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis." International Building Performance Simulation Association, 1197-1204.

79. Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 959-968. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061
80. Wu, W., and Ng, E. (2003). A Review of the Development of Daylighting in Schools.” Lighting Research & Technology, 32(2), 111-125.

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

**Research Paper**

# Analyzing The Effect of Introverted Houses In A Hot And Dry Climate on The Mental Health Of The Residents And Its Reflection in The Future Research Scenario of The Houses (Study Case: Traditional Houses of Yazd City with Archetypal Architecture)

**Mahsa Aghaei**: PhD student of Architecture, Department of Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
**Leila Zare**[*]: Assistant Professor, Creative Economy Research Center, West Tehran Branch, Department of Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Received:** 2024/06/15 **PP** 31-48 **Accepted:** 2024/07/29

## Abstract
The reason for many tensions in the family is the lack of an element called peace. The problems of modern life, the existence of new technologies that surround humans, biological and noise pollution, the volume of stressful news, and in contrast to these cases, the removal of many elements that had a special place in the past and caused happiness and vitality and patience of humans, such as the use of Water and green spaces, big houses with yards, social interactions have caused psychosis in humans. With the return of the elements that provide peace in the living space, many psychological adversities can be prevented and the house can be a safe haven for its residents, who can live in it regardless of all the anomalies outside. Communication with nature is the most essential human need. Research shows that nature and greenery can improve mental health. Today, architects design houses in a way that does not have a positive effect on human mental health. The purpose of this research is to analyze the effective factors of traditional houses (Yazd city) on human mental health and to meet the natural need of a person to experience diverse environments in order to achieve peace. The method of the current research is descriptive-analytical and the means of collecting information is library and field. The results of the research show that it is necessary to use the elements of traditional houses for the mental health of people in the present era and the design of future houses.

**Keywords:** Hot and Dry Climate, Introverted Architecture, Yazd Houses, Mental Health

**Citation:** Aghaei, M., & Zare, L. (2024). **Analyzing The Effect of Introverted Houses In A Hot And Dry Climate on The Mental Health Of The Residents And Its Reflection in The Future Research Scenario of The Houses (Study Case: Traditional Houses of Yazd City with Archetypal Architecture),** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 31-48.

[*]. **Corresponding author:** Leila Zare, **Email:** zare@wtiau.ac.ir, **Tel:** +989124401183

## Extended Abstract

### Introduction

Paying attention to the natural factors, especially the nature formed in the courtyards next to residential complexes, can improve the quality of life and make housing a more desirable space for human growth and excellence. But nowadays, due to obtaining more housing without paying attention to its quality, not only attention is not paid to the presence of natural elements in people's lives, but in many cases, the buildings even lack the necessary facilities of life. By examining the traditional houses of Yazd, this research looks for the role of the shaping elements of houses on people's mental health in addition to physical health.

### Methodology

This research was carried out in order to gain knowledge on the design of houses in the future, in order to improve and improve the environmental dimension of the house in architecture to improve mental health. The current research is a qualitative research and its research method is (descriptive) (analytical). In this regard, using library tools, texts and documents related to the concept of mental health were examined, and then the design principles of traditional houses in the city of Yazd and the elements present in its formation were examined by the field method and extracted by tables, and finally The influential indicators of houses on people's mental health have been presented.

Paying attention to the natural factors, especially the nature formed in the courtyards next to residential complexes, can improve the quality of life and make housing a more desirable space for human growth and excellence. But nowadays, due to obtaining more housing without paying attention to its quality, not only attention is not paid to the presence of natural elements in people's lives, but in many cases, the buildings even lack the necessary facilities of life. By examining the traditional houses of Yazd, this research looks for the role of the shaping elements of houses on people's mental health in addition to physical health.

### Results and discussion

In this research, the significant features that exist in the traditional houses of Yazd and these factors affecting the mental health of people have been analyzed and investigated.

### Conclusion

According to the qualitative studies conducted and collected, it can be concluded that the four elements of nature (water, wind, earth, fire) in the traditional houses of Yazd soften the human spirit, which gives a greater sense of peace compared to contemporary houses. (apartments) gives people because in the traditional houses of Yazd there are traces of the elements of nature, elements that are denied to modern people in contemporary houses. Contemporary man has been deprived of living with the elements of nature, which give life and cause mental health. The architectural design of houses should be reconsidered as a safe place for humans, so that the physical and mental needs of humans can be solved by using it, and houses are not just shelters.

### References

1. Abna, H., Ayatollahi, S. M. H., & Iranmanesh, M. (2020). Architecture and nostalgia: A search for emotional concepts recalling the past in architectural space (Case study: Sokouhi traditional house in Yazd). Architecture of Hot and Dry Climate, 8(12), 63-82. [In Persian]
2. Afshari Basir, N., Nasiri, B., & Mofidi Shemirani, S. M. (2017). The role of nature elements in the traditional houses of Yazd. Urban Management, 16(46), 297-306. SID. https://sid.ir/paper/92008/fa [In Persian]
3. Emamgholi, A. (2012). Therapeutic architecture: The impact of environmental architectural quality on human mental health. PhD dissertation in Architecture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. [In Persian]
4. Emamgholi, A. (2013). The impact of architecture on health: A concept for "therapeutic architecture". Behavioral Sciences, 6(20), 23-37. SID. https://sid.ir/paper/190403/fa [In Persian]
5. Aghalatifi, A., & Hojat, E. (2018). The impact of physical transformations on the concept of home in contemporary Tehran.

Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning, 23(4), 41-54. doi: 10.22059/jfaup.2018.219937.671690 [In Persian]

6. Aghalatifi, A., & Kelayi, V. (2018). The traditional houses of Sanandaj: A physical reading through the lens of living culture. Sofeh, 28(1), 111-131. [In Persian]
7. Basooli, M., & Omidvari, S. (2021). Storeroom, a secluded landscape in Iranian homes (A study of traditional houses in Yazd). Bagh-e Nazar, 18(104), 29-44. SID. https://sid.ir/paper/511703/fa [In Persian]
8. Barati, N., & Kakavand, E. (2014). A phenomenological exploration to understand ancient concepts in Iranian-Islamic architecture. Bagh-e Nazar, 13(42), 5-18. [In Persian]
9. Baghdadi, P., Dadvar, A., & Sabeti, M. (2022). The role of social values in the architectural structure of Qajar houses in Yazd from the perspective of the Quran, Hadith, and Islamic narrations. Iranian Social Development Studies, 14(3), 7-29. SID. https://sid.ir/paper/1064430/fa [In Persian]
10. Bamiyan, M. R., & Amini, M. (2014). Social architecture of the Iranian home. Tehran: Aval o Akhar. [In Persian]
11. Beiti, H., Redaei, M., Keynejad, M. A., Ahmadnejad, F., & Gharabaglou, M. (2023). Values of Muslim human beings and their manifestation in Iranian-Islamic architecture (Case study: Historical houses of Yazd). Iranian-Islamic Urban Studies, 14(51), 1-28. [In Persian]
12. Peyvastegar, Y., Heidari, A. A., & Eslami, M. (2017). Revisiting the five principles of Professor Pirnia in the architecture of traditional Iranian houses: An analysis based on Islamic beliefs (Case study: Yazd houses). Iranian-Islamic Urban Studies, 7(27), 51-66. [In Persian]
13. Taghipour, M., Heidari, A. A., & Kakaei, F. (2023). The spatial value concept in traditional Iranian houses based on lifestyle and spatial differences (Case study: Afsharian House, Shiraz). Architecture of Hot and Dry Climate, 11(1), 81-101. doi: 10.22034/ahdc.2022.2765 [In Persian]
14. Tofiq, M., & Forouzanfar, J. (2023). Semantic study of the nature of traditional architectural inscriptions and their identity impact on the globalization of Yazd city (Case study: Malekzadeh House). Islamic Art Studies, 19(45), 96-112. doi: 10.22034/ias.2022.315509.1803 [In Persian]
15. Haji Ghasemi, K. (2004). Ganjnameh: Yazd houses. Shahid Beheshti University. [In Persian]
16. Khanmohammadi, M. A., Pourahmadi, M., & Mozaffar, F. (2020). Analytical study of the impact of the physical parameters of the shell on visual comfort in traditional houses in the hot and dry climate of Iran (Case study: Five-door rooms in Yazd houses). Journal of Architectural Thought, 4(8), 135-153. doi: 10.30479/at.2020.10857.1231 [In Persian]
17. Damiyar, Z., Zare, L., Talaei, O., & Mokhtabad Amrei, M. (2023). Perception of meanings and meaning-making factors in traditional houses of Qajar era in Yazd with a cultural semiotics approach. Cultural Tourism, 4(14), 6-17. [In Persian]
18. Rahmani, E., Noraei, S., & Shokarfrosh, Z. S. (2011). The evolution of the void and solid patterns in contemporary Iranian housing. Abadi, 70, 0-0. SID. https://sid.ir/paper/489989/fa [In Persian]
19. Redaei, M. (2020). Manifestation of green architecture principles and standards in ancient desert buildings (Case study: Rasoulian House, Yazd). Environmental Sciences Studies, 5(4), 3059-3067. [In Persian]
20. Razavi Zadeh, A. S. (2020). Investigating the sustainability aspects of ancient architectural archetypes for modern house design (Deriving design rules based on hot and dry climate archetypes). Islamic Architecture Research, 8(2), 80-98. SID. https://sid.ir/paper/526207/fa [In Persian]
21. Taheri Sarmad, F., Eyni Far, A., & Shahcheraghi, A. (2019). Comparative study of spatial organization and physical elements of Qajar and Pahlavi houses in Kermanshah city. Iranian Archaeological Research, 9(23), 149-168. doi:

10.22084/nbsh.2019.18444.1895 [In Persian]

**22.** Fallahfar, F., & Raeisi, M. M. (2022). A reading of the influence of house structure on the Iranian-Islamic lifestyle over time (Case study: Kashan city). Islamic Architecture and Urbanism Culture, 7(1), 193-210. [In Persian]

**23.** Ghaffarian, V. (1998). Climatic study of traditional Iranian buildings. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

**24.** Ganji, H. (2011). Mental health (12th ed.). Tehran: Arasbaran Press. [In Persian]

**25.** Majidi, A., & Khodadadeh, F. (2018). The impact of light on human psychology. Quarterly Report. [In Persian]

**26.** Mashhadi, A., & Sinaei, A. (2023). Comparative analysis of the influence of cultural and climatic components on the physical and spatial configuration of Qajar houses in "hot and dry" and "hot and humid" regions of Iran. Architecture of Hot and Dry Climate, 11(1), 193-210. doi: 10.22034/ahdc.2023.19348.1706 [In Persian]

**27.** Memarian, G. (2009). The influence of religious culture on house design: A comparative study. Cultural Research Quarterly, 3(2). [In Persian]

**28.** Movahed, K. (2022). The impact of the physical environment on human search behavior (Ganjali Khan Square and Koatsar, Kerman). [In Persian]

**29.** Mahdavipoor, H., Sharifi Mehrjerdi, A. A., & Eslami Nosratabadi, M. (2017). The role of decorations in enhancing the spatial quality of traditional houses in Yazd: A case study of Shafi'pour House, Yazd. Housing and Rural Environment, 36(160), 133-149. [In Persian]

**30.** Varmaghani, H. (2022). The search for the concept of the Iranian home based on the compatibility of historical descriptions and physical structure (A study of Yazd and Isfahan houses). doi: 10.52547/ciauj.7.1.173 [In Persian]

**31.** Hashem Pour, P., & Mirahmadi, A. (2020). Explaining levels, characteristics, and degrees of transparency in architectural space. Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning, 25(1), 67-78. doi: 10.22059/jfaup.2021.302978.672459 [In Persian]

**32.** Altman, Irwin. (2004). Environment and social behavior, solitude, personal space, territory and crowding. Translation Ali Namazian Tehran: Shahid Beheshti University Press.

**33.** Bergefurt, Lisanne., Weijs-Perree , Minou., Appel-Meulenbroek, Rianne., Arentze, Theo., & de Kort,Yvonne. (2022). Satisfaction with activity-support and physical home-workspace characteristics in relation to mental health during the COVID-19 pandemic. Journal of Environmental Psychology, 81.

**34.** Hamzehnejad, M., Dadras, F., & Yekta, N. H. (2015). Houses' Physical Features based on Temperament Indicators. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 201, 317-324.

**35.** Khaki Qasr, free. (2017). Spatial plan of traditional houses of Yazd in relation to modern residence. Architecture of hot and dry climate, 6(8), 23-46.

**36.** Maslow, Abraham Harold. (1992). Toward Psychology. Translated by Ahmad Rizvani. Mashhad: Astan Quds Publications.

**37.** Pope, Arthur. (1998). The course and forms of Iranian painting. Translated by Yaqub Azhand, Tehran: Hermi Publications.

**38.** Sharami, H. J., & Hosseini, S. J. (2024). Theoretical framework of the Isfahani style: Inspiring sustainable aspects of a vernacular urban development. Frontiers of Architectural Research.

**39.** Silva, Patrícia., Barbosa, Fatima., Andre, Manuela., & Delerue Matos, Alice.(2022). Home confinement and mental health problems during the Covid-19 pandemic among the population aged 50 and older: A gender perspective. SSM - Population Health, 17.

**40.** sweet milk; & Mona Mirzadeh. (2018). The effect of light (natural and artificial) on human mood and psyche in interior architecture.

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

مقاله پژوهشی

# واکاوی تاثیر خانه‌های درونگرا در اقلیم گرم و خشک بر سلامت روان ساکنان و بازتاب آن در سناریو آینده‌پژوهی خانه‌ها (مورد پژوهی: خانه‌های سنتی شهر یزد با معماری کهن‌الگو )

**مهساآقائی**: دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
**لیلا زارع** [۱]: استادیار مرکز تحقیقات اقتصاد خلاق، واحد تهران غرب، گروه معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت:۱۴۰۳/۰۳/۲۶ صص ۴۸-۳۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

## چکیده

دلیل بسیاری از تنش‌ها در خانواده به نبود عنصری به نام آرامش برمی‌گردد. مشکلات زندگی مدرن، وجود فناوری‌های نوین که انسان را احاطه کرده‌اند، آلودگی‌های زیستی و صوتی، حجم اخبار استرس‌زا و در مقابل این موارد، حذف بسیاری از عناصر که در گذشته دارای جایگاهی ویژه بودند و موجب شادی و سرزندگی و صبوری انسان‌ها می‌شدند همچون استفاده از آب و فضای سبز، خانه‌های بزرگ و حیاط دار، تعاملات اجتماعی بسیار زیاد باعث روان پریشی در انسان شده است. با بازگشت عناصری که موجبات آرامش را، در فضای زندگی فراهم می‌آورند می‌توان جلوی بسیاری از ناملایمات روانی را گرفت و خانه می‌تواند مامن امنی باشد برای ساکنان آن، که فارغ از تمام ناهنجاری‌های بیرون در آن زندگی کنند. ارتباط با طبیعت، ضروری‌ترین نیاز فطری آدمی می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که طبیعت و فضای سبز می‌تواند بر ارتقای سلامت روان موثر باشد. معماران امروزه خانه‌ها را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که بر سلامت روان انسان تأثیر مثبت ندارد. هدف این پژوهش واکاوی عوامل موثر خانه‌های سنتی شهر یزد بر سلامت روان انسان و تامین نیاز فطری آدمی به تجربه‌ی محیط‌های متنوع در جهت نیل به آرامش می‌باشد. روش پژوهش حاضر توصیفی- تحلیلی و ابزار جمع‌آوری اطلاعات بصورت کتابخانه‌ای و میدانی است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که بکارگیری عناصر تشکیل دهنده خانه‌های سنتی برای سلامت روان انسان عصر حاضر و طراحی خانه‌های آینده، الزام می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اقلیم گرم و خشک، معماری درونگرا، خانه‌های یزد، سلامت روان

**استناد:** آقائی، مهسا و زارع، لیلا (۱۴۰۳). **واکاوی تاثیر خانه‌های درونگرا در اقلیم گرم و خشک بر سلامت روان ساکنان و بازتاب آن در سناریو آینده‌پژوهی خانه‌ها (مورد پژوهی: خانه‌های سنتی شهر یزد با معماری کهن‌الگو )**، *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۳۱-۴۸.

[۱] **نویسنده مسئول:** لیلا زارع، **پست الکترونیکی:** zare@wtiau.ac.ir ، **تلفن:** ۰۹۱۲۴۴۰۱۱۸۳

## مقدّمه

هنر پدیده‌ای است که می‌تواند مستقیم بر روح و روان بشر اثر بگذارد. معماری بارزترین جلوه هنر در هر دوره تاریخی و نشان دهنده فضای زیست آدمی است؛ شاید به ندرت بتوان هنری یافت که به اندازه معماری با زندگی مردم پیوند داشته باشد. خانه مبدا و مقصد زندگی روزمره انسان است. اهمیت این موضوع به حدی است که بسیاری خانه را مرکز دنیای فرد معرفی کرده‌اند. حیاط‌های مرکزی در خانه‌های سنتی یزد با بهره‌گیری از عناصر طبیعی از قبیل آب، باد، نور و گیاهان، شرایط بسیار خوبی برای زندگی انسان فراهم آورده بود. توجه به طبیعت و همجواری آن با فضاهای مسکونی در اکثر کشورهای جهان در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. توجه به عوامل طبیعی به ویژه طبیعت شکل‌گرفته در حیاط‌ها در کنار مجموعه‌های مسکونی می‌تواند کیفیت زندگی را ارتقا بخشیده و مسکن را فضای مطلوب‌تری، برای رشد و تعالی انسان قرار دهد. اما امروزه بدلیل دستیابی به مسکن بیشتر بدون توجه به کیفیت آن، نه تنها توجهی به حضور عناصر طبیعی در زندگی انسان‌ها نمی‌شود بلکه در بسیاری از موارد بناها حتی فاقد امکانات ضروری زندگی هستند. این پژوهش با بررسی خانه‌های سنتی یزد، به دنبال نقش عناصر شکل‌دهنده خانه‌ها بر سلامت روان انسان علاوه بر سلامت فیزیکی است. برای دستیابی به امر فوق لازم است تا به سوالات زیر پاسخ داده شود: ۱-چه مولفه ها و قواعد معناداری در ساختارهای فضایی و کالبدی خانه های سنتی یزد با معماری کهن‌الگو در اقلیم گرم و خشک قابل مشاهده است؟، ۲-تا چه حد می‌توان از کهن‌الگوهای گذشته خانه‌های سنتی با هدف سلامت روان انسان در طرح آینده خانه‌ها استفاده کرد؟

بر این أساس سعی شده است تا با توجه به سنت کیفی تحقیق، با روش توصیفی-تحلیلی به شناخت مولفه‌های موثر بر سلامت روان در خانه‌های سنتی پرداخته و آن‌ها را در هشت خانه سنتی یزد واکاوی نموده است.

## پیشینه و مبانی نظری تحقیق

مطالعات کمی در رابطه با معماری و سلامت روان انسان انجام شده است. استوارت چاپن[1] با در نظر گرفتن چندین متغیر مانند روشنایی، حریم خصوصی و غیره به تاثیر خانه بر روان انسان پرداخته است. کلودپینو[2] آسایش را بسته به تصور هر فرد از راحتی تعریف می‌کند که این نیز متکی بر رضایت انسان از عواملی مانند روشنایی، حریم خصوصی، رنگ‌ها و غیره است. البته تحقیقات زیادی در مورد رابطه خانه و جنبه‌های فیزیکی مرتبط با آن انجام شده است. این تحقیقات مشابه تحقیقات قبادیان در راستای آسایش اقلیمی انسان است. پیشینه پژوهش در قالب جدول ۱ گرداوری شده است.

**جدول ۱-پیشینه تحقیق**

| حوزه بررسی | ردیف | عنوان | پژوهشگران و سال انتشار | روش پژوهش | ملاحظات انجام شده | نتایج |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | تحلیل اثرپذیری مولفه‌های پیکره بندی کالبدی و فضایی خانه‌های قاجاری از فرهنگ و اقلیم در مناطق "گرم و خشک "و "گرم و مرطوب "ایران | علی مشهدی، آیلا سینایی ۱۴۰۲ | توصیفی تحلیلی | در این پژوهش به بررسی مولفه‌هایی همچون جهت‌گیری خانه، ترکیب‌بندی، تزیینات، سلسله مراتب، عملکرد، مقیاس، نور و روشنایی منجمله شاخصه‌هایی هستند که تحت تاثیر عوامل مختلف قرار گرفته و کالبد معماری را شکل داده‌اند که مشخص می‌شود کالبد معماری می‌تواند تحت تاثیر چند عامل تغییر کند. | در اقلیم گرم و خشک، عامل فرهنگ بیشترین تاثیر را بر روی نما و تزیینات، مقیاس خانه و عملکرد فضاها داشته و مصالح و ترکیب‌بندی بیشترین تاثیر را از اقلیم پذیرفته‌اند. |

[1] Stuart Chapin
[2] Clodpino

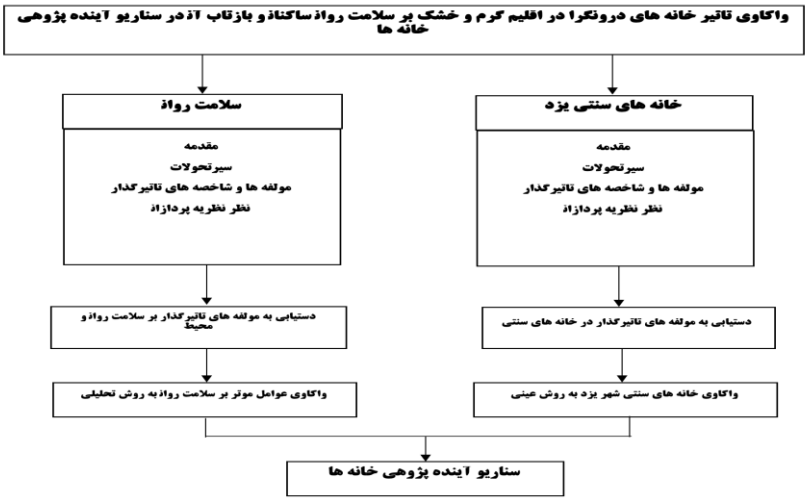
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **خانه‌های سنتی یزد در اقلیم گرم و خشک** | ۲ | ادراک معانی و عوامل معناساز خانه‌های سنتی دوره قاجار یزد با رویکرد نشانه شناسی فرهنگی | زینب دامیار، لیلا زارع، اویده طلایی، مصطفی مختاباد امریی ۱۴۰۲ | توصیفی– تحلیلی | این پژوهش در راستای وجوه هویتی در سیستم معنایی متنهای معماری در خانه‌های سنتی ایران در ورای مشهودات قرار دارد که میتوان این معنامندی را از طریق؛ خوانش و ادراک، تعمق و کنکاش در لایه‌های زیرین و نهفته این خانه‌ها پیدا کرد. | معانی در خانه‌های سنتی، به صورت مجموعه‌ای از ورودی‌ها و حیاط مرکزی تعریف شده‌اند که به مثابه متن‌های متعدد و با همبستگی کلیه شاخص‌ها تکرار شده‌اند. |
| | ۳ | ارزش‌های انسان مسلمان و نمود آن در معماری خانه ایرانی اسلامی (نمونه موردی: خانه‌های تاریخی شهر یزد) | مهشید ردایی، مینو قره بگلو**، محمدعلی کینژاد، فرهاد احمدنژاد، حامد بیتی ۱۴۰۲ | ترکیب روش استدلال منطقی، مطالعات توصیفی– تحلیلی و تاریخی | در این پژوهش، به شناسایی ارزش‌های انسانی حاکم بر خانه های ایرانی اسلامی می، تبیین ارتباط ارزش‌های انسانی با سبک زندگی ایرانی– اسامی و نمود شکلی آن در معماری خانه‌های تاریخی شهر یزد به عنوان نمونه مورد مطالعه انجام شده است. | ارزش‌های انسانی به شکل تکریم پیران، حقوق مهمان، حسن همجواری، پرهیز از اسراف، سلسله مراتب و... در خانه‌های تاریخی شهر یزد نمود یافته است. |
| | ۴ | بررسی مفهوم ارزش فضایی در خانه‌های سنتی ایران بر اساس دو عامل شیوه زندگی و تفاوت فضا (نمونه موردی: خانه افشاریان شیراز) | ملیحه تقی پور*، علی اکبر حیدری، فاطمه کاکایی ۱۴۰۱ | ترکیبی از نوع پیمایشی | در این پژوهش، به بررسی الگوهای رفتاری افراد استفاده‌کننده از فضاهای ساخته‌شده می‌تواند زمینه ساز خلق فضاهای مطلوبی شود که بیشترین بازدهی را برای استفاده‌کنندگان از آن فضا به همراه دارد. | منطق فرهنگی– اجتماعی حاکم بر فضاها و تاثیرات عمیق منتج از ان بر ساختار فضا و روابط بین فضاهای موجود در هر پیکره‌بندی فضایی منجر به شکل‌گیری نظام‌های فعالیتی و الگوهای رفتاری ساکنان مختلف بنا شده است. |
| | ۵ | جستجوی مفهوم خانه ایرانی با تکیه بر انطباق توصیفات تاریخی و ساختار کالبدی (مطالعه خانه‌های یزد و اصفهان) | حسنا ورمقانی* ۱۴۰۱ | ترکیبی از روش‌های تحلیلی توصیفی، تاریخی تفسیری و استدلال منطقی | پژوهش حاضر به بازاندیشی مفهوم خانه ایرانی با تکیه بر انطباق توصیفات تاریخی و ساختار کالبدی به ارزیابی مولفه‌های شکل دهنده می‌پردازد. | خانه‌های یزد در حد پایین‌تری از تقابل درون/برون و میزان بالاتری از گونه گونی دیداری و امتزا عرصه‌های طبیعی/ مصنوع را دارا هستند. |
| | ۶ | بررسی ابعاد پایداری کهن الگوهای معماری گذشته به منظور تداوم در طراحی خانه امروز ( استخراج احکام طراحی مبتنی بر کهن‌الگوهای اقلیم گرم و خشک) | اعظم سادات رضوی زاده** ۱۳۹۹ | روش کیفی تحلیلی و تطبیقی | در این پژوهش، به بررسی کهن‌الگوهای پایدار در معماری خانه‌های مورد مطالعه دوره قاجاریه کاشان و یزد، شناخت و بازنمایی در معماری خانه‌های امروزی پرداخته است؛ تا بتواند با رویکردی به نگرش معماری ایرانی و شناسایی کهن‌الگوها در مولفه‌های بومی، فضایی و فرهنگی جهت شکل‌گیری ساختار خانه‌ها دست یافته است. | کهن‌الگوهای معماری خانه‌های مورد مطالعه در ساختارهای طبیعی، کالبدی– فضایی و بصری قابل بازنمایی است . |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۷ | معماری و نوستالژیا، پویشی بر یادآوری مفاهیم عاطفی معطوف به گذشته در فضای معماری (مطالعه موردی: خانه سنتی شکوهی در شهر یزد) | حوریه ابنا*، سید محمد حسین ایت اللهی، محمد ایرانمنش ۱۳۹۹ | توصیفی و تفسیری | در این پژوهش، عطف به بروز احساس نوستالژیا در فضای معماری، به عنوان یکی از دغدغه های کیفی فضای معماری در راستای یک طراحی ادراکی مطرح می‌گردد. | روشنی ادراک، زنده بودن و غنی بودن جزییات، شدت هیجانی که تجارب محیطی می‌توانند ایجاد کنند، سه فاکتور اصلی زنده ماندن الگوهای محیطی قلمداد می‌گردند . |
| | ۸ | تبیین سطوح، شاخصه‌ها و مراتب شفافیت در فضای معماری (موردپژوهی: خانه رسولیان یزد) | احمد میراحمدی، پریسا هاشم پور* ۱۳۹۹ | توصیفی تحلیلی | در این پژوهش ابتدا به معنا و مفهوم دقیق شفافیت پرداخته تا ضمن تعیین چارچوب برای آن، بتوان اصل شفافیت در معماری را بررسی کرده و شاخصه‌ها و معیارهای استفاده از آن را مشخص نماید. | برای معماران همیشه ایجاد شفافیت حداکثری فضا مدنظر نبوده بلکه در بعضی از شاخصه‌ها، رویکردی کنترلی اتخاذ گردیده است. |
| | ۹ | بررسی تحلیلی تاثیر پارامترهای کالبدی پوسته در ایجاد آسایش بصری خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: اتاق‌های پنج دری خانه‌های سنتی یزد) | محبوبه پوراحمدی، محمدعلی خان محمدی*، فرمن مظفر ۱۳۹۸ | روش توصیفی- تحلیلی و بر اساس دو رویکرد تحقیق تجربی و تحقیق شبیه سازی | در این پژوهش با تایید عملکرد انرژی خانه‌های سنتی یزد و پایداری محیطی در آن‌ها، این نکته را مطرح می کند که این ساختمان‌ها چگونه در ارتباط با عملکرد آسایش بصری واکنش نشان داده و چگونه پارامترهای کالبدی پوسته، تامین کننده شرایط آسایش بصری ساکنان می‌باشد. | وضعیت کنونی پوسته تامین‌کننده شرایط آسایش بصری می‌باشد و می‌تواند به عنوان الگویی در بناهای جدید مورد توجه قرار بگیرد. |
| **سلامت روان** | ۱۰ | تاثیر نور(طبیعی و مصنوعی) بر خلق و خو و روان انسان در معماری داخلی | شیرین شیرویی، مونا میرزاده ۱۳۹۸ | کیفی | در این پژوهش به اهمیت و تاثیر نور در فضاهای داخلی با توجه به تاثیرپذیری جسم و روان انسان از نور پرداخته است و نورپردازی همانند دیگر مولفه‌های طراحی داخلی همانند رنگ، شکل، بافت و غیره بر حالات انسان از جمله عملکرد فرد، خلق‌وخوی و همچنین رفتارهای اجتماعی موثر است . | نور طبیعی یا انسان ساز، مستقیم یا غیرمستقیم در محیط حضور دارد و بر دو جنبه روانشناختی محیطی یعنی ادراک محیط و رفتار محیطی موثر است. |

(منبع: مطالعات نویسندگان)

## مواد و روش تحقیق

این پژوهش، برای دستیابی به دانش طراحی خانه‌ها در آینده، به منظور بهبود و ارتقا بعد محیطی خانه جهت سلامت روان انسان، صورت پذیرفته است. پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های کیفی و روش تحقیق آن بصورت توصیفی-تحلیلی می‌باشد. در این راستا، با استفاده از ابزار کتابخانه‌ای، متون و اسنادی که در ارتباط با مفهوم سلامت روان بود، مورد بررسی قرار گرفت و سپس به روش میدانی اصول طراحی خانه‌های سنتی در شهر یزد و عناصر موجود در شکل‌گیری آن بررسی شده است و توسط جداولی استخراج گردید. درنهایت شاخص‌های تاثیرگذار خانه‌ها بر سلامت روان افراد ارایه شده است. چارچوب نظری تحقیق در شکل ۱ تعبیه شده است.

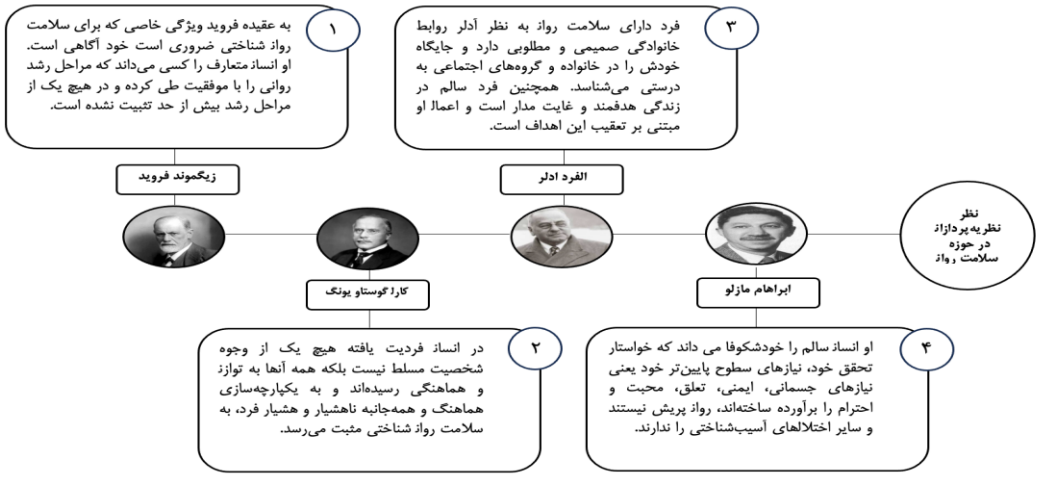



**شکل۱-چارچوب نظری تحقیق**( ترسیم: نگارندگان )

انسان موجودی چند بعدی و تحت تاثیر عوامل محیطی زیادی است که در سلامت روان او موثر است. یکی از عواملی که انسان زمان زیادی در آن سپری می‌کند فضای داخلی خانه است. انسان با قرارگرفتن در فضای داخلی خانه، تحت تاثیر مولفه‌های کالبدی و فیزیکی قرارگرفته و این تاثیر باعث تغییرات در انسان می‌شود که در سلامت روان او موثر است. معماری خانه‌ها باید تامین کننده سلامت جسم و روان انسان باشد.

## سلامت روان

سلامت روان، انبساط خاطر، شادکامی و تن‌آرامی پدیده‌هایی هستند که در ارتباط با محیط زیست توسط انسان‌ها تحقق می‌پذیرند. در اجتماعاتی که انسان‌ها تحت تأثیر عوامل نامساعد محیطی باشند مثل بیماری‌های اپیدمیک کرونا، نارسانایی‌های ناشی از گسترش شهرهای بزرگ (آلودگی هوا، ترافیک، محیط پرهیاهو)، جنگ، بحران‌های اجتماعی، از هم گسیختگی خانوادگی، تضادهای درون گروهی و برون گروهی فرهنگی و مسائلی از این قبیل نمی‌توان انتظار سلامت جسمی و روانی را داشت هریک از پدیده‌های اجتماعی و طبیعی بالا می‌تواند زندگی عادی یک شخصیت سالم را تحت تأثیر قرار داده و آن را از حالت طبیعی خارج کند. نظریه‌پردازان زیادی در حوزه سلامت روان بحث کرده‌اند از جمله زیگموند فروید[1] کارل گوستاو یونگ[2] ابراهام مازلو[3] الفرد ادلرکه در شکل ۲ جمع‌اوری شده‌است.




**شکل۲- نظر نظریه‌پردازان در حوزه سلامت روان** (ترسیم: نگارندگان )

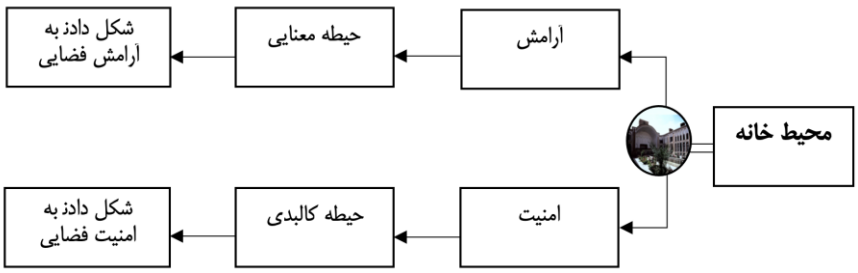
[1] Sigmund Freud
[2] Carl Gustav Jung
[3] Abraham Maslow

## معماری محیط خانه و سلامتی روان انسان

عوامل متعددی در ایجاد سلامت روان انسان موثر هستند. معماری محیط کالبدی خانه در کنار سایر عوامل، سهمی موثر دارد. تنش‌های روانی به عنوان مهمترین عامل مخاطرات روحی و جسمی در مقابل انسان‌ها قرار گرفته که یکی از مهمترین دلایل آن محیط‌های نابسامان شهری و سکونت‌گاه‌ها است. ایروین آلتمن[1] می‌گوید: محیط و رفتار آنقدر درهم تنیده شده‌اند که به سختی می‌توان آن‌ها را از هم تفکیک کرد. رفتار را نمی‌توان مستقل از رابطه درونی انسان با محیط درک کرد. رفتار را باید در بستری محیطی تعریف کرد( Altman,2004: 252). انسان و محیط رابطه متقابل با یکدیگر دارند و از یکدیگر تاثیر پذیر هستند. محیط خانه و سلامت انسان رابطه دوسویه دارند که در شکل ۳ نشان داده شده است.

**شکل ۳- رابطه دوسویه سلامت انسان و محیط** (ترسیم: نگارندگان )

مسکن نامناسب می‌تواند منجر به مشکلات جسمی و روحی در انسان، همچون روان پریشی، اختلالات روانی و افسردگی شود. ویژگی‌هایی مانند: نوع مسکن، طبقه ساختمان، کیفیت کلی ساختمان و امنیت عواملی هستند که می‌توانند سلامت روانی ساکنان را بشدت تحت تاثیر قرار دهند(Majidi et al, 2018) . انسان در هر فضایی به دنبال آرامش و امنیت است. سلسله مراتب آرامش و امنیت در محیط خانه در شکل ۴ نشان داده شده است.

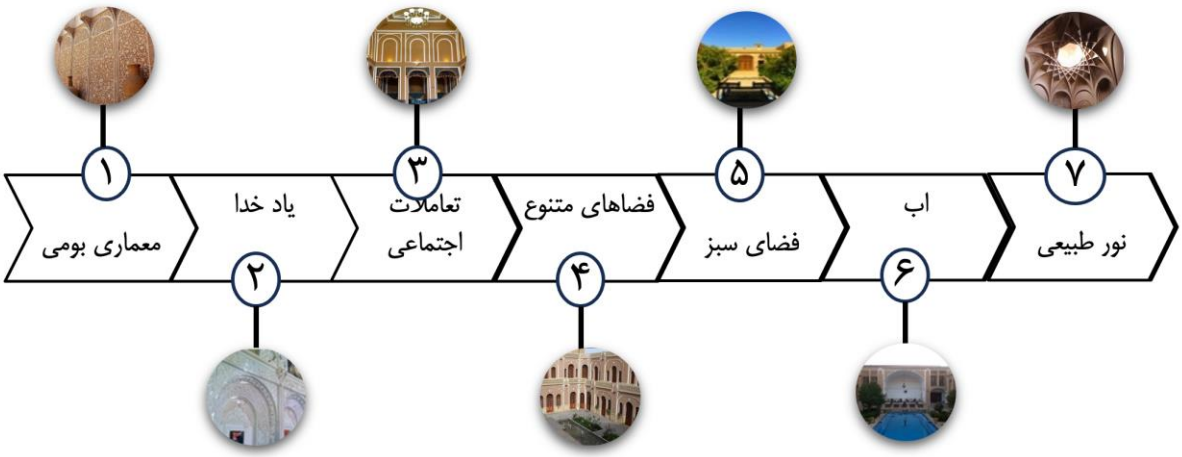



**شکل۴-مفهوم محیط و حریم خانه** (ترسیم: نگارندگان )

## عوامل اصلی در شکل‌گیری خانه‌های سنتی و موثر بر سلامت روان انسان

محیط و قابلیت‌های آن همواره با انسان و نیازهایش در تعامل است این تعامل هم سمت و سویی موثر و مفید در جهت زندگی سالم انسان به خود می‌گیرد که می‌تواند توسط طراح و سازنده، مخرب و نامطلوب گردد(Movahed, khosro, 2023). عناصر شکل دهنده در خانه‌های سنتی بر سلامت ساکنان آن موثر است که می‌تواند علاوه بر سلامت جسم، سلامت روان افراد را هم تامین کند. مهمترین عناصر موثر بر سلامت روان انسان در معماری خانه‌های سنتی، میتوان به نور طبیعی، عنصرآب در فضای باز، فضای سبز و گیاهان، فضاهای متنوع در طراحی بنا که از سکون و یکنواختی انسان جلوگیری می‌کند، فضایی در خانه‌ها برای تعاملات اجتماعی، یاد خدا که گاهی در تزیینات فضای داخلی دیده می شود و معماری بومی که باعث آسایش و آرامش انسان در بنا می‌شود، اشاره نمود. که در شکل ۵ این عوامل نشان داده شده است.

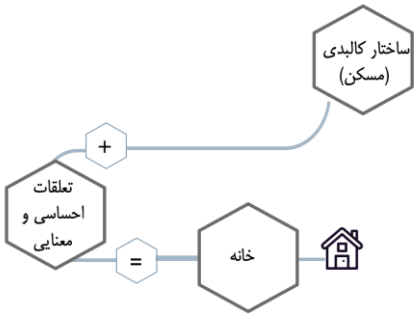
[1] Irwin Altman




**شکل۵- عوامل اصلی در شکل‌گیری خانه‌های سنتی و موثر بر سلامت روان انسان** (ترسیم: نگارندگان)

**خانه**

خداوند خانه را محل آسایش و آرامش جسمی و روانی انسان قرار داده است و این به معماری بستگی دارد که ویژگی‌های فیزیکی خود را به گونه‌ای بسازد که این هدف را فراهم کند. در ادبیات تخصصی واژه‌های خانه و مسکن متفاوت از یکدیگر استفاده شده‌اند، در این نوشتار مسکن ساختار کالبدی و خانه، مجموع این ساختارکالبدی و معانی و مفاهیم وابسته به آن در نظر گرفته شده است( Aqaltifi and Keliai, 2017:131). خانه در معنای محتوایی خود با مفاهیمی همچون آسایش، آرامش، امنیت روح و روان و محلی که این نیازها را تحقق می‌بخشد، همراه است و حیاط که مهمترین فضا در خانه‌های تاریخی ایران است، مکانی برای برآورده ساختن این نیازها بوده است. خانه قدمتی به اندازه زندگی انسان دارد. خانه پاسخی به نیازها و خواسته‌های فطری بشر است و از این رو به اسامی متفاوتی خوانده می‌شود. آنچه در اولین تصور از خانه در ذهن تداعی می‌گردد، یک سرپناه یا مکانی برای آسایش و آرامش که می‌تواند حتی شامل یک اتاق و یا یک چهار دیواری گردد. در واقع خانه به معنای ترکیب ساختار فیزیکی و ویژگی های احساسی و معنایی یک فضا است که رابطه مسکن و خانه در شکل ۶ نشان داده شده است.



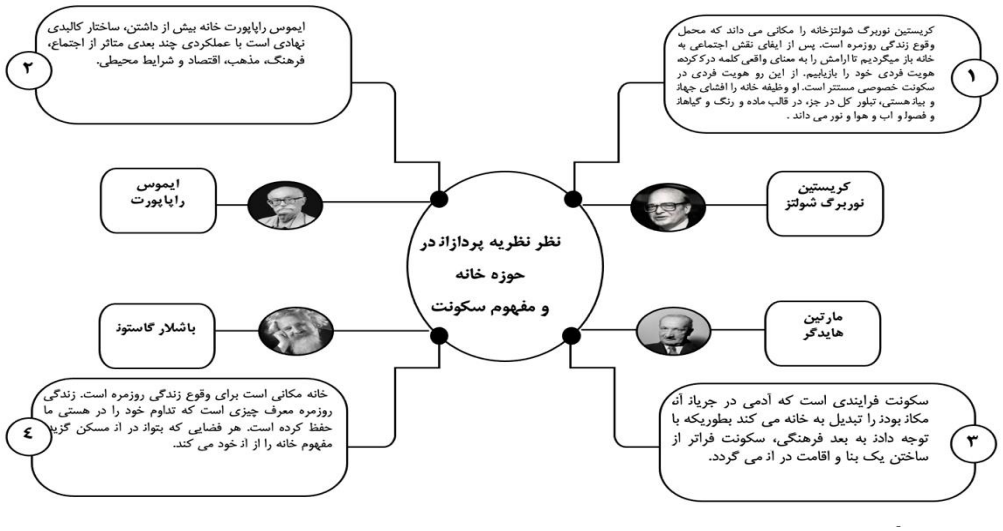

**شکل۶-مفهوم مسکن و خانه** (ترسیم: نگارندگان )

لغت نامه دهخدا: خانه آنجایی است که در آن آدمی مسکن می‌کند. (ناظم الاطبا) سرا، منزل، مستقر.

فرهنگ معین: از متون قدیم بر می‌آید که خانه و سرای با هم فرق دارند. خانه به معنی اتاق است و سرای به معنی حالیه خانه دار عربی یعنی مجموع محوطه‌ای که شامل اتاق‌ها و حیاط و غیره است.

فرهنگ فارسی عمید: خانه، چهار دیواری که دارای سقف باشد، اتاق جایی که انسان در آن زندگی می‌کند. منزل، مکان، نشیمن. در قدیم خانه به معنی اتاق گفته شده و سرای مجموع اتاق‌ها بوده، امروز خانه به معنی سرای یعنی چهار دیواری شامل حیاط و اتاق‌های آن نیز گفته می‌شود.

نظریه‌پردازان زیادی در باب مفهوم خانه نظر داده‌اند از جمله کریستین نوربرگ شولتز[1] ایموس راپاپورت[2] مارتین هایدگر[3] باشلار گاستون[4] و بسیاری دیگر؛ اما موضوع قابل توجه این است که تمامی نظریه‌پردازان بر این امر مصمم هستند که خانه، مکانی بیش از ساختار کالبدی و عالم ماده است. نظر نظریه‌پردازان در باب مفهوم خانه در شکل ۷ جمع‌اوری شده‌است.




**شکل ۷- نظر نظریه‌پردازان در حوزه خانه** (ترسیم: نگارندگان )

## سیر تحولات تاریخی خانه

معماری دوره قاجار را می‌توان آخرین دوره از معماری الگویی ایران، دوره دگردیسی مفاهیم معماری ایران و شکل‌گیریگونه‌های جدیدی از عناصر معماری دانست. با تامل بر هنر دوره قاجار در می‌یابیم که هنرمندان آن دوره به روال فرهنگ ایرانی این گونه عمل نموده‌اند که فرهنگ بیرونی را در خود مستحیل سازند نه خویشتن را در آن؛ این یکی از ارزشمندترین رویکردهای هنر قاجاری است (Pope,۱۹۹۸:۱۴۹). در این دوره تحولات اجتماعی متعددی در جامعه ایرانی صورت گرفت که زمینه های تضعیف هنرهای بومی و گسترش هنرها و اندیشه‌های غربی را بیش از پیش فراهم آوردالبته تاثیراتی که در دوره قاجار از معماری اروپا و غرب گرفته شد، تاثیراتی در فرم معماری و عناصر تزیینی است. در دوره ی سنتی از قوس‌های جناقی شکل،انواع طاق نماها، انواع مقرنس‌ها و کاربندی برای تزیین سقف و پیش‌طاق، آجرکاری و کاشیکاری‌های نما استفاده شده است (Rahmani et al, 2011:12). به هر حال هر دو الگوی درونگرا و برونگرا در دوره ی قاجار دیده می‌شود. خانه‌ی مسکونی از چهار جبهه با حیاط مرکزی یا باغ در ارتباط فیزیکی و بصری قرار می‌گیرد. در این الگو، حیاط به عنوان قلب تپنده‌ی خانه‌ی مسکونی می‌باشد (Taheri et al, 2018:153). اواخر قاجاریه تا اوایل پهلوی، حیاط مرکزی همچنان بخش بزرگی از بناها را تشکیل می‌دهد، حضور ایوان نیز در کالبد بنا محسوس است. از دلایل این امر میتوان به ارزان بودن زمین، جمعیت کم و تفکر سنتی حاکم بر جامعه اشاره کرد که در نهایت به درونگرایی بیشتر بناها منجر شده است (Qabadian,1998) .

در دوره پهلوی الگوبرداری از معماری غرب در ساخت منازل اعیان و اشراف رایج گردید. اگرچه الگوی مسکن ایرانی از درونگرا به برونگرا تبدیل شد و ارزش معنوی حیاط کاملا از دست رفت، اما کارکرد فیزیکی حیاط به صورت تضعیف شده‌ای وجود داشت. اکثر ساختمان‌های محله، یک یا دو طبقه بودند. بنابراین می‌توان گفت که تقریبا اشرافی به داخل حیاط‌های برونگرا از سمت همسایگان وجود نداشت (Rahmani et al, 2011:12).ارتباط فضاهای داخلی با حیاط که در دوره قاجار از چهار جبهه میسر بود و در این دوره تنها از یک جبهه و یا گاهی از دو جبهه میسر گردید ( Taheri sarmad,۲۰۱۸:۱۴۹) در معماری معاصر (دهه نخستین دوره پهلوی به بعد) تغییرات عمده در شهرنشینی و مقررات شهرسازی و با کنار رفتن معماری سنتی، تفکر جدیدی از اروپا تحت عنوان مدرنیسم با مشخصه‌ی فردگرایی در خلق فضاهای معماری آغاز شد. اولین گرایش‌ها به سمت پلان آزاد در خانه ها بود که با توجه به استفاده از شیوه‌های ساخت سنتی باعث ایجاد بهم‌ریختگی در ساختار خانه‌ها گشت. هماهنگی بین خطوط نما و خطوط پلان تا حدود زیادی از بین رفت. استقرار بنا در یک سوی زمین، قوی شدن ارتباط درونی بنا با فضای بیرون در این

[1] Christian Norberg Schultz
[2] Amos Rapaport
[3] Martin Heidegger
[4] Bachelard Gaston

دوره آغاز شد (Haqjo et al, 2019: 124). معماری خانه‌ها سیر تحول بسیاری را از دوره قاجار تا دوره معاصر گذرانده است که در شکل ۸ میتوان سیر تحولات تاریخی خانه را مشاهده کرد.

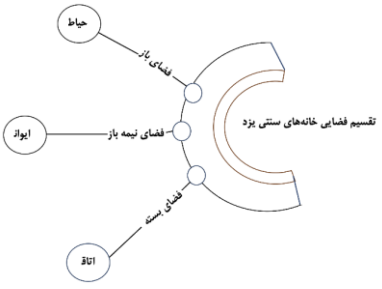
**شکل ۸- سیرتحولات تاریخی خانه** (ترسیم: نگارندگان)

**اقلیم گرم و خشک**

فلات مرکزی و شرق ایران که دارای شرایط آب و هوایی نیمه استوایی هستند این اقلیم را شامل می‌شوند. اقلیم گرم و خشک دارای پوشش گیاهی بسیار کم، اختلاف شدید دمای شب و روز(در تابستان دمای سطح زمین در روز تا ۷۰ درجه سانتیگراد و در شب به ۱۵ درجه سانتیگراد) می‌رسد. حداقل اختلاف دمای شب و روز تا 20 درجه سانتیگراد است. گرمای شدید و خشکی هوا در فصل تابستان، زمستان‌های سرد و سخت را دارد(Jafari sharami, Hosseini, 2024:349).

**أصول معماری درونگرا در خانه‌های یزد در اقلیم گرم خشک**

درونگرایی یکی از اصول معماری در اقلیم گرم و خشک است که در ساخت خانه‌های سنّتی شهر یزد، بسیار مورد توجه بوده است. تفکر درونگرایی در ساخت بناها در قالب استفاده از آرایه‌های فاخر و زیبا در بخش داخلی خانه در مقابل جلوه ساده و بدون تزیین بیرون، نمود یافته است. دین اسلام نیز با تاکید بر موضوع محرمیت و حریم خانواده در خانه‌های مسلمانان، آن را مایه ارامش فرد تبیین می‌کند(Razavizadeh, 2010:80). در یزد جهت قرارگیری خانه‌ها تقریبا در جهت قبله است. در کویر و حاشیه آن، فضاهای خانه‌ها باید محصور به حیاط مرکزی باشد حتی در خانه های کوچک نیز اصل معماری درونگرا رعایت می‌شود این نوع سازماندهی فضا نه تنها از لحاظ اقلیمی بلکه از لحاظ روحی و اعتقادی نیز دارای اهمیت بوده است. تقسیم فضایی خانه‌های سنتی یزد در شکل ۹ و سلسله مراتب معماری خانه های سنتی یزد در شکل ۱۰ نشان داده شده است.




**شکل۹-تقسیم فضایی خانه‌های سنتی یزد** (ترسیم: نگارندگان )

**شکل۱۰-سلسه مراتب معماری خانه‌های سنتی یزد** (ترسیم: نگارندگان)

## بررسی شاخصه‌های فیزیکی معنادار خانه‌های سنتی یزد بر سلامت روان انسان

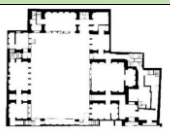
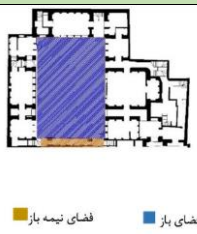
بررسی‌ها نشان می‌دهد که خانه‌های سنتی، نیازهای جسمی و روحی انسان را برآورده می‌کرده است. خانه‌های سنتی یزد از نظر شش ویژگی مورد بررسی قرار گرفته است، که این شش ویژگی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

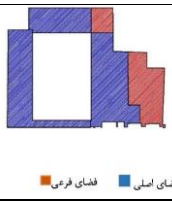
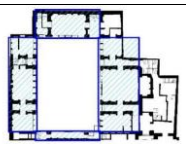
**شکل ۱۱-شش شاخصه معنادار خانه‌های سنتی یزد** (ترسیم: نگارندگان )

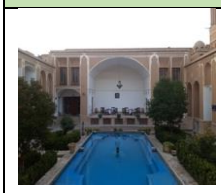
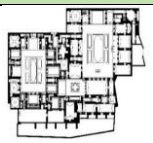
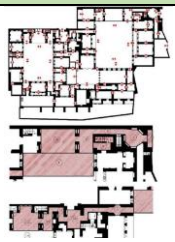
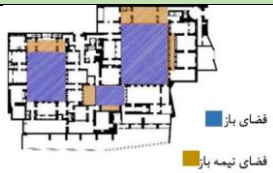
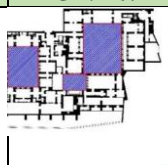
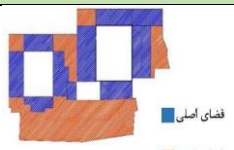
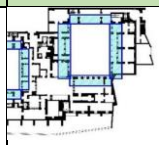
## ارائه یافته‌های تحقیق

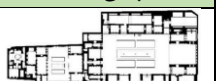
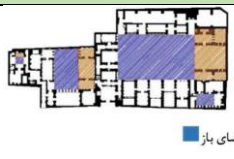
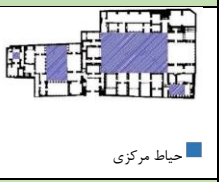
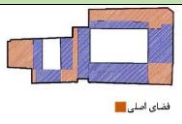
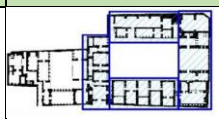
در این مرحله در جدول ۲، به بررسی، تحلیل و آنالیز مولفه های موثر بر سلامت روان انسان در شکل گیری هشت خانه سنتی شهر یزد پرداخته شده است.

**جدول۲- تحلیل مولفه های موثر بر سلامت روان انسان در خانه سنتی شهر یزد**

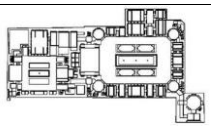
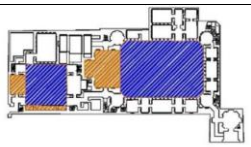
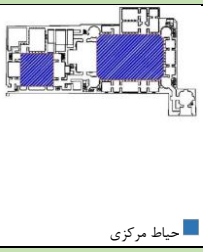
| خانه | موقعیت | سیرتاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۱-ملک التجار | خیابان قیام، داخل بازارچه پنجه علی | دوره قاجار | -مساحت تقریبی بنا ۷۰۰ مترمربع می‌باشد. -خانه مبتنی بر یک ورودی و یک حیاط می‌باشد. کشیدگی حیاط در امتداد شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد و حوضی مستطیل شکل توام با باغچه‌هایی در مرکز آن واقع شده است.-ورودی خانه مشتمل بر پیش ورودی، سردر، هشتی با قاعده مربع شکل از طریق دالانی به حیاط منتهی می‌گردد. | |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  | ۰-پیش ورودی ۱-هشتی ۲-خدماتی ۳-دالان ۴-سه دری ۵-پنج دری ۶-حیاط ۷-دالان ۸-ایوان ۹-پلکان ۱۰-طبقه بالا | |   | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |

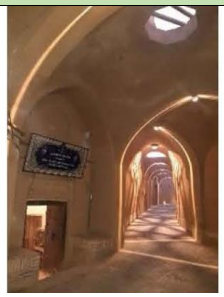
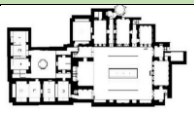
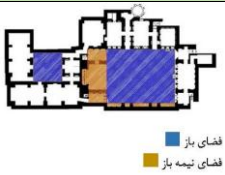
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| |  |  | | |
| **توضیحات** | وجود عناصر اربعه، تزیینات، حیاط مرکزی و فضاهای متنوع، این خانه را به مامن امن برای جسم و روح انسان تبدیل کرده است. | | | |

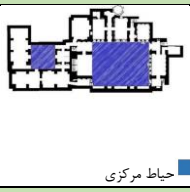
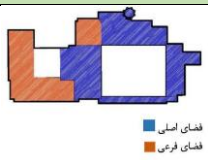
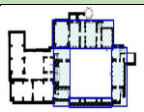
| خانه | موقعیت | سیر تاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۲-گلشن | محله نل، خیابان دهم فروردین، دروازه قصاب‌ها، جنب آب انبار گلشن | اواسط دوره قاجار (۱۲۵۴) | -مساحت بنا ۱۰۵۷ مترمربع می‌باشد.<br>-خانه مبتنی بر دو ورودی و سه حیاط می‌باشد. این دو حیاط با قاعده مستطیل شکل تقریبا در جهت شمال شرق -جنوب غرب قرار گرفته‌اند.<br>-ورودی خانه به حیاط غربی، که مفصل‌تر است مرتبط می‌باشد. ورودی دوم نیز که در ضلع جنوب غربی خانه قرار گرفته با راهروهایی به حیاط اصلی متصل می‌گردد.<br>-حیاط سوم (نارنجستان) خانه کوچک‌تر است. |  |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  |  <br>۰-پیش ورودی ۱-هشتی ۲-دالان ۳-تختگاه ۴-حیاط ۵-تالار ۶-دالان ۷-راه‌پله گوشوار ۸-گوشوار ۹-دالان ۱۰-هشتی ورودی دوم ۱۱-دالان ورودی دوم ۱۲-تختگاه ۱۳-تالار ۱۴-حیاط | |  | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
|  |  |  | | |
| **توضیحات** | وجود بادگیر در فرم بنا و استفاده از مصالح بومی و اصل درونگرایی در خانه باعث ایجاد آسایش و آرامش در فضا و در نهایت سلامت روان انسان می شود. | | | |

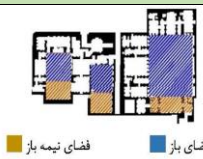
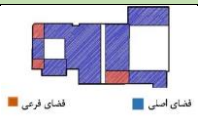
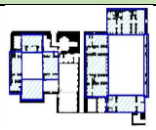
| خانه | موقعیت | سیرتاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۳-لاری‌ها (غلامحسین) | محله فهادان، گذر یوزداران | اواسط دوره قاجار | -مساحت بنا ۸۸۰ مترمربع است.<br>-خانه مبتنی بر دو ورودی و سه حیاط می‌باشد. حیاط اصلی بزرگ و مستطیل شکل است و کشیدگی آن در امتداد شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد.<br>-ورودی مفصل‌تر خانه مابین حیاط اصلی و حیاط کوچک‌تر(غربی) قرار گرفته و ورودی دیگر نیز در مجاورت حیاط سوم و جداره شمال غربی حیاط اصلی واقع شده است. | |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  | <br>۰-پیش ورودی۱-هشتی ۲-دالان ۳-پلکان ۴-گوشوار ۵-دالان ۶-پلکان ۷-پشت بام ۸-تختگاه ۹-تالار ۱۰-حیاط کوچک ۱۱-حیاط بزرگ ۱۲-تختگاه ۱۳-تالار | |  <br>فضای باز<br>فضای نیمه باز | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
|  <br>حیاط مرکزی |  <br>فضای اصلی<br>فضای فرعی |  | | |
| **توضیحات** | وجود شفافیت در پلان و استفاده از نور طبیعی در فضای خانه و بکارگیری رنگ در فضاها، این بنا را به مکانی دلنشین برای انسان تبدیل کرده است. | | | |

| خانه | موقعیت | سیرتاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۴-مرتاض | محله تبریزیان، خیابان قیام، بازار تهرانی‌ها، ک محمودی | اوایل دوره قاجار | -مساحت بنا تقریبا ۷۰۰ مترمربع می‌باشد.<br>-خانه مبتنی بر دو ورودی و دو حیاط می‌باشد. حیاط اصلی بزرگ‌تر و مفصل‌تر است.<br>-ورودی اصلی مفصل بوده و مشتمل بر پیش ورودی، سردر، هشتی و دالان می‌باشد و به گوشه حیاط بزرگ‌تر می رسد. در مقابل ورودی حیاط کوچک‌تر منحصرا واجد سردر و دالانی کوتاه است. | |
| **پلان خانه** | **جزئیات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |

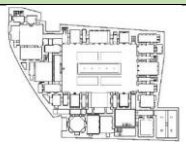
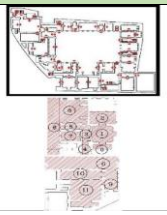
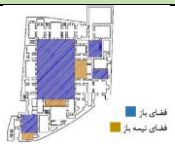
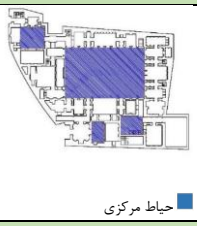
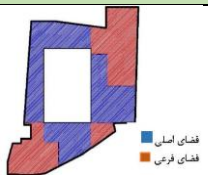
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
|  | <br>۰-پیش ورودی۱-هشتی ۲-دالان ۳-فضای هشت ضلعی۴-پلکان ۵-طبقه دوم ۶-دودری ۷-حیاط ۸-فضای هشت ضلعی ۹-پلکان ۱۰-گوشوار ۱۱-پلکان ۱۲-زیرزمین ۱۳-دالان ۱۴-تالار | |  <br> | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
|  <br> | <br> | | | |
| **توضیحات** | تلفیق آب و گیاه درحیاط مرکزی این بنا، هم باعث سایه اندازی می‌شود و هم دیدن این مناظر از داخل باعث تلطیف روح انسان می‌شود. | | | |

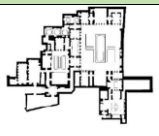
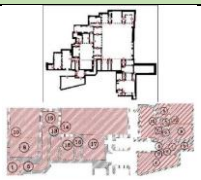
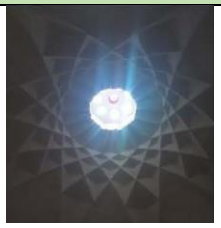
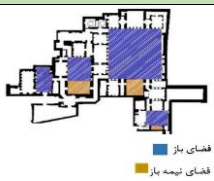
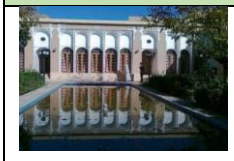
| خانه | موقعیت | سیر تاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۵-ملک زاده | محله فهادان، مجاور مدرسه ضیائیه و مسجد چهل محراب | دوره قاجار | -مساحت بنا تقریبا ۸۰۰ مترمربع می‌باشد.<br>-خانه متشکل از یک ورودی، یک حیاط اصلی و یک حیاط کوچک‌تر است. کشیدگی حیاط اصلی با قاعده‌ای مستطیل شکل در جهت شمال به جنوب می‌باشد. حیاط کوچک یا نارنجستان نیز به شکل مربع، مشتمل بر حوض کوچک هشت ضلعی در میان حیاط و چهار باغچه کوچک در چهارگوشه آن در ضلع جنوبی حیاط اصلی و پشت تالار خانه واجد مطبخ، انباری و هیزم‌دان است. |  |
| **پلان خانه** | **جزئیات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  | <br>۰-پیش ورودی ۱-هشتی ۲-دالان ۳-دالان ۴-پلکان ۵-پشت بام ۶-دالان ۷-سه دری ۸-پستو ۹-دودری ۱۰-دالان ۱۱-حیاط ۱۲-تختگاه ۱۳-مطبخ ۱۴-تالار ۱۵-پلکان ۱۶-گوشوار | |  <br> | |

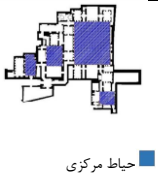
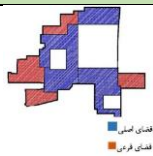
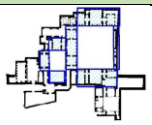
| درونگرایی | فضاهای متنوع | شفافیت | آب و گیاهان | رنگ فضاها |
|---|---|---|---|---|
|  حیاط مرکزی |  فضای اصلی فضای فرعی |  | | |
| **توضیحات** | وجود طاق‌های بلند و تزیینات این بنا، که در این تزیینات یاد خدا دیده می شود. شفافیت در فضای داخلی این بنا، همگی در سلامت روان انسان موثرند. | | | |

| خانه | موقعیت | سیرتاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۶-کلاهدوزها | محله فهادان، ما بین خیابان قیام و خیابان امام خمینی شمالی، کوچه کلاهدوزان | اواخر دوره قاجار | -مساحت تقریبی بنا ۱۲۰۰ مترمربع می‌باشد.-خانه مبتنی بر دو ورودی و سه حیاط می‌باشد. حیاط اصلی با قاعده‌ای مستطیل شکل در جهت شمال شرقی-جنوب غربی قرار گرفته است و واجد دو حوض آب و هشت باغچه در مرکز می‌باشد. -ورودی مفصل‌تر خانه مشتمل بر پیش ورودی، سردر و هشتی از طریق دالانی به زیرزمینی واقع در جداره شمال غربی بنا به حیاط اصلی منتهی می‌گردد. ورودی دیگر در گوشه جنوب غربی قرار گرفته است. | |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
| | ۰-پیش ورودی ۱-هشتی ۲-دالان ۳-دالان ۴-دالان ۵-سه دری ۶-پنج دری ۷-سه دری ۸-تختگاه ۹-خدماتی ۱۰-پلکان ۱۱-زیرزمین ۱۲-تالار | |  فضای نیمه باز فضای باز | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
| حیاط مرکزی |  فضای اصلی فضای فرعی |  | | |
| **توضیحات** | وجود پنج دری‌ها و ارتفاع آن تا کف اتاق که باعث تلفیق فضای درون و بیرون می‌شود. وجود نور طبیعی در همه فضاهای این بنا، می‌تواند از عوامل موثر بر سلامت روان، علاوه بر سلامت جسمی انسان باشد. | | | |

| خانه | موقعیت | سیرتاریخی | فضاهای خانه | فرم بنا |
|---|---|---|---|---|
| ۷-اخوان سیگاری | میدان میرچخماق، خیابان امام خمینی، کوچه سوم | اوایل، اواسط و اواخر دوره قاجار و بخشی از آن دوره پهلوی | -مساحت بنا تقریبا ۱۰۰۰ مترمربع می‌باشد.-خانه مبتنی بر دو ورودی و چهار حیاط می‌باشد. حیاط میانی وسیع و سه حیاط دیگر فرعی و کوچک‌تر می‌باشد. حیاط | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | اصلی در امتداد جنوب غربی- شمال شرقی قرار گرفته است.<br>-بنا دو ورودی مجزا دارد به طوری که یکی پرکارتر و دیگری کوچک است. | |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  |  <br>۰-پیش ورودی، ۱-هشتی، ۲-حیاط خلوت ۳-دالان ۴-پلکان ۵-دالان ۶-حیاط ۷-دودری ۸-تالار ۹-تخنگاه ۱۰-رواق ۱۱-تالار | |  | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
|  |  | | | |
| **توضیحات** | وجود حیاط در مرکز و ایوان و اتاق‌ها در اطراف آن باعث تلفیق فضاهای باز و نیمه باز و بسته در خانه شده است که حیاط مزبور همه عناصر موثر در خانه های سنتی را دارد. | | | |

| **خانه** | **موقعیت** | **سیر تاریخی** | **فضاهای خانه** | **فرم بنا** |
|---|---|---|---|---|
| شکوهی | خیابن امام خمینی، مجاور مسجد جامع | اواخر دوره قاجار | -مساحت بنا ۱۲۰۰ مترمربع می‌باشد.<br>-خانه مبتنی بر چهار ورودی و چهار حیاط می‌باشد. دو حیاط بزرگ(اندرونی و بیرونی) خانه با قاعده مستطیل شکل تقریبا در جهت شمال شرقی-جنوب غربی قرار گرفته‌اند.<br>-ورودی مفصل و پرکار خانه مشتمل بر پیش ورودی، سردر، هشتی از طریق دو دالان با حیاط‌های بزرگ خانه مرتبط می‌باشد. | |
| **پلان خانه** | **جزییات پلان** | **تزیینات** | **فضای باز و نیمه باز** | **مصالح بومی** |
|  |  <br>۰-پیش ورودی ۱-هشتی ۲-پلکان ۳-پشت بام ۴-خدماتی |  |  |  |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ۵-دالان ۶-دالان ۷-دالان ۸-تالار ۹-سه دری ۱۰-حیاط کوچک ۱۱-خدماتی ۱۲-حیاط خدماتی ۱۳-دالان ۱۴-حیاط اصلی ۱۵-سه دری ۱۶-دالان ۱۷-تالار | | | |
| **درونگرایی** | **فضاهای متنوع** | **شفافیت** | **آب و گیاهان** | **رنگ فضاها** |
|  |  |  | | |
| **توضیحات** | توجه به معماری بومی در شکل‌گیری بنا با استفاده از مصالح بوم‌آورد برای آسایش ساکنین، همچنین تلفیق فضاهای متنوع در پلان که از سکون و یکنواختی افراد جلوگیری می‌کند و وجود حیاط و عناصر طبیعت در بنای شکوهی همگی جز عوامل موثر بر سلامت روان انسان است. | | | |

(منبع: تحلیل نویسندگان)

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

باتوجه به بررسی‌های کیفی انجام شده و جمع‌آوری شده میتوان نتیجه گرفت که عناصر اربعه طبیعت( آب، باد، خاک، آتش) در خانه‌های سنتی یزد باعث تلطیف روح انسان می‌شود که همین امر حس آرامش بیشتری را نسبت به خانه های معاصر( آپارتمان‌ها ) به انسان می‌دهد زیرا در خانه های سنتی یزد ردپای عناصر طبیعت وجود دارد، عناصری که از انسان امروزی در خانه‌های معاصر دریغ شده است. براساس یافته‌های پژوهش در خانه های سنتی یزد حیاط مرکزی به عنوان مهمترین حوزه در شکل‌گیری بنا و عنصر حیات‌بخش می‌باشد. خانه های سنتی یزد با وجود تنوع فضایی در هر گوشه از بنا باعث می‌شود که از سکون و یکنواختی در بنا جلوگیری شود. عامل مهم دیگر در خانه های سنتی یزد وجود نور آفتاب است که در معماری این بناها میتوان، نورآفتاب را تا کف اتاق برای ساعات طولانی به خاطر وجود پنجره‌های که تا کف آمده است مشاهده کرد، چیزی که انسان امروزی در خانه‌ها نمی‌بیند. با توجه به مصالح استفاده شده در ساخت بناهای سنتی یزد که خشت و گل است و خلقت انسان نیز از آن است، باعث حس آرامش انسان در این بناها می‌شود که در واقع یک هارمونی بین روح انسان و این خانه های سنتی برقرار می‌شود. در خانه‌های سنتی یزد برای هر فصل از سال، برای آسایش و آرامش انسان فکر شده است. بزرگترین کمبود در معماری خانه‌های معاصر نبود اندیشه از سوی طراحان و معماران است و اینکه تنها به جنبه کالبدی و ساختاری خانه‌ها برای استفاده انسان پرداخته می‌شود و به جنبه معنایی خانه‌ها، که سلامت روان انسان را در بر می‌گیرد، اندیشه نمی‌شود. از انسان معاصر، همجواری با عناصر طبیعت که حیات‌بخش و باعث سلامت روان انسان می‌شود، دریغ شده است. باید در طراحی معماری خانه‌ها، به عنوان مامن امن برای انسان بازاندیشی شود تا نیازهای جسمی و روحی انسان با استفاده از آن برطرف شود.

## سپاس و قدردانی

در این پژوهش از جناب دکتر مصطفی صالحی(عضو هیئت علمی دانشگاه علم و هنر یزد) و دکتر رضا ابویی(دانشیار، دانشکده هنر و معماری یزد) کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. آنان با صحبت‌ها و راهنمایی‌هایشان در مورد معماری خانه های سنتی یزد، نویسندگان را در جهت پیشبرد اهداف تحقیق، یاری نموده‌اند.

## منابع

**۱.** ابنا، حوریه؛ آیت اللهی، سید محمد حسین و ایرانمنش، محمد. (۱۳۹۹). معماری و نوستالژیا، پویشی بر یادآوری مفاهیم عاطفی معطوف به گذشته در فضای معماری (مطالعه موردی: خانه سنتی شکوهی در شهر یزد). معماری اقلیم گرم و خشک، ۸(۱۲)، ۶۳-۸۲.

**۲.** افشاری بصیر، نفیسه؛ نصیری، بهاره و مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۹۶). نقش عناصر طبیعت درخانه های بومی یزد. مدیریت شهری، ۱۶(۴۶)، ۲۹۷-۳۰۶. SID. https://sid.ir/paper/92008/fa

**۳.** امامقلی، عقیل. (۱۳۹۱). معماری درمانی، تأثیر کیفیت معماری محیط بر سلامت روانی انسان. رساله دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

**۴.** امامقلی، عقیل. (۲۰۱۳). تأثیر معماری بر سلامت، ایده ای برای «معماری درمانی». علوم رفتاری، ۶(۲۰)، ۲۳-۳۷. SID https://sid.ir/paper/190403/fa

**۵.** آقالطیفی، آزاده و حجت، عیسی. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر پذیری مفهوم خانه از تحولات کالبدی آن در دوران معاصر در شهر تهران. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۳(۴)، ۴۱-۵۴. doi: 10.22059/jfaup.2018.219937.671690

**۶.** آقالطیفی، آزاده و کلیائی، وحید. (۱۳۹۷). خانه های تاریخی سنندج، خوانش کالبد از دریچهٔ فرهنگ زیست. صفه، ۲۸(۱)، ۱۱۱-۱۳۱.

**۷.** باصولی، مهدی و امیدواری، سمیه. (۱۴۰۰). صندوق خانه، منظر خلوت در خانه ایرانی (بررسی خانه های سنتی یزد). باغ نظر، ۱۸(۱۰۴ )، ۲۹-۴۴. SID. https://sid.ir/paper/511703/fa

**۸.** براتی، ناصر و کاکاوند، الهام. (۱۳۹۳). کاوش پدیدارشناختی به منظور درک مفهومی کهن در معماری ایرانی اسلامی. باغ نظر ۱۳(۴۲): ۵-۱۸.

**۹.** بغدادی، پانتئا؛ دادور، ابوالقاسم و ثابتی، مریم. (۱۴۰۱). نقش ارزش های اجتماعی در ساختار معماری خانه های دوره قاجار یزد از دیدگاه قرآن، احادیث و روایات اسلامی. مطالعات توسعه اجتماعی ایران، ۱۴(۳ )، ۷-۲۹. SID. https://sid.ir/paper/1064430/fa

**۱۰.** بمانیان، محمدرضا و امینی، معصومه. (۱۳۹۳). معماری اجتماعی خانه ایرانی. تهران: اول و آخر.

**۱۱.** بیتی، حامد؛ ردایی، مهشید؛ کی‌نژاد، محمدعلی؛ احمدنژاد، فرهاد و قره‌بگلو، مینو. (۱۴۰۲). ارزش های انسان مسلمان و نمود آن در معماری خانه ایرانی اسلامی(نمونه موردی:خانه های تاریخی شهر یزد)، مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۱۴(۵۱)، ۱-۲۸.

**۱۲.** پیوسته گر، یعقوب؛ حیدری، علی اکبر و اسلامی، مطهره. (۱۳۹۶). بازشناسی اصول پنج گانه استاد پیرنیا در معماری خانه های سنتی ایران و تحلیل آن با استناد به منابع اعتقادی اسلامی مطالعه موردی: خانه های شهر یزد. مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۷(۲۷)، ۵۱-۶۶.

**۱۳.** تقی پور، ملیحه؛ حیدری، علی اکبر و کاکایی، فاطمه. (۱۴۰۲). بررسی مفهوم ارزش فضایی در خانه‌های سنتی ایران بر اساس دو عامل شیوه زندگی و تفاوت فضا (نمونه‌موردی: خانه افشاریان شیراز). معماری اقلیم گرم و خشک، ۱۱(۱)، ۸۱-۱۰۱. doi: 10.22034/ahdc.2022.2765

**۱۴.** توفیق، مریم و فروزان‌فر، جلال.. (۱۴۰۲). معناشناسی ماهیت نگاره‌های معماری سنتی و تاثیر هویتی آن در جهانی شدن شهر یزد (مورد مطالعاتی: خانه ملک‌زاده). مطالعات هنر اسلامی، ۱۹(۴۵), ۹۶-۱۱۲. doi: 10.22034/ias.2022.315509.1803

**۱۵.** حاجی قاسمی، کامبیز. (۱۳۸۳). گنجنامه خانه های یزد، دانشگاه شهید بهشتی.

**۱۶.** خانمحمدی، محمدعلی؛ پوراحمدی، محبوبه و مظفر، فرهنگ. (۱۳۹۹). بررسی تحلیلی تاثیر پارامترهای کالبدی پوسته در ایجاد آسایش بصری خانه های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: اتاق های پنج دری خانه های سنتی یزد). نشریه علمی اندیشه معماری, ۴(۸), ۱۳۵-۱۵۳. doi: 10.30479/at.2020.10857.1231.

**۱۷.** دامیار، زینب؛ زارع، لیلا؛ طلایی، اویده و مختابادامریی، مصطفی. (۱۴۰۲). ادراک معانی وعوامل معناسازخانه های سنتی دوره قاجاریزد بارویکردنشانه شناسی فرهنگی.گردشگری فرهنگ،۴(۱۴)،۶-۱۷ .

**۱۸.** رحمانی، الهه؛ نورایی، سمیه و شکرفروش، زهراسادات. (۱۳۹۰). بررسی سیر تحول الگوی پر و خالی در مسکن معاصر ایرانی. آبادی، -(۷۰)، ۰-۰. SID. https://sid.ir/paper/489989/fa

**۱۹.** ردایی، مهشید. (۱۳۹۹). تجلی اصول و معیارهای معماری سبز در بناهای کهن کویری (نمونه موردی: خانه رسولیان، یزد). مطالعات علوم محیط زیست، ۵(۴)، ۳۰۵۹-۳۰۶۷.

**۲۰.** رضوی زاده، اعظم سادات. (۱۳۹۹). بررسی ابعاد پایداری کهن الگوهای معماری گذشته به منظور تداوم در طراحی خانه امروز ( استخراج احکام طراحی مبتنی بر کهن الگوهای اقلیم گرم و خشک). پژوهش های معماری اسلامی، ۸(۲ (پیاپی ۲۷) )، ۸۰-۹۸.

**۲۱.** طاهری سرمد، فائزه؛ عینی فر، علیرضا و شاهچراغی، آزاده. (۱۳۹۸). مقایسه‌ی تطبیقی گونه‌شناسی سازمان فضایی و عناصر کالبدی دوره‌های قاجار و پهلوی خانه‌های سنتی شهر کرمانشاه. پژوهش های باستان شناسی ایران، ۹(۲۳)، ۱۴۹-۱۶۸. doi: 10.22084/nbsh.2019.18444.1895

**۲۲.** فلاح فر، فرح و رئیسی، محمد منان. (۱۴۰۱). خوانش تاثیر ساختار خانه بر سبک زندگی ایرانی – اسلامی در گذر زمان (نمونه موردی شهر کاشان). فرهنگ معماری و شهرسازی اسلامی. ۷ (۱) :۱۹۳-۲۱۰.

**۲۳.** قبادیان، وحید. (۱۳۷۷). بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران. تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

**۲۴.** گنجی، حمزه.( ۱۳۹۰). بهداشت روانی. چاپ دوازدهم. تهران: انتشارات ارسباران.

**۲۵.** مجیدی، عارف و خداداده، فیروزه. (۱۳۹۷). تاثیر نور بر روان انسان. فصلنامه گزارش.

**۲۶.** مشهدی، علی و سینایی، آیلا. (۱۴۰۲). تحلیل قیاسی اثرپذیری مؤلفه‌های پیکره‌بندی کالبدی و فضایی خانه‌های قاجاری از فرهنگ و اقلیم در مناطق "گرم و خشک" و "گرم و مرطوب" ایران. معماری اقلیم گرم و خشک، ۱۱(۱)، ۱۹۳-۲۱۰. doi: 10.22034/ahdc.2023.19348.1706

**۲۷.** معماریان، غلامحسین. (۱۳۸۸). تأثیر فرهنگ دینی در شکل گیری خانه. مقایسه مقایسه ای خانه. فصلنامه پژوهش های فرهنگی ۳ (۲).

**۲۸.** موحد، خسرو. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر محیط فیزیکی بر رفتار جستجوی انسان (میدان گنجعلی خان و کوتسار کرمان).

**۲۹.** مهدوی پور، حسین؛ شریفی مهرجردی، علی اکبر و اسلامی نصرت آبادی، مریم. بررسی نقش تزیینات در ارتقای کیفیت فضایی خانه‌های سنتی یزد"براساس مطالعه موردی خانه شفیع‌پور یزد". مسکن و محیط روستا. ۱۳۹۶؛ ۳۶ (۱۶۰) :۱۳۳-۱۴۹.

**۳۰.** ورمقانی، حسنا. (۱۴۰۱). جستجوی مفهوم خانه ایرانی با تکیه‌بر انطباق توصیفات تاریخی و ساختار کالبدی (مطالعهٔ خانه‌های یزد و اصفهان).doi : 10.52547/ciauj.7.1.173

**۳۱.** هاشم پور، پریسا و میراحمدی، احمد. (۱۳۹۹). تبیین سطوح، شاخصه‌ها و مراتب شفافیت در فضای معماری. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، ۲۵(۱)، ۶۷-۷۸. doi: 10.22059/jfaup.2021.302978.672459.

**32.** Altman, Irwin. (2004). Environment and social behavior, solitude, personal space, territory and crowding. Translation Ali Namazian Tehran: Shahid Beheshti University Press.

**33.** Bergefurt, Lisanne., Weijs-Perree , Minou., Appel-Meulenbroek, Rianne., Arentze, Theo., & de Kort,Yvonne. (2022). Satisfaction with activity-support and physical home-workspace characteristics in relation to mental health during the COVID-19 pandemic. Journal of Environmental Psychology, 81.

**34.** Hamzehnejad, M., Dadras, F., & Yekta, N. H. (2015). Houses' Physical Features based on Temperament Indicators. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 201, 317-324.

**35.** Khaki Qasr, free. (2017). Spatial plan of traditional houses of Yazd in relation to modern residence. Architecture of hot and dry climate, 6(8), 23-46.

**36.** Maslow, Abraham Harold. (1992). Toward Psychology. Translated by Ahmad Rizvani. Mashhad: Astan Quds Publications.

**37.** Pope, Arthur. (1998). The course and forms of Iranian painting. Translated by Yaqub Azhand, Tehran: Hermi Publications.

**38.** Sharami, H. J., & Hosseini, S. J. (2024). Theoretical framework of the Isfahani style: Inspiring sustainable aspects of a vernacular urban development. Frontiers of Architectural Research.

**39.** Silva, Patrícia., Barbosa, Fatima., Andre, Manuela., & Delerue Matos, Alice.(2022). Home confinement and mental health problems during the Covid-19 pandemic among the population aged 50 and older: A gender perspective. SSM - Population Health, 17.

**40.** sweet milk; & Mona Mirzadeh. (2018). The effect of light (natural and artificial) on human mood and psyche in interior architecture.

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

**Research Paper**

# Investigating The Indicators of Sustainable Urban Transportation System in Order to Improve Urban Spaces (Study Case of Sattar Khan Neighborhood of Tehran

**Mohammad Mehdi Zahedi:** Department of Urban Planning, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
**Narges Nonezhad** *: Department of Urban Planning, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Received:** 2024/05/05 **PP** 49-64 **Accepted:** 2024/07/09

## Abstract

Sustainable transportation means the optimal and low-cost movement of people and vehicles with less energy consumption, reasonable costs, less traffic, and minimal damage to the environment, which is especially important in cities. Due to its specific challenges, Tehran needs to focus on sustainable transportation. The purpose of this research is to evaluate the sustainable transportation situation in the Sattar Khan area of Tehran. The research was conducted using a descriptive-analytical method and a questionnaire tool, with validity guaranteed by expert approval and a Cronbach's coefficient above 0.70. Sampling was done based on Cochran's formula and included 384 citizens.The results of the binomial test in the field of sustainable transportation system indicators for improving urban spaces showed that all 11 indicators are significant at a level of less than 0.05. The highest values, based on averages, relate to the infrastructure improvement index with an average of 4.567; investment in the transportation sector with an average of 4.474; transport culture with an average of 4.225; intelligent management with an average of 4.471; improving accessibility with an average of 4.535; and security with an average of 4.515. Additionally, correlation analysis at a level of less than 0.01 indicates a relationship between sustainable transportation indicators, with the highest correlation between the infrastructure improvement and smart management indicators at 0.887, indicating a relatively strong and positive relationship.Furthermore, the results of structural equation modeling confirmed that the explanatory rate of sustainable transportation system indicators in improving existing urban spaces was calculated to be 0.59. In this context, the most effective indicators are the accessibility improvement index with an explanatory power of 0.93 and the investment index in the transportation sector with an explanatory power of 0.86. Overall, various indicators for the sustainability of urban transport exist, which be realized and improved through integrated and systematic planning.

**Keywords:** Transportation, Urban sustainability, urban spaces, Sattar Khan neighborhood of Tehran.

**Citation:** Zahedi, M M., & Nonezhad, N .(2024). **Investigating the indicators of sustainable urban transportation system in order to improve urban spaces (Study case of Sattar Khan neighborhood of Tehran,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 49-64.

*. **Corresponding author:** Narges Nunjad, **Email:** dr.n.nonezhad@iau-tnb.ac.ir, **Tel:** +98

## Extended Abstract

### Introduction

After the Second World War, urbanization spread rapidly and is now recognized as a major cause of instability and a threat to the planet's life. This phenomenon has had profound effects on people's lives by changing their needs and preferences, especially in the agricultural and industrial sectors. Before the industrial revolution, most people lived in villages, but with technological advancements, cities became centers of economic activity. These changes, along with traffic congestion, accidents, and environmental pollution, have challenged life in cities.Urban transportation is one of the main factors contributing to instability in cities. Cities need efficient transportation systems for social and economic development. Rapid urban growth increases the need for effective transportation and brings social, economic, and environmental challenges. Transportation problems are among the most important issues in urban development, affecting the quality of life, economy, and environment.

The metropolis of Tehran faces many challenges in sustainable development, including urban transportation. Air and noise pollution in Tehran are very high, with pollutants such as carbon monoxide, carbon dioxide, methane, and suspended particles significantly impacting the environment, culture, and economy. The increase in the travel rate in Tehran has led to higher environmental pollution and decreased safety and health for citizens.The Sattar Khan axis in the 2nd district of Tehran is one of the city's vital arteries due to traffic, subway stations, and rapid transit buses (BRT), causing slow movement and congestion. Additionally, problems such as insufficient street width, poor service levels, non-continuity of pedestrian movement at night, and adverse effects on the urban landscape due to inappropriate design have created several transportation, environmental, and social issues in this area.

This research aims to identify the indicators of a sustainable urban transportation system to improve urban spaces. Investigating the relationship between variables such as development, urbanization growth, cultural characteristics, and institutional structure can be effective in formulating policies and projects for sustainable urban transportation.

### Methodology

The research method is descriptive-analytical and based on survey data collection. The data collection tool is a questionnaire whose validity was confirmed by urban experts, and its reliability was confirmed with a Cronbach's alpha coefficient above 0.70 by completing 30 initial questionnaires. The statistical population consists of the citizens of the 2nd district of Tehran, with a sample size calculated using Cochran's formula, resulting in 384 people. Data analysis was performed based on the collected questionnaires and conducted using SPSS software in two sections: descriptive and inferential.The questionnaire was reviewed by professors and urban planning experts, and necessary corrections were applied. Cronbach's alpha coefficient was used to assess reliability, which was above 0.70 for different parts of the questionnaire: sustainable economic transportation system (0.765), sustainable social transportation system (0.732), and sustainable environmental transportation system (0.738). The highest reliability was related to urban spaces with a coefficient of 0.781. Statistical tests including t-test, regression, Pearson correlation, Friedman test, analysis of variance, and structural equation modeling were used.

### Results and discussion

To check the normality of the sample distribution, the Kolmogorov-Smirnov test was used. The obtained values were less than 0.05, indicating that the data distribution is non-normal. Therefore, non-parametric tests were used to measure the components and indicators. All indicators were at a significance level of 0.000 and less than 0.05, indicating the non-normality of the data. The results of the binomial test showed that the economic, social, and environmental indicators of the sustainable transportation system were significant at a level less than 0.05 and equal to 0.000 for improving urban spaces. Examining the reported averages showed that the indicators of the sustainable urban transportation system are effective in improving urban spaces.The most important indicators include the use of transportation sector income to improve infrastructure (4.458), transportation costs for citizens (3.664), the use

of clean transportation by citizens (3.924), safe and quality traffic (4.594), pollutant production (4.221), and greenhouse gas emissions (3.945). Economic, social, and environmental dimensions were significant at a level of less than 0.05. The averages of the economic (4.193), social (4.246), and environmental (4.128) dimensions of sustainable transportation confirmed the effectiveness of sustainable urban transportation in improving urban spaces.

## Conclusion

The sustainable transportation approach integrates environmental, social, and economic considerations, aiming to balance transportation needs with safety, access, environmental quality, and vitality while respecting tolerable capacity. Its role in sustainable development, affecting public welfare, the national economy, environment, and social functions, underscores its importance. Optimal fuel consumption and environmental suitability are prioritized in choosing transportation systems for sustainable development. A well-organized transportation network is pivotal in gauging societal development. Binomial test results underscore the significance of economic, social, and environmental indicators in improving urban spaces in Tehran's Sattar Khan neighborhood, including transportation sector income for infrastructure, citizen transportation costs, clean transportation usage like bicycles, safety, pollutant production, and greenhouse gas emissions. Public transportation evaluation in Sattar Khan reveals 48.7% and 45.6% rating it good and average, respectively, indicating satisfactory conditions. Various sustainable transportation indicators, like infrastructure enhancement, investment, cultural promotion, smart management, access improvement, security enhancement, cost reduction, partnership, fuel and pollution management, and user engagement, contribute to urban space improvement. Analysis reveals meaningful relationships among these indicators, suggesting mutual influence, particularly emphasizing infrastructure enhancement and smart management.

## References


1. Asadi, S., & Movahedi Kalibar, R. (2017). The strategic role of sustainable development and individual behavior on the structure of transportation. Shabak, 3(7-8 (Serial 26-27)), 43-66. [In Persian]
2. Boitor, R. M., Antov, D., & Iliescu, M. (2013). Sustainable Urban Transport Planning. Romanian Journal of Transport Infrastructure, 2(1). DOI: 10.1515/rjti-2015-0010
3. Bojarian, B., & Kabirian, M. (2016). The concept of sustainable urban planning and urban environment in architecture. First International and Third National Conference on Sustainable Architecture and Urban Landscape: International Institute of Architecture: Mehraz City Urban Planning. [In Persian]
4. BolvaryZadeh Dashtestani, K., Andjomshoa, A.(2023). Accessibility, mobility and transportation criteria in locating tourist-accommodation centers (case study: finding the location of a hotel in Shiraz using the ANP method), Journal of Sustainable Architecture and Environment, Vol 1, No 2, Shiraz, PP 15-32[In Persian]
5. Elkin, T., McLaren, D., & Hillman, M. (1991). Reviving the City: Towards Sustainable Urban Development. Friends of the Earth, London.
6. Eskandari Thani, M., Moradi, M., & Ebrahimi, A. (2019). Investigating factors affecting urban sustainable transportation based on green economy theory: Case study of Birjand city. Urban Research and Planning, 10(37), 13-24. [In Persian]
7. Goodarzi, G., & Lor, R. (2022). Redesign of urban transportation network with a sustainable approach (case study: Sattarkhan axis). Jaddeh, 3(20), 83-104. [In Persian]
8. Heydarpour, A., & Jabari, R. (2021). Sustainable transportation in Iran; Measurement and analysis of related indicators. Urban Economics and Planning, 2(4), 247-264. [In Persian]
9. Ling, S., Ma, S., & Jia, N. (2022). Sustainable urban transportation development in China: A behavioral perspective. Frontiers of Engineering and Management, 9(1), 16–30. https://doi.org/10.1007/s42524-021-0162-4
10. Maboudinia, M. T. (2020). Analysis of urban sustainable transportation challenges based on futures studies approach; Case study: Tabriz metropolis. PhD dissertation, Department of Geography and Urban

Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz. [In Persian]

**11.** Majidi, H., Mansouri, E., & Haji Ahmadi, A. (2011). Redefining urban space (case study: Valiasr axis between Valiasr Square and Valiasr Crossroad). Urban Management, 9(27), 263-283. [In Persian]

**12.** Mohammadpour, S., Mehrjou, M., & Aghnaei, F. (2019). Evaluation of the effects of transportation policies on improving citizens' satisfaction with the quality of urban life, case study: Rasht city. Urban and Regional Development Planning, 4(8), 145-178. [In Persian]

**13.** Mokhtari Malek Abadi, R. (2012). Measuring place attachment, spatial and aesthetic aspects of the symbols of Islamic city identity (case study: Capital city and Islamic civilization culture; Isfahan). Proceedings of the Second National Conference on Islamic City, Isfahan. [In Persian]

**14.** Noto, G. (2017). Combining System Dynamics and Performance Management to Support Sustainable Urban Transportation Planning. Journal of Urban and Regional Analysis, Vol. IX(1), 2017, pp. 51-71.

**15.** Rasouli, S. H., Qarnejik, A., & Qarnejik, A. (2015). Investigation and evaluation of urban transportation on urban sustainable development. International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning. [In Persian]

**16.** Raza, A., Ali, M.U., Ullah, U., Fayaz, M., Alvi, M.J., Kallu, K.D., Zafar, A., & Nengroo, S.H. (2022). Evaluation of a Sustainable Urban Transportation System in Terms of Traffic Congestion—A Case Study in Taxila, Pakistan. Sustainability, 14, 12325. https://doi.org/10.3390/su141912325

**17.** Rouhi, A., Fallah, E., Monshadi, P., Saeedi Zand, R., & Bozorgmehrnia. (2011). Introduction of successful urban transportation planning examples and their comparison with Tehran (Seoul, Singapore, and Curitiba). Tehran Urban Planning and Research Center, Deputy of Infrastructure Planning and Comprehensive Plan, Transportation and Traffic Management Department. [In Persian]

**18.** Safaeipour, M., & Sajadian, M. (2015). An inquiry into the evolution and development of the concept of the Islamic city. Zagros Quarterly of Geography and Urban Planning, 7(24), 159-202. [In Persian]

**19.** Shadabnia, H. (2016). Explanation of public transportation patterns in Mashhad based on access index from the perspective of sustainable development. PhD dissertation, Department of Geography and Urban Planning, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]

**20.** Sultana, S., Salon, D., & Kuby, M. (2019). Transportation Sustainability in the Urban Context: A Comprehensive Review. Urban Geography, 40(3), 1-30. https://doi.org/10.1080/02723638.2017.1395635

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

مقاله پژوهشی

# بررسی شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار شهری در جهت ارتقاء فضاهای شهری (مورد مطالعه محله ستارخان شهر تهران)

**محمد مهدی زاهدی**: گروه شهرسازی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
**نرگس نونژاد**[۱]: گروه شهرسازی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

**دریافت:** ۱۴۰۳/۰۲/۱۶ **صص** ۶۴-۴۹ **پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

## چکیده

حمل و نقل پایدار به معنای جابجایی بهینه و کمهزینه مردم و وسایل نقلیه با مصرف کمتر انرژی، هزینه مناسب، ترافیک کمتر و حداقل آسیب به محیط زیست است، که در شهرها اهمیت ویژهای دارد. تهران به دلیل چالش‌های خاص خود نیازمند توجه به حمل و نقل پایدار است. هدف این پژوهش ارزیابی وضعیت حمل و نقل پایدار در منطقه ستارخان تهران است. تحقیق با روش توصیفی-تحلیلی و ابزار پرسشنامه انجام شده و اعتبار آن با تأیید نخبگان و ضریب کرونباخ بالای ۷۰/۰ تضمین شده است. نمونهگیری بر اساس فرمول کوکران و با ۳۸۴ شهروند صورت گرفته است.نتایج آزمون دو جمله ای در زمینه شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری نشان داد که تمامی ۱۱ شاخص در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار شده اند. بر اساس میانگین، بیشترین مقادیر مربوط به شاخص بهبود زیرساخت‌ها با میانگین ۴/۵۶۷ ؛ سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل با مقدار ۴/۴۷۴؛ فرهنگ حمل و نقل با مقدار ۴/۲۲۵؛ مدیریت هوشمند با میانگین ۴/۴۷۱؛ بهبود دسترسی با میانگین ۴/۵۳۵؛ امنیت با مقدار ۴/۵۱۵ بوده است. همچنین تحلیل همبستگی نیز در سطح کمتر از ۰/۰۱ از وجود رابطه میان شاخص‌های حمل و نقل پایدار اشاره دارد که بیشترین رابطه نیز مربوط به دو شاخص بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت هوشمند به میزان ۰/۸۸۷ بوده است که یک رابطه نسبتاً قوی و مثبت است.علاوه بر این نتیجه مدلسازی معادلات ساختاری نیز تایید نمود که میزان تبیین شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود برابر با ۰/۵۹ محاسبه شده است. در این زمینه بیشترین تاثیرگذاری مربوط به شاخص بهبود دسترسی با تبیین ۰/۹۳ وشاخص سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل با توان تبیین ۰/۸۶تعیین شده است. در مجموع شاخص‌های متنوعی برای پایداری حمل و نقل شهری وجود دارد که بایستی با یک برنامه ریزی یکپارچه و نظامند به تحقق و ارتقای آن کمک نمود.

**واژه‌های کلیدی:** حمل و نقل، پایداری شهری، فضاهای شهری، محله ستارخان تهران

**استناد:** زاهدی، محمد مهدی و نونژاد، نرگس (۱۴۰۲). **بررسی شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار شهری در جهت ارتقاء فضاهای شهری (مورد مطالعه محله ستارخان شهر تهران)**، *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۴۹-۶۴.

[۱] **نویسنده مسئول:** نرگس نونژاد، **پست الکترونیکی:** dr.n.nonezhad@iau-tnb.ac.ir، **تلفن:**

مقاله حاضر بر گرفته از پایان‌نامه محمد مهدی زاهدی در دوره کارشناسی ارشد رشته شهرسازی ( برنامه ریزی شهری)، دانشگاه آزاد اسلامي واحد تهران شمال تحت عنوان ارزیابی وضعیت حمل و نقل پایدار شهری درجهت بهبود فضاهای شهری (نمونه موردی: منطقه ستارخان شهر تهران) تحت راهنمایی دکتر نرگس نونژاد می‌باشد.

## مقدّمه

شهرنشینی پس از جنگ جهانی دوم به سرعت گسترش یافت و اکنون به عنوان عامل اصلی ناپایداری و تهدید به حیات کره زمین محسوب می‌شود ( محمدپور و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴۶). این پدیده با ایجاد تغییرات در نیازها و ترجیحات افراد، به ویژه در بخش‌های کشاورزی و صنعتی، تأثیرات عمیقی بر اشکال زندگی انسان‌ها داشته است (معبودی نیا، ۱۳۹۹ : ۸). قبل از انقلاب صنعتی، زندگی اکثر مردم در روستاها بود. با پیشرفت تکنولوژی، شهرها به قلب فعالیت‌های اقتصادی تبدیل شدند (Elkin et al., 1991). این تغییرات، همراه با اثرات جانبی ناخوشایندی مثل ازدحام ترافیک، تصادفات و آلودگی محیطی، زندگی در شهرها رو به چالش کشید. این نکته مهم رو نباید فراموش کنیم که حمل و نقل، علاوه بر تأمین نیازهای اساسی، با مشکلات و چالش‌هایی همراه است که بر تمامی افراد تأثیر می‌گذارد (Reza et al, 2021: 2). در حال حاضر، حمل و نقل شهری به عنوان یکی از عوامل اصلی ایجاد ناپایداری در شهرها مورد توجه است. شهرها برای توسعه اجتماعی و اقتصادی، به سیستم‌های حمل و نقل کارآمد نیاز دارند. رشد سریع شهری، باعث افزایش نیاز به حمل و نقل موثر ولی همراه با چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و محیطی شده است. مشکلات حمل و نقل جزء مهمترین مسائل توسعه شهری است و بر کیفیت زندگی، اقتصاد و محیط زیست تأثیر می‌گذارد (Sultana et al, 2019 :2). در این زمینه شهر سنگاپور به عنوان نمونه موفق در حمل و نقل شهری نشان می‌دهد که افزایش مالکیت اتومبیل با کنترل هوشیارانه و برنامه‌های دقیق، اثرات منفی را کاهش می‌دهد. دولت استفاده از اتومبیل را با عوارض جادهای محدود کرده و حمل و نقل عمومی کارآمد و کمهزینه را ترویج می‌کند. سیستم حمل و نقل سنگاپور نیاز نسل‌های جاری را با استفاده بهینه از زمین تأمین می‌کند (روحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳).

کلانشهر تهران با چالش‌های متعدد در توسعه پایدار مواجه است، از جمله مسئله حمل و نقل شهری. آلودگی هوایی و صوتی در تهران بهصورت وحشتناکی بالاست، که بیشترین آلاینده‌ها شامل مونواکسید کربن، دیاکسید کربن، متان و ذرات معلق است (اسدی و موحدی، ۱۳۹۶: ۱۱۲). این موضوع اثرات وسیعی روی محیط زیست، فرهنگی و اقتصادی دارد، و عوامل مختلفی از توسعه یافتگی کشور تا سیاست های حمل و نقل مبتنی بر رویکرد فنی–زیرساختی در این چالش‌ها نقش دارند. سال‌های اخیر، نرخ سفر در تهران رو به افزایش بوده و این امر باعث افزایش آلودگی محیط زیست و کاهش ضریب ایمنی و سلامتی شهروندان شده است. محور ستارخان، واقع در منطقه ۲ تهران، به دلیل وجود گره‌های ترافیکی و رفتارهای متعدد از جمله ایستگاه مترو توحید و شادمان، خطوط اتوبوس تندرو (BRT)، نزدیکی و همجواری با محور آزادی و بزرگراه چمران، یکی از اصلیترین و حیاتیترین شریان‌های شهر تهران است که این امر باعث کندی حرکت و ترافیک در محله شده است (گودرزی و لر، ۱۴۰۱: ۸۵). علاوه بر این، مشکلاتی از قبیل عدم وجود عرض یکپارچه و تجهیزات مناسب، سطح سرویس نامطلوب، عدم تداوم و نحوه حرکت مناسب پیاده در ساعات شبانه، تأثیرات منظر شهری و با توجه به عدم طراحی شهری مناسب، مشکلات و معضلات متعددی در زمینه حمل و نقل، زیست محیطی، و اجتماعی در سطح منطقه ایجاد کرده است. با بررسی اجمالی از چالش‌ها و فرصت های موجود، هدف اصلی شناخت شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار شهری در جهت بهبود فضاهای شهری می‌باشد.بررسی ارتباط تاثیرگذار متغیرهای مختلف بر وضعیت حمل و نقل، از جمله توسعه یافتگی کشور، رشد شهرنشینی، ویژگی‌های فرهنگی، و ساختار نهادی، این پژوهش برای تدوین سیاست‌ها و پروژه‌های مؤثر در زمینه حمل و نقل پایدار شهری می‌تواند موثر واقع شود.

## پیشینه و مبانی نظری تحقیق

### سیستم حمل و نقل

سیستم حمل و نقل، به عنوان یک ترکیب همگن از اجزاء ثابت، اجزاء حرکت، و اجزاء کنترل، جهت جابجایی افراد و کالاها در یک جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجزاء ثابت، که به شبکه حمل و نقل یا جاده‌ها مربوط می‌شوند، ستون اصلی ساختار را تشکیل داده و برای حفظ پایداری جریان حمل و نقل در سطح ملی و منطق‌های بسیار حیاتی هستند.اجزاء حرکت، به وسایل نقلیه مانند اتومبیل‌ها اشاره دارند که برای انجام جابجایی در داخل سیستم حمل و نقل به کار می‌روند. این اجزاء فعال و دینامیک، اتصالات بین اجزاء ثابت مختلف را فراهم می‌کنند. اجزاء کنترل، مقررات و قوانین مرتبط با استفاده از اجزاء ثابت و حرکت را شامل می‌شوند و در مدیریت و کنترل بهینه فعالیت‌های سیستم حمل و نقل نقش دارند. این اجزاء با هم هماهنگی می‌کنند تا یک سیستم حمل و نقل کامل با جریان و جابجایی بهینه را در جوامع فراهم آورند. این ساختار متنوع باعث موفقیت و کارآیی بالاتر سیستم حمل و نقل در جوامع مختلف می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴.).

### پایداری

پایداری به معنای وجود یک حالت ثابت در توسعه است، جایی که مطلوبیت و امکانات موجود در طول زمان تخریب نمی‌شوند. اصطلاح "پایداری" از واژه‌های لاتین " Sus " به معنای از پایین و Tenerبه معنای نگهداشتن گرفته شده و به زنده نگهداشتن و یا حفظ کردن

اشاره دارد (رمارم، ۱۳۹۸: ۲۰). پایداری در مفهوم گسترده خود به توانایی یک جامعه، اکوسیستم یا هر سیستم دیگر جاری اطلاق می‌شود تا در آینده بتواند به طور نامحدود ادامه یابد. این معنا شامل توانایی سیستم است که منابعی که به آن وابسته است را حفظ کند و از آنجا که سیستم به طور طبیعی با تغییرات مواجه است، پایداری به این معناست که سیستم بتواند با موفقیت با تغییرات محیطی اطراف خود سازگار شود و پاسخگویی به آن‌ها را به خوبی انجام دهد. پایداری سیستم به طور کامل وابسته به توانایی آن برای سازگاری، تغییر و تطابق با محیط است. این نیاز به یک فرآیند پویا و حساس است، چرا که محیط به صورت مداوم در حال تغییر است. بنابراین، عملکرد مناسب درونی سیستم و تعامل سازگار با محیط اطراف آن به عنوان دو ابعاد مهم پایداری در نظر گرفته می‌شود (بوجاریان، ۱۳۹۵).

## فضاهای شهری

فضای شهری به عنوان یک پدیده سازمانیافته، از اطلاعاتی که در اشکال و اعمال مختلف ظاهر می‌شود، به عنوان بستری برای شکلگیری و تقویت زندگی اجتماعی جامعه عمل می‌کند. این فضا نمایانگر فرهنگ و شیوه‌های شهرنشینی مرتبط با یک تمدن است و به عنوان یک واقعیت ملموس به وجود می‌آید که از ترکیب روابط اجتماعی، در یک بستر فیزیکی، در ابعاد معنایی و با هدف ارائه عملکردهای متنوع مورد نیاز انسان‌ها شکل می‌گیرد (ماجدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۴).

بویتور و همکاران[1](۲۰۱۳)، در پژوهشی با عنوان "برنامهریزی حمل و نقل شهری پایدار: حفاظت از محیط زیست" به بررسی چالش‌های مرتبط با حمل و نقل در شهرها، به ویژه از منظر حفاظت از محیط زیست، می‌پردازند. در در این تحقیق، زیرساخت‌های حمل و نقل شهری به عنوان عامل کلیدی و مصرفکننده انرژی، با تأکید بر اهمیت توسعه حمل و نقل پایدار، آثار محیطزیستی و کیفیت زندگی شهری را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. راهکارهای ارائه شده شامل تجزیه و تحلیل مناطق شهری برای بهبود برنامهریزی حمل و نقل و تحقق یک رویکرد پایدار به توسعه مناطق شهری است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با این رویکرد، بهبودهای مهمی در زمینه محیطزیست و توسعه پایدار شهرها ممکن است. نتو[2](۲۰۱۷)، در پژوهشی با عنوان "ترکیب مدیریت عملکرد و مدلسازی دینامیک سیستم‌ها برای حمایت از برنامهریزی پایدار حمل و نقل شهری" به نتایج مهمی دست یافت. این پژوهش به ویژه به رویکرد نوآورانه مدیریت عملکرد و مدلسازی دینامیک سیستم‌ها برای حمایت از فرآیندهای برنامهریزی پایدار در سیستم‌های پیچیده حمل و نقل شهری پرداخت. لینگ[3]و همکاران (۲۰۲۲)، در تحقیقی با عنوان "توسعه حمل و نقل شهری پایدار در چین"، به بررسی تأثیر توسعه سریع اقتصادی بر نیاز به سامانه‌های حمل و نقل شهری با کارآمدی بالا و دوستدار محیط زیست می‌پردازند. این تحقیق به چالش‌های حمل و نقل شهری پایدار در چین می‌پردازد و تجزیه و تحلیل رفتارهای مرتبط با حمل و نقل را به عنوان راهبردی مؤثر برای مقابله با فعالیت‌های پیچیده حمل و نقل معرفی می‌کند. مدیریت سیستم‌های ترافیک به چهار سطح با دیدگاه ساختاری و سیستمی تقسیم شده و بررسی‌های خاص از جنبه‌های رفتاری، از جمله خرید نسبت به وسایل نقلیه جدید، انتخاب‌های سفرهای سبز و واکنش‌های به سیاست‌های مدیریت تقاضا برای حمل و نقل، صورت گرفته است.شاداب نیا (۱۳۹۵) در پژوهش دکتری خود با موضوع "تبیین الگوهای حمل و نقل عمومی در شهر مشهد بر مبنای شاخص دسترسی از دیدگاه توسعه پایدار" به بررسی و تحلیل وضعیت خطوط حمل و نقل عمومی در شهر مشهد، به خصوص خطوط بی آر تی و مترو، با تمرکز بر اصل دسترسی نسبت به سرعت و حرکت پرداخت. هدف اصلی این تحقیق اصلاح مسیرهای حمل و نقل عمومی مشهد بر اساس اصول پایداری شهری و تأکید بر دسترسی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که روش طراحی بر اساس دسترسی نسبت به روش‌های مبتنی بر سرعت برتری دارد. پژوهش یک روش طراحی جدید برای سیستم‌های حمل و نقل عمومی ارائه می‌دهد. پژوهش اسکندری ثانی و همکاران (۱۳۹۸)، در مورد عوامل مؤثر بر حمل و نقل پایدار شهری با تأکید بر نظریه اقتصاد سبز در شهر بیرجند صورت گرفت. مطالعه به بررسی تحولات حمل و نقل در شهر بیرجند پرداخته و نقش زیرساخت‌ها، شهرهوشمند، زیستمحیطی، عوامل اقتصادی و اجتماعی در ایجاد یک سیستم حمل و نقل پایدار با رویکرد اقتصاد سبز مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان دادهاند که زیرساخت‌ها با تأثیر بیشتری، بههمراه مدیریت یکپارچه و اقدامات ارتقاء فرهنگ رانندگی، تعویض خودروهای فرسوده، و ایجاد مراکز پیادهروی در بافت مرکزی، عوامل اساسی در ایجاد حمل و نقل پایدار در شهر بیرجند هستند. حیدرپور و جابری (۱۴۰۰)، در مقال‌های با عنوان "حمل ونقل پایدار در ایران؛ اندازه گیری و تحلیل شاخص‌های مرتبط"، به ارزیابی جامع وضعیت حمل و نقل پایدار در اقتصاد ایران پرداختهاند. در این تحقیق، تلاش بر این بوده است که با شناسایی و تدوین شاخص‌های بومی، وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم‌های حمل و نقل در کشور را به طور کامل مورد بررسی قرار دهند. شاخص‌های تعیینکننده کیفیت و کمیت حمل و نقل پایدار در این تحقیق بهعنوان معیار عملکرد سیاست‌ها و تصمیمات جهت حرکت به سمت توسعه پایدار در نظر گرفته

[1] Boytor et al
[2] NOTO
[3] LING

شدهاند. بلوریزاده دشستانی و انجم شجاع (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی معیارهای دسترسی، جابجایی و حمل و نقل در مکان یابی مراکز اقامتی-گردشگری شهر شیراز پرداختهاند.

## مواد و روش تحقیق

روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر گردآوری دادههای پیمایشی است. ابزار گردآوری دادهها پرسش‌نامه است. روایی ابزار از طریق نخبگان شهری تایید و پایایی نیز با تکمیل ۳۰ پرسش‌نامه و محاسبه آن از طریق ضریب کرونباخ بیشتر از ۰/۷۰ تایید شد. جامعه آماری را شهروندان منطقه ۲ شهر تهران تشکیل دادهاند که حجم نمونه از طریق فرمول کوکران برابر با ۳۸۴ نفر محاسبه شد. روش تجزیه و تحلیل دادهها، مبتنی بر دادههای گردآوری شده از طریق پرسش‌نامه خواهد بود. قبل از به کارگیری پرسشنامه، لازم است پژوهشگر از طریق علمی، نسبت به روا بودن ابزار اندازهگیری موردنظر و پایایی آنکه اطمینان پیدا کند. در پژوهش حاضر، پرسش‌نامه طراحی شده در اختیار استاد راهنما و مشاور و تعدادی از کارشناسان متخصص در حوزه شهرسازی که در این پروژه مشارکت داشتند قرار گرفت و اصلاحات مورد نیاز در آن‌ها اعمال شد. برای پایایی می‌توان از روش‌های مختلف استفاده نمود که رایجترین آن استفاده از ضریب آلفای کرونباخ می باشد. به منظور تعیین این ضریب در تحقیق حاضر، ابتدا ۳۰ پرسشنامه به منظور پیش آزمون، تکمیل گردید و ضریب آلفای کرونباخ برای بخش‌های مختلف آن محاسبه شد سیستم حمل و نقل اقتصادی پایدار با ضریب ۰,۷۶۵ و سیستم حمل و نقل اجتماعی پایدار با ضریب ۰,۷۳۲، نشاندهنده سطح مطلوبی از پایایی هستند. سیستم حمل و نقل زیست محیطی پایدار نیز با ضریب ۰,۷۳۸ پایایی خوبی دارد. ابعاد مختلف حمل و نقل پایدار شامل بعد اقتصادی با ضریب ۰,۷۶۴، بعد اجتماعی با ضریب ۰,۷۷۱ و بعد زیست محیطی با ضریب ۰,۷۲۹ نیز پایایی قابل قبولی دارند. در نهایت، فضاهای شهری با ضریب ۰,۷۸۱ بالاترین پایایی را در بین بخش‌های مختلف پرسشنامه نشان می‌دهد، که حاکی از انسجام و دقت بالای این بخش از پرسشنامه است. این مقادیر ضریب آلفای کرونباخ نشان می‌دهند که پرسشنامه در ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل پایدار و فضاهای شهری از دقت و قابلیت اطمینان مناسبی برخوردار است. مقدار آلفای کرونباخ برای تمامی شاخص‌های و متغیرها، بیشتر از ۰/۷۰ محاسبه شده که مورد تایید می باشد. لذا پایایی پرسش‌نامه مطلوب ارزیابی شده است. بعد از جمع آوری دادههای می‌دانی در میان جامعه آماری، با استفاده از نرم افزار spss تحلیل‌های آماری در دو بخش توصیفی و استنباطی انجام شد. اطلاعات حاصل از پرسشنامه‌ها در دو بخش توصیفی و استنباطی گزارش شده است. در این تحقیق جهت آزمون فرضیات، متناسب با ماهیت آن‌ها و شاخص‌های تعریفشده برای هرکدام، از آزمون‌های آماری مناسب استفادهشده است. آزمون‌های مورداستفاده در این پژوهش عبارتاند از؛ آزمون تی تک نمون‌های، رگرسیون، همبستگی پیرسون، فریدمن، تحلیل واریانس و مدلسازی معادلات ساختاری.

## بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

### یافته‌های توصیفی

در بخش اول آمار یا یافته‌های توصیفی اطلاعات پاسخگویان بر اساس متغیرهای مختلف جنس، سن، تحصیلات و... ارائه می‌شود. اخذ و ارائه این آمار از پاسخگویان نشان می‌دهد که تحقیق چه افرادی با چه خصوصیاتی را بررسی نموده است؛ علاوه بر این آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار و فراوانی شاخص‌های اصلی پژوهش نیز ذکر شده است. بررسی توصیفی متغیر جنس نشان می‌دهد که ۵۹/۹ رصد نمونه از گروه مردان و ۴۰/۱ درصد نیز از گروه زنان هستند. به عبارت دیگر ۲۲۸ نفر را مردان و ۱۵۶ نفر را زنان تشکیل دادهاند. توزیع مناسبی از نظر این متغیر وجود دارد؛ این توزیع مطلوب می‌تواند در تعمیم دادن نتایج نمونه به جامعه آماری موثر باشد و دقت اطلاعات را نیز افزایش دهد (جدول ۱).

**جدول ۱- بررسی توزیع فراوانی نمونه بر اساس متغیر جنس**

| جنس | فراوانی | درصد |
|---|---|---|
| مرد | ۲۳۰ | ۵۹/۹ |
| زن | ۱۵۴ | ۴۰/۱ |
| جمع | ۳۸۴ | ۱۰۰ |

### یافته‌های استنباطی

در این بخش آمار استنباطی تحقیق ارائه می‌شود. در واقع در این بخش وضعیت عوامل و شاخص‌های مختلف در زمینه حمل و نقل پایدار و فضاهای شهری بررسی می‌گردد. تجزیه و تحلیل شاخص‌ها و متغیرها در این زمینه از جنبه رویکرد تحلیلی مورد تاکید قرار می‌گیرند. تجزیه و تحلیل استنباطی و مبتنی بر آزمون‌های آماری، زمینه تعمیم دادن نتایج در سطح نمونه را به جامعه آماری فراهم می‌نماید.

### سنجش معناداری نرمال بودن توزیع داده‌ها

برای اینکه مشخص شود توزیع نمونه نرمال بوده یا نه، از آزمون کلموگراف اسمیرونوف استفاده شد. با توجه به اعداد به دست آمده برای معیار تصمیم که کمتر از مقدار ملاک(۰/۰۵) است، می‌توان نتیجه گرفت که توزیع داده‌ها غیر نرمال است؛ چرا که سطح معناداری همه اعداد به دست آمده در جدول کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد و این نشان‌دهنده توزیع غیرنرمال شاخص‌ها و متغیرهای تحقیق است. لذا از آزمون‌های غیرپارامتریک برای سنجش مولفه‌ها و شاخص‌ها استفاده شده است. مقادیر گزارش شده برای همه شاخص‌های در سطح معناداری برابر با ۰/۰۰۰ و کمتر از ۰/۰۵ می‌باشند. لذا بخوبی تایید می‌نماید که داده‌ها و شاخص‌های مورد مطالعه غیرنرمال بوده‌اند.

**جدول ۲- سنجش معناداری نرمال بودن توزیع داده‌ها**

| شاخص | تعداد نماگر | آمار کلموگراف-اسمیرونوف | معیار تصمیم(معناداری) |
|---|---|---|---|
| سیستم حمل و نقل اقتصادی پایدار | ۵ | ۵/۷۶۸ | ۰/۰۰۰ |
| سیستم حمل و نقل اجتماعی پایدار | ۴ | ۳/۴۷۱ | ۰/۰۰۰ |
| سیستم حمل و نقل زیست محیطی پایدار | ۴ | ۳/۷۶۷ | ۰/۰۰۰ |
| بعد اقتصادی حمل و نقل پایدار | ۶ | ۳/۳۵۶ | ۰/۰۰۰ |
| بعدی اجتماعی حمل و نقل پایدار | ۱۰ | ۳/۴۶۹ | ۰/۰۰۰ |
| بعد زیست محیطی حمل و نقل پایدار | ۷ | ۷/۰۲۵ | ۰/۰۰۰ |
| فضاهای شهری | ۹ | ۴/۱۵۲ | ۰/۰۰۰ |

### شناخت شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری متنوع

با توجه به اینکه نتایج نشان داد، داده‌ها غیر نرمال است. لذا جهت سنجش معناداری شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری متنوع از آزمون دو جمل‌های[1]استفاده شده است. در این آزمون مبنا مقایسه عدد ۳ بر اساس طیف لیکرت بوده است. بر این اساس دو گروه کمتر از ۳ و بیشتر از ۳ در این آزمون، ملاک بررسی است که گروه کمتر از ۳، نشانگر وضعیت یا تاثیرگذاری نامناسب شاخص بوده و گروه بیشتر از ۳، نشانگر وضعیت یا تاثیرگذاری مناسب شاخص‌ها بوده است.

بررسی نتیجه آزمون دو جمل‌های نشان می‌دهد شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی سیستم حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری در سطح کمتر از ۰/۰۵ و برابر با ۰/۰۰۰ معنادار بودهاند.. برای اینکه مشخص شود جهت معناداری چگونه است از شاخص میانگین استفاده شده است. بررسی جهت معناداری با توجه به میانگین‌های گزارش شده نشان می‌دهد که شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری موثر ارزیابی می‌شوند؛ چرا که میانگین این شاخص‌ها بیشتر از حد متوسط آزمون(۳) بوده است.

براساس نتایج از مهمترین شاخص‌های شناخته شده در راستای بهبود فضاهای شهری می‌توان به شاخص استفاد از درآمد بخش حمل و نقل جهت بهبود زیرساخت‌ها با مقدار ۴/۴۵۸ ؛ شاخص هزینه حمل و نقل برای شهروندان با مقدار ۳/۶۶۴ ؛ شاخص استفاده شهروندان از حمل و نقل پاک(دوچرخه) با مقدار ۳/۹۲۴ ؛شاخص تردد ایمن و با کیفیت حمل و نقل شهری با میانگین ۴/۵۹۴ ؛ شاخص میزان تولید آلاینده سیستم حمل و نقل در فضای شهر با مقدار ۴/۲۲۱ و شاخص میزان انتشار گازهای گلخان‌های در نتیجه حمل و نقل شهری با مقدار ۳/۹۴۵ اشاره نمود. جدول زیر بخوبی تایید می‌نماید که شاخص‌های حمل و نقل شناخته شده در جهت بهبود فضاهای شهری اثربخش هستند.

1. Binomial Test

**جدول ۳- شناخت شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری با آزمون دو جمل‌های**

| ابعاد | شاخص | نسبت مورد آزمون | p-value | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| حمل و نقل اقتصادی پایدار | هزینه حمل و نقل برای شهروندان | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۶۶۴ |
| | سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل شهری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۶۰ |
| | گسترش فعالیت‌های اقتصادی در نتیجه حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۳۸۳ |
| | گسترش فناوری در بخش حمل و نقل شهری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۰۳ |
| | استفاد از درآمد بخش حمل و نقل جهت بهبود زیرساخت‌ها | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۵۸ |
| حمل و نقل اجتماعی پایدار | استفاده شهروندان از حمل و نقل عمومی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۱۹ |
| | استفاده شهروندان از حمل و نقل پاک(دوچرخه) | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۹۲۴ |
| | صرفه جویی در وقت شهروندان | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۴۷ |
| | تردد ایمن و با کیفیت حمل و نقل شهری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۹۴ |
| حمل و نقل زیست محیطی پایدار | میزان مصرف انرژی در سیستم حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۷۲ |
| | میزان تولید آلاینده سیستم حمل و نقل در فضای شهر | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۲۱ |
| | سرانه مصرف زمین برای سیستم حمل و نقل(زمین برای خیابان، ایستگاه و...) | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۷۴ |
| | میزان انتشار گازهای گلخان‌های در نتیجه حمل و نقل شهری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۹۴۵ |

بررسی نتایج آزمون دوجمل‌های در سطح ابعاد حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری نیز نشان می‌دهد که ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی حمل و نقل پایدار در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار بوده است. میانگین بعد حمل و نقل اقتصادی پایدار برابر با ۴/۱۹۳؛ برای بعد اجتماعی حمل و نقل پایدار برایر با ۴/۲۴۶ و برای بعد حمل و نقل زیست محیطی پایدار برابر با ۴/۱۲۸ بوده است. بررسی میانگین‌های گزارش شده از تایید ابعاد حمل و نقل پایدار شهری برررسی شده در جهت بهبود فضاهای شهری اشاره دارد.

**جدول ۴- شناخت ابعاد حمل و نقل پایداری شهری در جهت بهبود فضاهای شهری با آزمون دو جمل‌های**

| ابعاد | نسبت مورد آزمون | p-value | میانگین |
|---|---|---|---|
| حمل و نقل اقتصادی پایدار | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۹۳ |
| حمل و نقل اجتماعی پایدار | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۴۶ |
| حمل و نقل زیست محیطی پایدار | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۲۸ |

**ارزیابی معناداری شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری**

ارزیابی معناداری شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری با آزمون دوجمل‌های نشان می‌دهد که از مجموع ۲۳ متغیر بررسی شده در قالب سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی حمل و نقل پایدار، ۲۲ متغیر در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار و تنها متغیر کاهش هزینه‌های حمل و نقل عمومی با مقدار ۰/۷۲۱ معنادار نبوده است.

بررسی متغیرهای معنادار شده نشان می‌دهد که جهت معناداری مثبت و بیشتر از حد متوسط آزمون(۳) است؛ در واقع میانگین متغیرها بیشتر از حد متوسط آزمون است و این مطلب یعنی اینکه شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری موثر و دارای اهمیت هستند. از مهمترین متغیرهای حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری می‌توان به توسعه سیستم حمل و نقل عمومی با میانگین ۴/۶۸۲؛ گسترش زیرساخت‌های ریلی(مترو)، اتوبوس و.... با مقدار ۴/۶۳۳؛ سرمایه گذاری در جهت بهبود حمل و نقل عمومی با مقدار۴/۴۴۸؛ ترویج فرهنگ پیاده روی با مقدار ۴/۴۳۵؛ مدیریت و کاهش ترافیک با مقدار ۴/۶۴۸ و همکاری شهروندان در حفظ وسایل حمل و نقل با مقدار ۴/۴۶۹ اشاره نمود. جدول (۵) وضعیت دیگر متغیرهای حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری را نشان می‌دهد.

**جدول ۵- ارزیابی معناداری متغیرهای حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری با آزمون دو جمل‌های**

| ابعاد | شاخص | متغیرها | نسبت مورد آزمون | p-value | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|
| حمل و نقل اقتصادی پایدار | کاهش هزینه حمل و نقل | کاهش هزینه‌های حمل و نقل عمومی | ۰/۵۰ | ۰/۷۲۱ | ۳/۵۰۳ |
| | | کاهش عوارض و مالیات در بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۵۶۸ |
| | بهبود زیرساخت‌ها | توسعه سیستم حمل و نقل عمومی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۶۸۲ |
| | | گسترش زیرساخت‌های ریلی(مترو)، اتوبوس و.... | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۶۳۳ |
| | سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | سرمایه گذاری در جهت بهبود حمل و نقل عمومی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۴۸ |
| | | سرمایه گذاری جهت نوسازی ناوگان عمومی شهری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۰۰ |
| حمل و نقل اجتماعی پایدار | فرهنگ حمل و نقل | ترویج فرهنگ پیاده روی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۳۵ |
| | | ترویج فرهنگ دوچرخه سواری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۰۱۶ |
| | مدیریت هوشمند | مدیریت و کاهش ترافیک | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۶۴۸ |
| | | طراحی هوشمند سیستم حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۹۴ |
| | مشارکت و همکاری | جذب مشارکت شهروندان در بخش حمل و نقل. | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۷۳ |
| | | همکاری شهروندان در حفظ وسایل حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۶۹ |
| | بهبود دسترسی | کاهش زمان دسترسی به ایستگاه‌ها | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۷۰ |
| | | ارتباط نقاط مختلف شهر از لحاظ دسترسی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۰۰ |
| | امنیت | امنیت بخش حمل و نقل برای شهروندان | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۶۱۲ |
| | | مکان یابی و توزیع ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۱۹ |
| حمل و نقل زیست محیطی پایدار | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | کاهش مصرف سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۱۱ |
| | | تخصیص بهینه سوخت به بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۸۸ |
| | کاهش آلودگی | کاهش آلودگی ناشی از وسایل نقلیه | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۹۷۹ |
| | | خارج نمودن وسایل فرسوده از بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۵۷ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | افزایش فضای سبز پیرامون بخش حمل و نقل د | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۸۵۷ |
| | | تخصیص بهینه زمین به بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۳۶۵ |
| | | طراحی خیابان‌ها مطابق با بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۰۳ |

در جدول قبل وضعیت حمل و نقل پایدار در سطح متغیرها اشاره شد. در جدول زیر به شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار تاکید شده است. نتایج آزمون دو جمل‌های در زمینه شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری نشان می‌دهد که تمامی ۱۱ شاخص در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار شدهاند. بر اساس میانگین، بیشترین مقدار مربوط به شاخص بهبود زیرساخت‌ها با میانگین ۴/۵۶۷ بوده که بهترین وضعیت و تاثیرگذار را نشان داده است. همچنین سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل با مقدار ۴/۴۷۴؛ فرهنگ حمل و نقل با مقدار ۴/۲۲۵؛ مدیریت هوشمند با میانگین ۴/۴۷۱؛ بهبود دسترسی با میانگین ۴/۵۳۵؛ امنیت با مقدار ۴/۵۱۵ از دیگر شاخص‌های مهم در جهت بهبود فضاهای شهری شناخته شدهاند. وضعیت دیگر شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار نیز مطلوب ارزیابی شده است که در جدول زیر قابل مشاهده است.

**جدول ۶- ارزیابی معناداری شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار در جهت بهبود فضاهای شهری با آزمون دو جمل‌های**

| ابعاد | شاخص | نسبت مورد آزمون | p-value | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| حمل و نقل اقتصادی پایدار | کاهش هزینه حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۳/۵۳۵ |
| | بهبود زیرساخت‌ها | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۶۷ |
| | سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۷۴ |
| حمل و نقل اجتماعی پایدار | فرهنگ حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۲۵ |

| ابعاد | شاخص | نسبت مورد آزمون | p-value | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | مدیریت هوشمند | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۴۷۱ |
| | مشارکت و همکاری | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۳۷۱ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۳۵ |
| | امنیت | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۱۵ |
| حمل و نقل زیست محیطی پایدار | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۹۹ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۲۶۸ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۰ | ۴/۵۷۴ |

**تحلیل ارتباط و تاثیر شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار بر یکدیگر**

شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار نیز برای بهبود فضاهای شهری می‌توانند به کمک یکدیگر آیند؛ چرا که مشترکات زیادی دارند و بخش زیادی از شاخص‌های حمل و نقل ریشه در همدیگر دارند یا به هم وابسته هستند. برای همین موضوع رابطه این این شاخص‌ها نیز بررسی شده است. به منظور بررسی شاخص‌های حمل و نقل پایدار با توجه به ماهیت داده‌ها که فاصل‌های است، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شده است. نتیجه همبستگی شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار نشان داد که رابطه معنادار آماری در سطح کمتر از ۰/۰۱ و برابر با ۰/۰۰۰ وجود دارد. به عبارت دیگر از دیدگاه جامعه آماری با بهبود هر یک از شاخص‌های حمل و نقل پایدار، شاخص‌های دیگر نیز می‌توانند بهبود پیدا کنند و بر عکس آن نیز صادق است. دو نکته در زمینه همبستگی شاخص‌ها قابل مشاهده است. اولاً میان تمامی شاخص های همبستگی معناداری وجود دارد. دوماً روند یا جهت همبستگی نیز مستقیم و مثبت است.

در این زمینه بیشترین همبستگی و تاثیرگذاری مربوط به دو شاخص بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت هوشمند به میزان ۰/۸۸۷ بوده است که یک رابطه نسبتاً قوی و مثبت است. از دیگر رابطه‌های مهم و قوی میان شاخص‌های حمل و نقل پایداری می‌توان به رابطه بین کاهش هزینه حمل و نقل با شاخص فرهنگ حمل و نقل به مقدار ۰/۷۶۶؛ بهبود زیرساخت‌ها با بهبود دسترسی با همبستگی ۰/۷۱۵؛ سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل با امنیت با همبستگی ۰/۷۱۸؛ فرهنگ حمل و نقل با مدیریت هوشمند با همبستگی ۰/۷۶۹ و مشارکت و همکاری با بهبود دسترسی با مقدار ۰/۸۱۰ اشاره نمود. جدول زیر بخوبی دیگر نتایج و روابط بین شاخص‌های مختلف حمل و نقل پایدار را نشان می‌دهد.

**جدول ۷- تحلیل ارتباط و تاثیر شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار بر یکدیگر (همبستگی پیرسون)**

| متغیر مستقل | متغیر وابسته | میزان همبستگی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| کاهش هزینه حمل و نقل | بهبود زیرساخت‌ها | ۰/114 | ۰/۰۰۷ |
| | سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | ۰/۱۶۶ | ۰/۰۰۰ |
| | فرهنگ حمل و نقل | ۰/۷۶۶ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت هوشمند | ۰/۲۹۴ | ۰/۰۰۰ |
| | مشارکت و همکاری | ۰/۵۷۶ | ۰/۰۰۱ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۱۳۷ | ۰/۰۰۷ |
| | امنیت | ۰/۱۶۶ | ۰/۰۰۱ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۴۲۷ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۵۸۹ | ۰/۰۰۰ |
| بهبود زیرساخت‌ها | سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | ۰/۵۹۲ | ۰/۰۰۰ |
| | فرهنگ حمل و نقل | ۰/۵۴۳ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت هوشمند | ۰/۸۸۷ | ۰/۰۰۰ |
| | مشارکت و همکاری | ۰/۴۹۷ | ۰/۰۰۰ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۷۱۵ | ۰/۰۰۰ |
| | امنیت | ۰/۷۹۸ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۵۵۵ | ۰/۰۰۰ |

| متغیر مستقل | متغیر وابسته | میزان همبستگی | سطح معناداری |
|---|---|---|---|
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۳۱۷ | ۰/۰۰۰ |
| سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | فرهنگ حمل و نقل | ۰/۳۲۲ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت هوشمند | ۰/۵۹۷ | ۰/۰۰۰ |
| | مشارکت و همکاری | ۰/۷۴۲ | ۰/۰۰۰ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۸۳۹ | ۰/۰۰۰ |
| | امنیت | ۰/۷۱۸ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۵۳ | ۰/۰۰۳ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۲۸۰ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۴۹۷ | ۰/۰۰۰ |
| فرهنگ حمل و نقل | مدیریت هوشمند | ۰/۷۶۹ | ۰/۰۰۰ |
| | مشارکت و همکاری | ۰/۷۱۲ | ۰/۰۰۰ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۵۲۷ | ۰/۰۰۰ |
| | امنیت | ۰/۵۲۳ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۹۶ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۷۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۶۷۷ | ۰/۰۰۰ |
| مدیریت هوشمند | مشارکت و همکاری | ۰/۶۸۸ | ۰/۰۰۰ |
| | بهبود دسترسی | ۰/۷۵۵ | ۰/۰۰۰ |
| | امنیت | ۰/۷۷۵ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۷۱۹ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۶۲۶ | ۰/۰۰۰ |
| مشارکت و همکاری | بهبود دسترسی | ۰/۸۱۰ | ۰/۰۰۰ |
| | امنیت | ۰/۶۷۸ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۵۵۰ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۶۵۹ | ۰/۰۰۰ |
| بهبود دسترسی | امنیت | ۰/۸۰۵ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۳۴۰ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۵۹۴ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۵۱۴ | ۰/۰۰۰ |
| امنیت | مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۰/۱۵۵ | ۰/۰۰۰ |
| | کاهش آلودگی | ۰/۵۰۷ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۴۵۰ | ۰/۰۰۰ |
| مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | کاهش آلودگی | ۰/۱۵۲ | ۰/۰۰۰ |
| | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۱۲۷ | ۰/۰۰۰ |
| کاهش آلودگی | مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۰/۷۰۰ | ۰/۰۰۰ |

### تحلیل تفاوت محدوده‌های یا محلات ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار

در این بخش هدف بررسی تفاوت محدوده‌های محلات ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار است. برای بررسی این موضوع از آزمون کروسکال والیس استفاده شده است. این آزمون یک آزمون ناپارامتری است که برای مقایسه سه یا بیش از سه گروه مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تفسیر نتایج تفاوت محدوده‌های ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار بایستی اینگونه تفسیر کرد که شاخص‌های حمل و نقل پایدار شامل کاهش هزینه حمل و نقل(۰/۰۰۰)؛ بهبود زیرساخت‌ها(۰/۰۱۲)؛ فرهنگ حمل و نقل(۰/۰۲۳)؛ مدیریت هوشمند(۰/۰۳۴)؛ مشارکت و همکاری(۰/۰۳۰)؛ امنیت(۰/۰۲۰)؛ مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل(۰/۰۰۸) در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار بودهاند. لذا میان محدوده‌های محله ستارخان، تفاوت معناداری از لحاظ شاخص‌های ذکر شده مشاهده شده است. به عبارت دیگر با اطمینان

۹۹ درصد می‌توان گفت که شاخص‌های حمل و نقل پایدار در گروه‌های مختلف متفاوت است.نتیجه آزمون نشان داد که در زمینه شاخص های سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل(۰/۰۵۷)؛ بهبود دسترسی(۰/۳۰۰)؛ کاهش آلودگی(۰/۹۴۴)؛ مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل(۰/۱۰۲)، تفاوت معناداری میان محدوده‌های شهری مشاهده نشده است.

**جدول ۸- معناداری تفاوت محلات ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار ( آزمون کروسکال – والیس)**

| شاخص‌ها | Chi-Square | DF | Sig |
|---|---|---|---|
| کاهش هزینه حمل و نقل | ۲۶/۷۶۶ | ۵ | ۰/۰۰۰ |
| بهبود زیرساخت‌ها | ۱۴/۷۱۱ | ۵ | ۰/۰۱۲ |
| سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | ۱۰/۷۵۲ | ۵ | ۰/۰۵۷ |
| فرهنگ حمل و نقل | ۱۳/۰۸۰ | ۵ | ۰/۰۲۳ |
| مدیریت هوشمند | ۱۲/۰۲۲ | ۵ | ۰/۰۳۴ |
| مشارکت و همکاری | ۱۲/۳۶۳ | ۵ | ۰/۰۳۰ |
| بهبود دسترسی | ۶/۰۶۹ | ۵ | ۰/۳۰۰ |
| امنیت | ۱۳/۴۴۴ | ۵ | ۰/۰۲۰ |
| مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | ۱۵/۵۴۳ | ۵ | ۰/۰۰۸ |
| کاهش آلودگی | ۱/۲۱۴ | ۵ | ۰/۹۴۴ |
| مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | ۹/۱۷۹ | ۵ | ۰/۱۰۲ |

برای اینکه مشخص شود در کدام محدوده‌های شهری میزان تفاوت بیشتر و در کدام یک کمتر است می‌توان به میانگین رتبه‌های آزمون آماری کروسکال – والیس مراجعه نمود. نتیجه نشان داد که از لحاظ شاخص کاهش هزینه حمل و نقل، محدوده خیابان پاتریس با مقدار ۲۲۴/۷۰؛ از لحاظ شاخص بهبود زیرساخت‌ها، محدوده خیابان ستارخان با میانگین۲۰۸/۴۴؛ از لحاظ شاخص فرهنگ حمل و نقل، خیابان دریان نو با میانگین ۲۲۵/۴۵؛ از لحاظ شاخص مدیریت هوشمند، خیابان دریان نو با مقدار ۲۲۷/۱۶؛ از لحاظ شاخص مشارکت و همکاری، خیاباندریان نو با میانگین ۲۲۴/۶۶؛ از لحاظ امنیت ، خیابان دریان نو با مقدار ۲۰۸/۹۰ و از لحاظ شاخص مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل، خیابان سازمان آب با میانگین۲۰۹/۶۵، بیشترین تفاوت را میان محدوده‌های شهر محله ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار نشان داده‌اند.

**جدول ۹- تعیین تفاوت محلات ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار**

| شاخص | شاخص‌ها-میانگین رتبه‌ها | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **حجم نمونه** | **۶۴** | **۶۴** | **۶۴** | **۶۴** | **۶۴** | **۶۴** |
| | **محدوده جغرافیایی** | **محدوده خیابان ستارخان** | **محدوده خیابان دریان نو** | **محدوده خیابان پاتریس لوموبا** | **محدوده خیابان سازمان آب** | **محدوده خیابان حبیب سالله** | **محدوده خیابان شادمهر** |
| کاهش هزینه حمل و نقل | | ۱۴۸/۰۶ | ۲۱۹/۹۷ | ۲۲۴/۷۰ | ۱۹۹/۷۹ | ۱۶۱/۰۰ | ۲۰۱/۴۸ |
| بهبود زیرساخت‌ها | | ۲۰۸/۴۴ | ۲۰۴/۰۴ | ۱۸۲/۷۲ | ۱۵۷/۶۷ | ۱۹۸/۸۵ | ۲۰۳/۲۸ |
| فرهنگ حمل و نقل | | ۱۶۷/۲۹ | ۲۲۵/۴۵ | ۲۰۵/۴۰ | ۱۸۳/۳۸ | ۱۷۳/۷۳ | ۱۹۹/۷۵ |
| مدیریت هوشمند | | ۱۸۶/۹۷ | ۲۲۷/۱۶ | ۱۹۰/۶۸ | ۱۶۸/۸۸ | ۱۷۹/۴۰ | ۲۰۱/۹۲ |
| مشارکت و همکاری | | ۱۷۱/۰۸ | ۲۲۴/۶۶ | ۱۹۰/۰۵ | ۱۸۶/۶۷ | ۱۷۳/۲۹ | ۲۰۹/۲۶ |
| امنیت | | ۲۰۸/۲۰ | ۲۰۸/90 | ۱۸۲/۵۰ | ۱۵۸/۵۲ | ۱۹۲/۰۴ | ۲۰۴/۸۴ |
| مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | | ۲۰۶/۵۱ | ۱۶۲/۶۶ | ۱۶۷/۴۶ | ۲۰۹/۶۵ | ۲۰۷/۵۵ | ۲۰۱/۱۷ |

**معناداری و اولویت بندی وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل**

برای آنکه معناداری تفاوت و اولویت بندی وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل مشخص شود از آزمون فریدمن استفاده شده است. نتیجه آزمون فریدمن جهت سنجش معناداری تفاوت وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم

حمل و نقل نشان می‌دهد که فضاهای شهری در سطح کمتر از ۰/۰۵ و برابر با ۰/۰۰۰ معنادار بودهاند. بنابراین فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل بر اساس دیدگاه جامعه آماری دارای تفاوت معناداری بوده و وضعیت متفاوتی نیز می‌توانند داشته باشند. مقدار کای اسکوئر نیز برابر با ۱۱۷۳/۴۰۹ بوده است.

**جدول ۱۰- معناداری و اولویت بندی وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل**

| شاخص سنجش | مقادیر سنجش |
|---|---|
| **سطح معناداری** | ۰/۰۰۰ |
| **کای اسکوئر** | ۱۱۷۳/۴۰۹ |
| **درجه آزادی** | ۸ |
| **حجم نمونه** | ۳۸۴ |

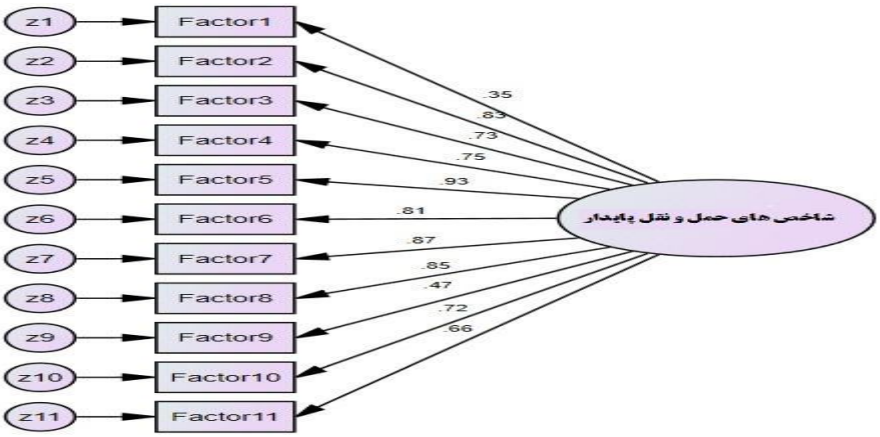
بررسی میانگین رتب‌های آزمون فریدمن در زمینه وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل بیانگر آن است که بیشترین میانگین رتب‌های مربوط به استقرار مراکز تجاری-بازار با توجه به سیستم حمل و نقل با میانگین ۷/۷۳ بوده است. همچنین وضعیت دسترسی منطقه ستارخان به بزرگراه‌ها با میانگین ۶/۱۷ و سپس استقرار محدوده‌های مسکونی با توجه به سیستم حمل و نقل با میانگین رتب‌های ۶/۱۰ در رتبه‌های دوم و سوم شناخته شدهاند.

**جدول ۱۱- اولویت بندی وضعیت فضاهای شهری منطقه ستارخان با توجه به سیستم حمل و نقل (آزمون فریدمن)**

| فضاهای شهری | میانگین رتب‌های | رتبه |
|---|---|---|
| استقرار محدوده‌های مسکونی با توجه به سیستم حمل و نقل | ۶/۱۰ | ۳ |
| استقرار فضاهای سبز با توجه به سیستم حمل و نقل | ۴/۰۷ | ۶ |
| استقرار مراکز تجاری-بازار با توجه به سیستم حمل و نقل | ۷/۷۳ | ۱ |
| استقرار مراکز آموزشی مسکونی با توجه به سیستم حمل و نقل | ۵/۴۶ | ۴ |
| استقرار مراکز بهداشتی-درمانی با توجه به سیستم حمل و نقل | ۲/۸۴ | ۹ |
| استقرار مراکز مذهبی با توجه به سیستم حمل و نقل | ۳/۷۴ | ۸ |
| استقرار مراکز اداری با توجه به سیستم حمل و نقل | ۳/۷۷ | ۷ |
| استقرار فضاهای ورزشی-تفریحی با توجه به سیستم حمل و نقل | ۵/۱۳ | ۵ |
| وضعیت دسترسی منطقه ستارخان به بزرگراه‌ها | ۶/۱۷ | ۲ |

**سنجش تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود از طریق مدلسازی معادلات ساختاری**

پس از توصیف شاخص‌های مورد بررسی که متغیرهای مستقل پژوهش هستند، جهت ارائه یک مدل تجربی از تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود ، با استفاده از نرم افزارAMOS، ابتدا مدل تحلیلی عاملی تاییدی(CFA) مرتبه اول مربوط به هر یک از شاخص‌های حمل و نقل را ترسیم کرده و در ادامه مدل‌های مذکور، هر یک از شاخص‌ها اعتبارسنجی شدهاند. شاخص های مذکور با استفاده از مدل تحلیل عاملی اکتشافی در ۱۱ عامل یا شاخص اصلی طبقهبندی شدهاند و شاخص‌های شناسایی شده با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی اعتبار سنجی شدهاند (شکل ۱). نتایج بررسی بار عاملی مربوط به ۱۱ شاخص نشان می‌دهد مقدار بارهای عاملی از ۰/۳ بیشتر بوده و نشاندهنده وضعیت مناسب شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود در مدل ترسیم شده می‌باشد. این شاخص‌ها می‌توانند تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود را مورد سنجش قرار دهند و در ادامه تاثیرات را ارزیابی و پیش بینی نمایند.




**شکل۱-بارعاملی مربوط به متغیرهای مشاهده شده، شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار از طریق مدلسازی معادلات ساختاری**

در ادامه برای بررسی برازش کلیت مدل اندازهگیری مربوط به تحقیق (تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود)، مهمترین شاخص‌های ارزیابی برازش مدل از منابع مستند استخراج شده و مقادیر محاسبه شده با معیارهای پیشنهادی تطبیق داده شد. همانطور که مشاهده می‌شود (جدول۱۲)، وضعیت کلیه معیارهای برآورد شده با مقادیر مطلوب (معیارهای پیشنهادی) همخوانی بالایی داشته و در مجموع می‌توان چنین عنوان کرد که مدل اندازهگیری ترسیم شده شرایط و اعتبار لازم را برای طراحی مدل نهایی تحقیق (تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود) را دارا می‌باشند.

**جدول۱۲- شاخص‌های ارزیابی کلیت مدل اندازهگیری تحقیق**

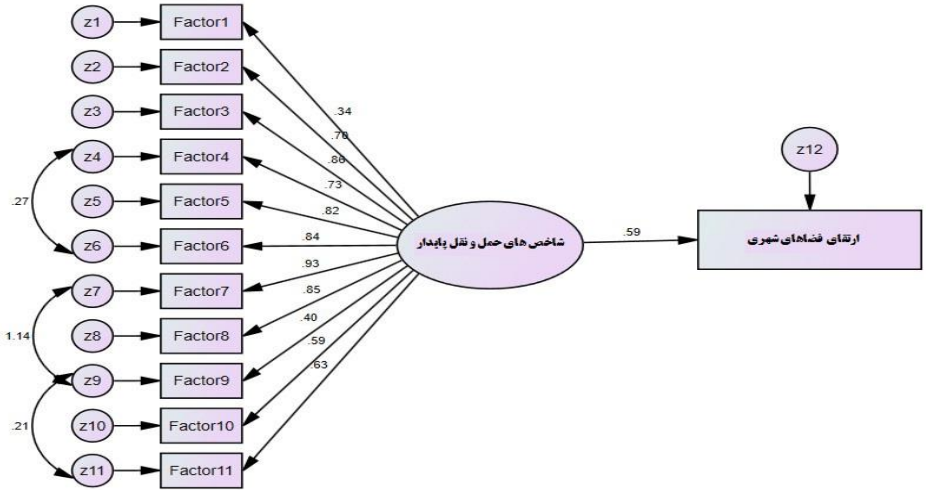
| شاخص | مقادیر پیشنهادی | شاخص‌های حمل و نقل پایدار |
|---|---|---|
| CMIN[۱] | – | ۹/۶۵۷ |
| DF[۳] | – | ۴ |
| CMIN/DF[۴] | < ۵ | ۲/۴۵۶ |
| CFI[۵] | >۰/۹ | ۰/۹۴۵ |
| RMSEA[۶] | <۰/۰۸ | ۰/۰۷۳ |
| HOELTER[۷] | > ۷۵ | ۲۳۱ |
| RMR[۸] | ≈ ۰ | ۰/۰۲۳ |
| GFI[۹] | >۰/۹ | ۰/۹۸۱ |
| NFI[۱۰] | >۰/۹ | ۰/۹۷۱ |
| PRATIO[۱۱] | ۱-۰ | ۰/۴۳۵ |

(GHasemi,2010., Lai & Lin,2008)[۱]

پس از برازش کلیت متغیرهای تحقیق در محیط Amos Graphics، مدل اثر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود ترسیم شد (شکل ۲). بررسی بارهای عاملی مربوط به متغیرها یا شاخص‌های مدل مذکور بالاتر از ۰/۳ بوده و نشانگر وضعیت قابل قبول متغیرهای(مولفه) قرار گرفته در مدل می‌باشد. همچنین بررسی وضعیت برازش مدل نهایی شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود با معیارهای پیشنهادی نشان می‌دهد (جدول ۱۲)، مدل مذکور از اعتبار و دقت لازم برخوردار بوده و توانسته است اثرات را تبیین نماید. میزان تبیین شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود برابر با ۰/۵۹ محاسبه شده

[۱]- کای اسکوئر؛ ۳- درجه آزادی؛ ۴- کای اسکوئر نسبی؛ ۵- برازش تطبیقی؛ ۶- ریشه میانگین مربعات خطای برآورد؛ ۷- شاخص هلتر؛ ۸- ریشه دوم مربع باقیمانده؛ ۹- شاخص نیکویی برازش؛ ۱۰- شاخص نرمان شده بنتلر- بونت؛ ۱۱- نسبت صرفه‌جویی.

است که تمامی شاخص‌ها با مقادیر پیشنهادی و استاندارد مطابقت دارند. نتایج جدول(۱۳) نیز به چنین نکته‌ای اشاره می‌کنند و هر یک از شاخص‌های برازش متناسب با مقادیر پیشنهادی و استاندارد می‌باشند. در حقیقت تایید کننده مدل هستند.




**شکل۲-مدل نهایی معادله ساختاری تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود از طریق مدلسازی معادلات ساختاری**

جدول (۱۳) شاخص‌های ارزیابی کلیت مدل اثرات شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود را بیان می‌نماید. نهایتاً نتایج حاصل از شاخص‌های برازش مدل نهایی نشان می‌دهد که مدل از برازش خوب برخوردار است و اعتبار و دقت لازم را در زمینه بررسی اثر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود را دارد. در واقع این مدل توانسته است چگونگی و سطح اثرگذاری را بخوبی تبیین و ارائه نماید(شکل ۲). از جمله شاخص‌های مهم در این زمینه می‌توان به میزان (CFI) برابر با ۰/۹۵۱، میزان (RMSEA) برابر با ۰/۰۶۴، میزان (HOELTER) برابر با ۲۳۴ اشاره نمود که با مقادیر پیشنهادی و استاندارد مطابقت دارند.

**جدول ۱۳- شاخص‌های ارزیابی کلیت مدل تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود از طریق مدلسازی معادلات ساختاری**

| شاخص | مقادیر پیشنهادی | مدل نهایی تحقیق |
|---|---|---|
| CMIN[۱] | – | ۹/۱۳۲ |
| [۳]DF | – | ۷/۵۴۳ |
| [۴]CMIN/DF | < ۵ | ۳/۴۵۶ |
| [۵]CFI | >۰/۹ | ۰/۹۵۱ |
| [۶]RMSEA | <۰/۰۸ | ۰/۰۶۴ |
| [۷]HOELTER | > ۷۵ | ۲۳۴ |
| [۸]RMR | ≈ ۰ | ۰/۰۳۷ |
| [۹]GFI | >۰/۹ | ۰/۹۵۴ |
| [۱۰]NFI | >۰/۹ | ۰/۹۳۲ |
| [۱۱]PRATIO | ۱-۰ | ۰/۳۲۹ |

پس از بررسی برازش کلیت مدل تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود ، اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود (جدول ۱۴)، نقش شاخص‌های ذکر شده در ارتقای فضاهای

[۱]- کای اسکوئر؛ ۳- درجه آزادی؛ ۴- کای اسکوئر نسبی؛ ۵- برازش تطبیقی؛ ۶- ریشه میانگین مربعات خطای برآورد؛ ۷- شاخص هلتر؛ ۸- ریشه دوم مربع باقیمانده؛ ۹- شاخص نیکویی برازش؛ ۱۰- شاخص نرمان شده بنتلر- بونت؛ ۱۱- نسبت صرفه‌جویی.

شهری موجود در میان پاسخگویان در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنادار است. بالاتر بودن نسبت بحرانی ابرآورد شده از مقدار ۲/۵۸ (نسبت بحرانی بالاتر از ۲/۵۸ نشانگر معناداری اثر می‌باشد)، نیز نشاندهنده معناداری اثر متغیر مستقل پژوهش(شاخص‌های حمل و نقل پایدار) در متغیر وابسته(فضاهای شهری) می‌باشد. در مجموع می‌توان چنین عنوان کرد که شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود می‌توانند موثر باشند. بر اساس نتایج این مدل بیشترین تاثیرگذاری مربوط به شاخص بهبود دسترسی با تبیین ۰/۹۳ بوده است. شاخص سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل توان تبیین ۰/۸۶ ، شاخص امنیت توان تبیین ۰/۸۵، مشارکت و همکاری توان تبیین ۰/۸۴ و شاخص مدیریت هوشمند نیز توان تبیین ۰/۸۲ را در زمینه بهبود فضاهای شهری موجود دارا هستند. در مجموع بیشترین تاثیرگذاری شاخص های حمل و نقل پایدار در فضاهای شهری، مربوط به سه شاخص بهبود دسترسی؛ سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل و امنیت بوده است.

**جدول ۱۴- آماره‌های ضرایب مدل رگرسیونی تاثیر شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری موجود از طریق مدلسازی معادلات ساختاری**

| متغیر مستقل | متغیر وابسته | نسبت بحرانی | اثر کل | سطح معناداری |
|---|---|---|---|---|
| کاهش هزینه حمل و نقل | ارتقای فضاهای شهری موجود | ۶/۵۶۷ | ۰/۳۴ | ۰/۰۰۰ |
| بهبود زیرساخت‌ها | | ۷/۴۳۲ | ۰/۷۸ | ۰/۰۰۰ |
| سرمایه گذاری در بخش حمل و نقل | | ۶/۲۳۴ | ۰/۸۶ | ۰/۰۰ |
| فرهنگ حمل و نقل | | ۵/۰۹۸ | ۰/۷۳ | ۰/۰۰۰ |
| مدیریت هوشمند | | ۷/۵۴۱ | ۰/۸۲ | ۰/۰۰۱ |
| مشارکت و همکاری | | ۷/۶۷۸ | ۰/۸۴ | ۰/۰۰۰ |
| بهبود دسترسی | | ۷/۹۸۷ | ۰/۹۳ | ۰/۰۰۲ |
| امنیت | | ۷/۰۹۸ | ۰/۸۵ | ۰/۰۰۰ |
| مدیریت سوخت در بخش حمل و نقل | | ۵/۱۲۰ | ۰/۴۰ | ۰/۰۰۰ |
| کاهش آلودگی | | ۶/۷۳۴ | ۰/۵۹ | ۰/۰۰۲ |
| مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل | | ۶/۲۳۴ | ۰/۶۳ | ۰/۰۰۰ |

## نتیجهگیری و ارائه پیشنهادات

رویکرد حمل و نقل پایدار به رویکردی گفته می‌شود که بازتاب‌ها و هزینه‌های محیطی – اجتماعی را انعکاس دهد؛ به ظرفیت قابل تحمل احترام گذارد و بین نیازهای جابهجایی، ایمنی و نیازهای دسترسی، کیفیت محیطی و سرزندگی توازن برقرار کند.نقش حمل و نقل پایدار در توسعه پایدار در ارتباط با عواملی همچون رفاه عمومی، اقتصاد ملی، محیطزیست و تأثیرات اجتماعی که به کارکردهای اساسی جامعه مرتبط است، اهمیت می‌یابد از این رو انتخاب سیستم‌های حملونقلی که منطبق با مصرف بهینه سوخت و انرژی‌های موجود و شرایط زیست محیطی باشد در اولویت اول توسعه پایدار قرار دارد.بنابراین برخورداری از شبکه حمل و نقل پویا، هماهنگ و سازمان یافته یکی از معیارهای اصلی سنجش میزان توسعه یافتگی جوامع در جهان امروز محسوب می‌شود. نتایج آزمون دو جمل‌های نشان می‌دهد که تمامی ۱۱ شاخص در سطح کمتر از ۰/۰۵ معنادار بودند. بیشترین میانگین مربوط به بهبود زیرساخت‌ها ۴/۵۶۷ بود و سایر شاخص‌های مهم شامل سرمایهگذاری در حمل و نقل (۴/۴۷۴)، فرهنگ حمل و نقل (۴,۲۲۵)، مدیریت هوشمند (۴,۴۷۱)، بهبود دسترسی (۴,۵۳۵) و امنیت (۴,۵۱۵) بودند. بیشترین همبستگی بین بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت هوشمند (۰,۸۸۷) بود. در محدوده‌های ستارخان، شاخص‌های کاهش هزینه، بهبود زیرساخت‌ها، فرهنگ، مدیریت هوشمند، مشارکت و امنیت معنادار بودند. شاخص‌های سرمایهگذاری، بهبود دسترسی، کاهش آلودگی و مدیریت کاربری معنادار نبودند. شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیستمحیطی سیستم حمل و نقل پایدار شهری برای بهبود فضاهای شهری در محله ستارخان شهر تهران معنادار هستند. این شاخص‌ها شامل استفاده از درآمد بخش حمل و نقل برای بهبود زیرساخت‌ها، هزینه حمل و نقل برای شهروندان، استفاده از حمل و نقل پاک مانند دوچرخه، تردد ایمن و با کیفیت، میزان تولید آلاینده‌ها و انتشار گازهای گلخان‌های می‌باشد. بررسی معناداری نشان می‌دهد که این شاخص‌ها در جهت بهبود فضاهای شهری موثر ارزیابی شدهاند.ارزیابی وضعیت حمل و نقل عمومی در محله ستارخان

---

[1] CR

نشان داد که ۷,۵ درصد نمونه وضعیت ضعیف، ۴۵,۶ درصد وضعیت متوسط، ۴۳,۵ درصد وضعیت خوب و ۵,۲ درصد وضعیت خیلی خوب را انتخاب کردهاند. بنابراین، ۴۸,۷ درصد نمونه آماری وضعیت حمل و نقل عمومی را خوب و ۴۵,۶ درصد آن را متوسط ارزیابی نمودهاند که نشانگر شرایط نسبتاً خوبی است.همچنین شاخص‌های متنوعی در بعد حمل و نقل پایدار می‌توانند در راستای بهبود فضاهای شهری موثر باشند. این شاخص‌ها عبارتند از بهبود زیرساخت‌ها، سرمایهگذاری در بخش حمل و نقل، ترویج فرهنگ حمل و نقل، مدیریت هوشمند، بهبود دسترسی، افزایش امنیت، کاهش هزینه حمل و نقل، مشارکت و همکاری، مدیریت سوخت، کاهش آلودگی و مدیریت کاربری مرتبط با حمل و نقل.تحلیل روابط میان شاخص‌های سیستم‌های حمل و نقل پایدار نشان داد که روابط معنادار و مستقیمی میان شاخص‌ها وجود دارد؛ بدین معنا که بهبود هر شاخص می‌تواند شاخص‌های دیگر را نیز بهبود بخشد. به ویژه، بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت هوشمند دارای بیشترین همبستگی و تاثیرگذاری هستند.

بررسی تفاوت محدوده‌های محله ستارخان از لحاظ شاخص‌های حمل و نقل پایدار نشان داد که میان این محدوده‌ها تفاوت‌های معناداری وجود دارد. مثلاً محدوده خیابان پاتریس در کاهش هزینه حمل و نقل، خیابان ستارخان در بهبود زیرساخت‌ها، خیابان دریان نو در فرهنگ حمل و نقل، مدیریت هوشمند، مشارکت و همکاری و امنیت، و خیابان سازمان آب در مدیریت سوخت تفاوت‌های معناداری را نشان دادند. نتیجهگیری مدلسازی نیز تایید نمود که شاخص‌های سیستم حمل و نقل پایدار در ارتقای فضاهای شهری محله ستارخان تاثیرگذار هستند. بر اساس نتایج این مدل، شاخص بهبود دسترسی بیشترین تاثیرگذاری را دارد و شاخص‌های سرمایهگذاری در بخش حمل و نقل، امنیت، مشارکت و همکاری و مدیریت هوشمند نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین، توسعه و بهبود سیستم حمل و نقل پایدار می‌تواند به ارتقای کلی فضاهای شهری و کیفیت زندگی در محله ستارخان کمک شایانی کند.

در مجموع تحلیل و تبیین نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های متنوعی در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در بحث حمل و نقل پایدار برای محله ستارخان قابل تاکید و تبیین هستند. این شاخص‌ها می‌توانند در چارچوب یک برنامه ریزی نظامند و یکپارچه به توسعه حمل و نقل پایدار کمک نمایند. آنچه که در این زمینه مهم است مشارکت شهروندان و توسعه برخی زیرساخت‌ها در این زمینه است. علاوه بر این بسترلازم برای توسعه حمل و نقل پایدار در محدوده مورد مطالعه وجود دارد اما آنچه که ضروری است توجه به برخی شاخص‌ها و ارتقای آن‌ها است. نتیجه این پژوهش نشان داد که شاخص‌های شناخته شده می‌توانند به ارتقای وضعیت موجود کمک نمایند. همچنین با توجه به وابستگی فضاهای شهری و حمل و نقل، شاخص‌های شناخته شده می‌توانند به بهبود فضاهای شهری نیز منجر شوند. از این رو ارتقای شاخص‌های حمل و نقل پایدار، در واقع بهبود فضاهای شهری را به دنبال دارد. در مجموع شاخص‌های حمل و نقل پایدار متنوع بوده و این شاخص‌ها در بهبود فضاهای شهری نیز تاثیرگذار هستند.

به منظور ارتقاء سیستم حمل و نقل پایدار در محله ستارخان و بهبود کیفیت فضاهای شهری، پیشنهاد می‌شود توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی از طریق افزایش تعداد و کیفیت خطوط اتوبوس و مترو و بهبود دسترسی به ایستگاه‌ها با طراحی مسیرهای پیادهروی مناسب و ایمن صورت گیرد. همچنین، تشویق به استفاده از دوچرخه با ایجاد مسیرهای دوچرخهسواری امن و نصب ایستگاه‌های دوچرخه عمومی، بهبود امکانات پیادهروی با بهسازی پیادهروها و ایجاد فضاهای سبز و مکان‌های استراحت، و مدیریت ترافیک و پارکینگ با کاهش تعداد پارکینگ‌های خیابانی و اعمال محدودیت‌های ترافیکی و استفاده از پارکینگ‌های چند طبقه ضروری است. برنامه‌های آموزشی و فرهنگسازی برای آگاهیبخشی به شهروندان و همکاری با مدارس، و بهرهگیری از فناوری‌های نوین نظیر سیستم‌های هوشمند مدیریت ترافیک و اپلیکیشن های موبایلی نیز توصیه می‌شود.

## منابع


۱. اسدی، شهام، و موحدی کلیبر، رضا. (۱۳۹۶). نقش استراتژیک توسعه پایدار و رفتار فردی بر ساختار حمل و نقل. شباک، ۳(۷-۸ (پیاپی ۲۶-۲۷))، ۴۳-۶۶.

۲. اسکندری ثانی، محمد؛ مرادی، محمود؛ و ابراهیمی، افسانه. (۱۳۹۸). بررسی عوامل مؤثر بر حمل و نقل پایدار شهری بر پایه نظریه اقتصاد سبز: مورد مطالعه شهر بیرجند. پژوهش و برنامهریزی شهری، ۱۰(۳۷)، ۱۳-۲۴.

۳. بلواریزاده دشتستانی، کورش؛ انجم شعاع، امینه. (۱۴۰۲). معیارهای دسترسی، جابجایی و حمل و نقل در مکانیابی مراکز اقامتی-گردشگری(مطالعه موردی: یافتن موقعیت مکانی هتل در شیراز، فصلنامه معماری و محیط پایدار، ۱(۲)، ۱۵-۳۲.

۴. بوجاریان، بهاره؛ کبیریان، محسن (۱۳۹۵). مفهوم شهرسازی پایدار و محیطزیست شهری در معماری. اولین کنفرانس بین المللی وسومین کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار: موسسه بین المللی معماری: شهرسازی مهراز شهر.

**۵.** حیدرپور، افشین؛ جباری، ربابه (۱۴۰۰). حمل ونقل پایدار در ایران؛ اندازه گیری و تحلیل شاخص‌های مرتبط، اقتصاد و برنامه ریزی شهری، ۲(۴)، ۲۶۴-۲۴۷.

**۶.** رسولی، سیدحسن؛ قرنجیک، عبدالرشید؛ قرنجیک، عبدالغفار. (۱۳۹۴). بررسی و ارزیابی حمل و نقل شهری بر توسعه پایدار شهری. کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

**۷.** روحی، امیر؛ فلاح، الهام؛ منشادی، پدرام؛ سعیدی زند، رضا؛ بزرگمهرنیا. (۱۳۹۰). معرفی نمونه‌های موفق برنامهریزی حمل و نقل شهری و مقایسه آن‌ها با شهر تهران (سئول، سنگاپور و کوریتیبا). مرکز مطالعات و برنامهریزی شهر تهران، معاونت مطالعات و برنامهریزی امور زیرساخت و طرح جامع، مدیریت امور حمل و نقل و ترافیک.

**۸.** شاداب نیا، هومن. (۱۳۹۵). تبیین الگوهای حمل و نقل عمومی در شهر مشهد بر مبنای شاخص دسترسی از دیدگاه توسعه پایدار. پایاننامه دکتری، رشته جغرافیا و برنامهریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد.

**۹.** صفاییپور، مسعود؛ سجادیان، مهیار (۱۳۹۴). جستاری بر تحولات و تطورات مفهوم شهر اسلامی، فصلنامه جغرافیا و برنامهریزی شهری چشم انداز زاگرس،۷(۲۴)، ۱۵۹-۲۰۲.

**۱۰.** گودرزی، غزاله؛ لر، رضا. (۱۴۰۱). "بازطراحی شبکه حمل و نقل درون شهری با رویکرد پایدار (نمونه موردی محور ستارخان)". جاده, ۳(۲۰), ۸۳-۱۰۴.

**۱۱.** ماجدی، حمید؛ منصوری، الهام، و حاجی احمدی، آذین. (۱۳۹۰). بازتعریف فضای شهری (مطالعه موردی: محور ولیعصر حد فاصل میدان ولیعصر تا چهارراه ولیعصر). مدیریت شهری، ۹(۲۷)، ۲۶۳-۲۸۳.

**۱۲.** محمدپور، صابر؛ مهرجو، مهرداد؛ اغنایی، فاطمه. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیرات سیاست‌های حمل و نقلی در بهبود رضایتمندی شهروندان از کیفیت زندگی شهری، مطالعه موردی: شهر رشت. برنامه ریزی توسعه شهری و منطق‌های، ۴ (۸)، ۱۴۵-۱۷۸.

**۱۳.** مختاری ملک آبادی،رضا (۱۳۹۱). سنجش تعلق مکانی، فضایی و زیبایی شناسی نمادهای هویت شهر اسلامی(مورد مطالعه شهر پایتخت و فرهنگ تمدن اسلامی؛اصفهان)،مجموعه مقالات دومین همایش ملی شهر اسلامی،اصفهان.

**۱۴.** معبودینیا، محمدتقی (۱۳۹۹). تحلیل چالش‌های حمل و نقل پایدار شهری مبتنی بر رویکرد آینده پژوهی؛ نمونه موردی: کلانشهر تبریز، پایاننامه دکتری، رشته جغرافیا و برنامهریزی شهری، دانشکده برنامهریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

**15.** Boitor, R. M., Antov, D., & Iliescu, M. (2013). Sustainable Urban Transport Planning. Romanian Journal of Transport Infrastructure, 2(1). DOI: 10.1515/rjti-2015-0010

**16.** Ling, S., Ma, S., & Jia, N. (2022). Sustainable urban transportation development in China: A behavioral perspective. Frontiers of Engineering and Management, 9(1), 16–30. https://doi.org/10.1007/s42524-021-0162-4

**17.** Sultana, S., Salon, D., & Kuby, M. (2019). Transportation Sustainability in the Urban Context: A Comprehensive Review. Urban Geography, 40(3), 1-30. https://doi.org/10.1080/02723638.2017.1395635

**18.** Noto, G. (2017). Combining System Dynamics and Performance Management to Support Sustainable Urban Transportation Planning. Journal of Urban and Regional Analysis, Vol. IX(1), 2017, pp. 51-71.

**19.** Raza, A., Ali, M.U., Ullah, U., Fayaz, M., Alvi, M.J., Kallu, K.D., Zafar, A., & Nengroo, S.H. (2022). Evaluation of a Sustainable Urban Transportation System in Terms of Traffic Congestion—A Case Study in Taxila, Pakistan. Sustainability, 14, 12325. https://doi.org/10.3390/su141912325

**20.** Elkin, T., McLaren, D., & Hillman, M. (1991). Reviving the City: Towards Sustainable Urban Development. Friends of the Earth, London.

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

**Research Paper**

# Performance Evaluation of New Recycled Materials With the Use of Thermal Insulation in Building Walls

**Aaram Mirmothari:** PhD student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
**Mahsa Rahmani Zakavot:** Master's degree student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
**Sayedehmamak Salavatian*:** Faculty member, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

**Received:** 2024/05/20 **PP** 65-78 **Accepted:** 2024/08/20

## Abstract
Continuous increase in energy consumption and environmental pollution is one of the main challenges of the 21st century. One of the approaches to overcome these challenges is to emphasize on the use of recycled materials and environmental-friendly methods in production. Use of new recycled materials as thermal insulation in buildings would play a vital role in reducing environmental pollution and is also effective in saving energy consumption by minimizing heat loss during heating and cooling period of the building. For this purpose, this study evaluates performance of new recycled materials in building envelopes with the use of thermal insulation and examines the effect of the physical and thermal characteristics of these insulating materials on the thermal performance of the exterior walls. In this regard, recycled materials usable in various parts of a building as well as the properties of recycled materials used as thermal insulation in the building wall were investigated in this research. The results show that although the current market is completely dominated by common synthetic insulation materials, it is possible to replace these common materials with recycled materials and achieve the desired thermal performance. In some cases, thermal insulation materials produced from recycled materials with a thickness equal to the raw materials provide the heat transfer coefficient allowed according to the national building regulations and show better results than the existing and predominant products in the market. In addition, the life cycle assessment report indicates that environmental impacts are minimized by replacing common thermal insulation with these recycled materials.

**Keywords:** Recycled Building Materials, Thermal Insulation, Building Envelope, Environmental Impacts

**Citation:** Mirmothari, A., Rahmani Zakavot, M., & Salavatian, S. (2024). **Performance Evaluation of New Recycled Materials With The Use of Thermal Insulation in Building Walls,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 165-78.

*. **Corresponding author:** seyedehmamak Salavatian, **Email:** salavatian@iaurasht.ac.ir, **Tel:** +989364168911

## Extended Abstract

### Introduction

Increasing energy consumption and environmental pollution are among the main challenges of the 21st century. One of the solutions to deal with these challenges is the use of recycled materials and environmentally friendly methods in the production of building materials. This research examines the performance of recycled materials as thermal insulation in building walls and evaluates the effect of physical and thermal characteristics of these materials on the thermal performance of buildings. The results show that recycled materials can effectively replace synthetic insulations and provide better performance in some cases. Also, the use of these materials can reduce the environmental impact. Considering the energy crisis and pollution caused by fossil fuels, it is necessary to optimize energy consumption in buildings. The use of efficient thermal insulation can reduce up to 65% of energy consumption. In recent years, attention has been paid to the use of environmentally friendly and recycled materials, and researchers are looking for solutions to optimize energy consumption and preserve natural resources.Previous researches show that the use of recycled materials in the construction industry can contribute to sustainable development and environmental protection. This article examines and evaluates thermal insulation materials made from different wastes and their effect on optimizing energy consumption.

### Methodology

The purpose of this research is to investigate recycled materials for insulating building walls. The main research questions include identifying types of recycled materials with thermal insulation performance and the characteristics of these materials. The research methodology is descriptive-analytical and based on library studies.Recycling means reprocessing materials at the end of their life and returning them to the life cycle. In the past, recycling was more of a waste management issue, but nowadays resource efficiency is being considered as a drive for recycling. The goals of recycling include reducing waste, preserving natural resources, preventing pollution, saving energy, and reducing greenhouse gas emissions.The benefits of using recycled materials include not using agricultural land, considering the economy, eliminating water pollution, preventing greenhouse gas emissions, reducing transportation, and creating employment.

### Results and discussion

The paper examines new recycled materials in the construction industry that are produced with new compounds in different countries. These materials are mainly based on minerals and are used to make coatings, structures and connections. Considering the challenges of energy consumption in developed countries, and the use of these recycled materials in the production of building materials is increasing. Some of these materials include recycled concrete aggregate, silica fume, cement kiln dust, glass, plastic, and carpet waste. Also, a summary of recycled materials and their applications in construction projects is presented in Table 1.Thermal insulation refers to materials that have the ability to reduce heat transfer. Thermal insulation property is usually measured by thermal conductivity ($\lambda$) and thermal transmittance (U-value). Thermal conductivity refers to the heat transfer rate per unit length and temperature difference and is measured in W/mK units. Also, thermal resistance (Rth) is the ratio of material thickness to its thermal conductivity. Materials with thermal conductivity less than 0.07 W/mK are known as thermal insulation, and materials with conductivity below 0.05 W/mK perform better.The study examines building insulation materials and their environmental effects. Currently, most insulating materials are produced from synthetic and mineral fibers such as glass fibers and mineral wool, which have negative effects on the environment. Using recycled, natural or synthetic fibers as alternatives can help improve energy performance, reduce the consumption of non-renewable resources and reduce pollution.In this regard, textile waste and natural fibers such as cotton, hemp and wool have been investigated as thermal insulation materials. These materials can be used as sustainable options in the construction industry due to their proper thermal insulation properties and reduced heat conduction. Also, recycled polyester and nylon fibers have also been introduced as thermal insulation materials with

acceptable properties.Finally, the use of these materials not only helps to reduce textile waste, but can also improve the quality of the environment and human health.Life cycle assessment (LCA) is a systematic method to examine the environmental impact of a product from production to its disposal. This method includes the evaluation of the emission of pollutants in the air, water and soil and environmental effects such as resource depletion and global warming. LCA is usually performed by consulting firms and research institutes and can be done following international standards such as ISO14040 and ISO14044.Research has shown that cotton cultivation and different dyeing processes have different impacts on the environment. In particular, the use of recycled fibers can help reduce carbon footprints and water consumption. For example, the use of recycled cotton fibers in a Swedish factory has resulted in a reduction of 2.4 million tons of CO2 equivalent and more than 900 billion liters of water per year. Also, the production of recycled clothes requires much less energy than the production of raw materials.Finally, the results show that acrylic and polyester fibers have the least impact on the environment, while cotton has the most impact. These findings emphasize the importance of using recycled fibers and reducing the consumption of primary resources.In this study, the performance of recycled materials as an alternative to common thermal insulation in residential constructions in Tehran has been investigated. The aim was to evaluate the potential of these materials to compete with conventional commercial insulations. The most frequent wall type of residential buildings in Tehran was selected as samples and the minimum thermal resistance of the walls was determined based on national building regulations. Five samples of recycled materials were compared with polystyrene and the results showed that these materials with similar thicknesses (57 to 76 mm) can act as substitutes for commercial insulation and provide similar thermal performance.

## Conclusion

This article examines the use of recycled materials in the construction industry and their replacement as thermal insulation in building walls. Researches show that some of these materials can effectively replace polystyrene in the walls and provide optimal thermal performance by complying with the national building standards. Also, the use of these materials helps reduce the carbon footprint and save energy. In the future, more research will be done to simulate the thermal and moisture performance of different types of recycled materials to introduce their advantages as an alternative to commercial synthetic materials to building professionals and users.

## References


1. Asdrubali, F; D'Alessandro, F; Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustain. Mater. Technol4, 1–17.
2. Asdrubali, F; Schiavoni, S; Horoshenkov, K.V. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. Build. Acoust.
3. Awwad, M., & Shbeeb, L. (2007). The use of polyethylene in hot asphalt mixtures. Am. J. Eng. Applied Sci.
4. Binici, H., Eken, M., Dolaz, M., Aksogan, O., & kara, m. (2014). An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. Constr. Build. Mater. 51, 24–33.
5. Bolden, J., Abu-Lebdeh, T., & Fini , E. (2013). Utilization of Recycled and Waste Materials in Various Construction Applications. American Journal of Environmental Science.
6. Briga-Sa A Nascimento D Teixeira N. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. Constr. Build. Mater. 38, 155–160.
7. Datta C Basu D Roy A Banerjee A. (2004). Mechanical and dynamic mechanical studies of epoxy/VAc-EHA/HMMM IPN–jute composite systems. J. Appl. Polym. Sci. 91, 958–963.
8. Delbari, S., & Ghadamyari, H. (2023). Lightweight construction using recycled concrete materials. 8th International Conference on Research in Science and Engineering and 5th International Congress of Civil Engineering, Architecture, and Urban Development of Asia [In Persian].
9. Desarnaulds, V., Costanzo, E., Carvalho, A., & Arlaud, B. (2005). Sustainability of acoustic materials and acoustic

characterization of sustainable materials. In: Proceedings of the 12th International Congress on Sound and Vibration. https://paginas.fe.u.

**10.** Dissanayake, D.G.K; Weerasinghe, D.U; Wijesinghe, K.A.P.; Kalpage, K.M.D.M.P . .(۲۰۱۸)

**11.** Drochytka R; Dvorakova M; Hodna J .(2017). Performance evaluation and research of alternative thermal insulation based on waste polyester fibers. . Procedia Eng. 195, 236–243.

**12.** Fatima, S., & Mohanty, A. (2011). Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. Appl. Acoust. 72, 108–114.

**13.** Gassan, j; Chate, A; Bledzki, A .K; (2001). Calculation of elastic properties of natural fibers. J. Mater. Sci. 36, 3715–3720.

**14.** Gle, P., Gourdon, E., & Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. Appl. Acoust. 72, 249–259.

**15.** Gounni A El Wazna M El Alami M El Boua. (2018). Thermal performance evaluation of textile waste as an alternative solution for heat transfer reduction in buildings. . J. Sol. Energy Eng. 140, 1–6.

**16.** H Lin ،T.T Li, C.W Lo. (2016) Puncture-resisting, sound-absorbing and thermal-insulating properties of polypropylene-selvages reinforced composite nonwovens. J. Ind. Text. 45, 1477–1489.

**17.** Hakimi, M., Kazemi, M. J., & Tajeddini, A. (2021). Energy consumption optimization management with zero-energy building approach using fuzzy method. Scientific-Research Journal of Structural and Construction Engineering, 8(6), 241-262. https://doi.org/10.22065/jsce.2020.199064.1932 [In Persian].

**18.** Hosseini, S. S., & Rad, S. (2023). Investigating the changes in the physical properties of bitumen composite with the addition of recycled materials. Journal of Environmental Science and Technology, 25(1), 39-51. https://doi.org/10.30495/jest.2022.616195.5431 [In Persian].

**19.** Iannace, G., Maffei, L., & Trematerra, P. (2012). On the use of “green materials” for the acoustic correction of classrooms. https://iris.unicampania.it/handle/11591./

**20.** Islam, S., & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. Journal of Environmental Management.

**21.** J, Sedlmajer M Zach J Hroudova (2015). Possibilities of development of thermal insulating materials based on waste textile fibers. Adv. Mater. Res. 1124, 183–188.

**22.** K, Aghaee M, Foroughi (2013). Construction of lightweight concrete partitions using textile waste. . In: Chong, W., Gong, J., Chang, J., Siddiqui, M. (Eds.), ICSDEC 2012.:

**23.** Krach, A; Advani, S.G; (1996). Influence of void shape, void volume and matrix anisotropy on effective thermal conductivity of a three-phase composite. J. Compos. Mater. 30, 933–946.

**24.** Leblance, R. (2018). The balance small business textile recycling facts and figures. https://www.thebalancesmb.com.

**25.** Massoudinejad, M. , Amanidaz, N., Santos, R. .., & Bakhshoode, R. (2019). Use of municipal, agricultural, industrial, construction and demolition waste in thermal and sound building insulation materials. a review article, Journal of Enviro.

**26.** Patnaik, A. ,., Mvubu, M., Muniyasamy, S., & Botha, A. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers andtheir biodegradation studies. . Energy Build. 92, 161–169.

**27.** Recycle, C. (2006). Asphalt roofing shingles recycling: Introduction. The California Department of Resources Recycling and Recovery.

**28.** RMA. (2011). U.S. scrap tire management summary. Rubber Manufacturers Association, Inc.

**29.** Roos, s; Zamani, B; Sandin, G; Peters, G.M; (2016). A life cycle assessment (LCA)-based approach to guiding an industry sector towards sustainability. the case of the Swedish apparel sector. J. Clean. Prod. 133, 691–700.

**30.** Sartipi Pour, F. (2015). Feasibility study of material recycling in post-disaster reconstruction (Case study of concrete recycling). Housing and Rural

Environment Quarterly, 34(152), 31-42. [In Persian].

**31.** Shaghayegh, M. (2013). Study of thermal behavior of common materials in wall construction: Case study of residential buildings in Tehran. Journal of Fine Arts, 18(1), 69-78. https://doi.org/10.22059/jfaup.2013.36358 [In Persian].

**32.** sustainable urban neighborhood with zero-energy buildings in Valiasr neighborhood of Tabriz. Sustainable City Quarterly, 4(2), 91-106. https://doi.org/10.22034/jsc.2021.259714.1364 [In Persian].

**33.** Trajković, D; Jordeva, S; Tomovska, E; Zafiro; (2017) Polyester apparel cutting waste as insulation material. J. Text. Inst. 108, 1238–1245.

**34.** van der Velden, N.M; Patel, M.K; Vogtlände (2014). LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane. Int. J. Life Cycle Assess. 19, 331–356.

**35.** Wang Y (2010). Fiber and textile waste utilization. Waste Biomass Valorization 1, 135–143.

**36.** Woolridge, A.C; Ward, G.D; Phillips, P.S; (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material. an UK energy saving perspective.Resour. Conserv. Recycl. 46, 94–103.

**37.** Woolridge, A.C; Ward, G.D; Phillips, P.S; (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material:. an UK energy saving perspective.Resour. Conserv. Recycl. 46, 94–103.

**38.** Worrell, E., & and Reuter, M. (2014). Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts,. and Scientists, Elsevier Science, 10.

**39.** Zach J; Korjenic A; Petránek V; Hroudová; (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. Energy Build. 49, 246–253. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014

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

مقاله پژوهشی

# ارزیابی عملکرد مصالح بازیافتی نوین با کاربرد عایق حرارتی در جداره‌های ساختمانی

**آرام میرمطهری:** دانشجوی دکتری معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
**مهسا رهنمائی ذکاوت:** دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
**سیده مامک صلواتیان[۱]:** استادیار، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱ صص ۷۸-۶۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

## چکیده

افزایش مداوم مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست از چالش‌های اصلی قرن بیست و یکم است. یکی از رویکردهای غلبه بر این چالش‌ها افزایش استفاده از مواد بازیافتی و روش‌های سازگار با محیط زیست در تولید است. از آنجایی که استفاده از مصالح بازیافتی نوین بعنوان عایق حرارتی در ساختمان‌ها می‌تواند نقش حیاتی در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی داشته باشد، به‌کارگیری این دسته از مواد عایق با به حداقل رساندن اتلاف حرارتی در طول گرمایش و سرمایش ساختمان در صرفه‌جویی مصرف انرژی کارآمد است. هدف از این تحقیق بررسی مواد بازیافتی با هدف عایق‌کاری جداره‌های ساختمان است. از این رو روش‌شناسی پژوهش حاضر توصیفی– تحلیلی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای می‌باشد. به این منظور، این مقاله به ارزیابی عملکرد مصالح بازیافتی نوین در جداره‌های ساختمانی با کاربرد عایق حرارتی می‌پردازد و تأثیر مشخصات و ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی این مواد عایق را بر عملکرد حرارتی پوسته خارجی بررسی می‌کند. در این راستا، مصالح بازیافتی قابل استفاده در بخش های مختلف ساخت، و نیز ویژگی های مصالح بازیافتی کاربردی به‌عنوان عایق حرارتی در جداره ساختمان در این پژوهش مورد تشریح و بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه بازار کنونی به طور کامل تحت سلطهٔ برخی از مواد عایق سنتزی متداول است، امکان جایگزینی این مواد متداول با مواد بازیافتی و دستیابی به عملکرد حرارتی مورد نظر وجود دارد. در برخی موارد، مواد عایق حرارتی تولید شده از مواد بازیافتی با ضخامتی معادل مصالح اولیه، ضریب انتقال حرارتی مجاز مطابق مقررات ملی ساختمان را تامین نموده و نتایج بهتری نسبت به محصولات موجود و غالب در بازار نشان می‌دهند. علاوه بر آن گزارش ارزیابی چرخهٔ حیات حاکی از آن است که اثرات زیست‌محیطی از طریق جایگزینی عایق‌های حرارتی رایج با این مواد بازیافتی به حداقل می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** مصالح بازیافتی ساختمانی، عایق حرارتی، پوستهٔ ساختمان، اثرات زیست‌محیطی

**استناد:** میرمطهری، آرام؛ رهنمائی ذکاوت، مهسا و صلواتیان، سیده مامک (۱۴۰۳). **ارزیابی عملکرد مصالح بازیافتی نوین با کاربرد عایق حرارتی در جداره‌های ساختمانی**، *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۶۵-۷۸.

[۱] **نویسنده مسئول:** سیده مامک صلواتیان ، **پست الکترونیکی:** salavatian@iaurasht.ac.ir **تلفن:** ۰۹۳۶۴۱۶۸۹۱۱

## مقدّمه

پیشرفت علم و فناوری علاوه بر دستاوردهای فراوان برای آسایش و رفاه بشر، همواره مشکلاتی را نیز برای بشر به همراه داشته است. در این زمینه دو بحران بزرگ که آینده بشریت را تهدید می‌کنند، مسئله انرژی و رو به اتمام بودن منابع انرژی‌های فسیلی و دیگری اثرات تخریبی و آلوده‌کننده محیط زیست در اثر استفاده بی‌رویه از این سوخت‌ها است. مواجهه با این گونه مسائل و مشکلات محققان را به تلاش در راستای کاهش اثرات سوء ناشی از آن سوق داده است (اصغری، ابراهیمی اصل، ملکی گاوگانی و ستاری ساربان قلی، ۱۴۰۰). مقایسه میزان مصرف سرانهٔ انرژی در جوامع بین‌المللی نشان داده است که در ایران میزان مصرف انرژی به ازای هر مترمربع در بخش ساختمان و مسکن ۲/۶ تا ۴ برابر این مقدار در کشورهای صنعتی است که نشانگر فاصله چشمگیر مصرف انرژی در بخش ساختمان در کشور ما با استانداردهای جهانی است. در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از محققان و دست‌اندرکاران مصرف انرژی در بخش ساختمان به رویکرد صرفه‌جویی در مصرف انرژی و یافتن راهکارهای مناسب و کارا برای حفظ منابع انرژی جلب شده است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان، برخلاف سایر سیستم‌های تبدیل انرژی با عوامل محدودکننده‌ای نظیر شرایط آسایش حرارتی روبرو بوده و در اغلب موارد کاهش مصرف انرژی در ساختمان منجر به تضعیف شرایط آسایش ساکنین آن می‌گردد؛ بنابراین، باید در پی راهکارهایی بود که بتوان ضمن حفظ شرایط آسایش حرارتی در محدوده قابل قبول، مصرف انرژی را نیز کاهش داد (حبیب‌زاده،، ۱۳۹۸).

دستیابی به اصولی در راستای معماری پایدار می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، درهای بازگشت به معماری همساز با طبیعت به سبک گذشته را به روی نسل معاصر بگشاید (اصغری و همکاران؛ ۱۴۰۰). به دنبال پیشرفت تکنولوژی و پیدایش مصالح ساختمانی جدید و در پی آن تغییر در الگوی ساخت از شیوه سنتی به صنعتی و تغییر در ساختار سازه‌ای بنا (از دیوار باربر به اسکلتی) و نیز با کاهش ضخامت جداره‌ها، بهره‌گیری از عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها عامل مهمی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها محسوب می‌شود. استفاده از مواد عایق کارآمد می‌تواند با به حداقل رساندن تلفات حرارتی به صرفه‌جویی در انرژی کمک کند. بر اساس متون علمی، یک عایق خوب می‌تواند حدود ۶۵ درصد از مصرف انرژی در ساختمان‌های خانگی کاسته و بیش از صد برابر در میزان ردپای کربن ناشی از استفاده و دفع مواد مورد استفاده تاثیرگذار باشد (Islam & Bhat, 2019).

از این رو تهیه و تولید مواد عایق از مواد بازیافتی راه حل بالقوه‌ای برای حل این چالش بوده فلذا هدف از این تحقیق شناخت و ارزیابی عملکرد مواد بازیافتی نوین به‌عنوان مصالح ساختمانی با هدف عایق‌کاری در جداره‌های ساختمان می‌باشد.

## پیشینه و مبانی نظری تحقیق

در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد توجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرار گرفته است (حبیب‌زاده، ۱۳۹۸). سرتیپی‌پور در مقاله‌ای با عنوان «امکان‌سنجی بازیافت مصالح در بازسازی پس از سانحه» مطالعه‌ای درباره بازیافت بتن انجام داده و در آن به ضرورت توجه به بازیافت بتن و شیوه‌های استفاده از منافع بازیافت در جهت توسعه صنعت ساختمان، حفظ محیط زیست و صرفه‌جویی‌های ناشی از آن تأکید کرده است (سرتیپی‌پور، ۱۳۹۴).

همچنین، امروزه آگاهی درباره استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست و سالم افزایش یافته است که این امر موجب ترغیب افراد به استفاده از مواد طبیعی و بازیافتی شده است (Asdrubali & Horoshenkov, 2012; Gle et al., 2011; Iannace et al., 2012). در نتیجه، تمایل به استفاده از مواد عایق ساختمانی ساخته شده از مواد طبیعی بی‌ضرر و محصولات بازیافتی به تدریج در حال افزایش است (Asdrubali et al., 2015). شفیق‌الاسلام در مقاله‌ای با عنوان «مواد عایق حرارتی و صوتی سازگار با محیط زیست از منسوجات بازیافتی» به بررسی انواع مصالح بازیافتی جهت عایق‌های حرارتی و صوتی ساختمان پرداخته است (Islam & Bhat, 2019). محمدرضا مسعودی‌نژاد و همکاران در یک مقاله مروری به بررسی مواد عایق حرارتی و صوتی ساخته شده از زباله‌های شهری، کشاورزی، صنعتی، ساختمانی و تخریبی پرداخته‌اند (Massoudinejad et al., 2019). همچنین، چندین نویسنده دیگر مواد بازیافتی طبیعی برای توسعه مواد عایق حرارتی را به دلیل اثرات زیست‌محیطی مثبت، ردپای کم کربن و اثرات خطرناک کم برای سلامتی مطالعه کرده‌اند (Binici, 2014; Fatima & Mohanty, 2011; Desarnaulds et al., 2005). حسینی و راد در مقاله‌ای با عنوان «بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی کامپوزیت قیر با افزودن مواد بازیافتی» بیان می‌کنند که افزودن مواد بازیافتی می‌تواند برخی خواص قیر خالص را بهبود بخشد و می‌توان با توجه به کاربری قیر در صنعت مورد نظر از افزودنی‌هایی که خاصیت مورد نظر را تقویت می‌کنند، استفاده کرد (حسینی و راد، ۱۴۰۲). همچنین، دلبری و قدمیاری در مقاله‌ای با عنوان «سبک‌سازی ساختمان با استفاده از مصالح بازیافتی بتنی» بیان می‌کنند که بازیافت نخاله‌ها و ضایعات ساختمانی کمک زیادی به حفظ محیط

زیست اطراف خواهد کرد. بازیافت مصالح قابل مصرف، هدایت صحیح مواد زائد به محل‌های دفن و نهایتاً زیباسازی از اهداف عمده مدیریت نخاله‌های ساختمانی است (دلبری و قدمیاری، ۱۴۰۲).

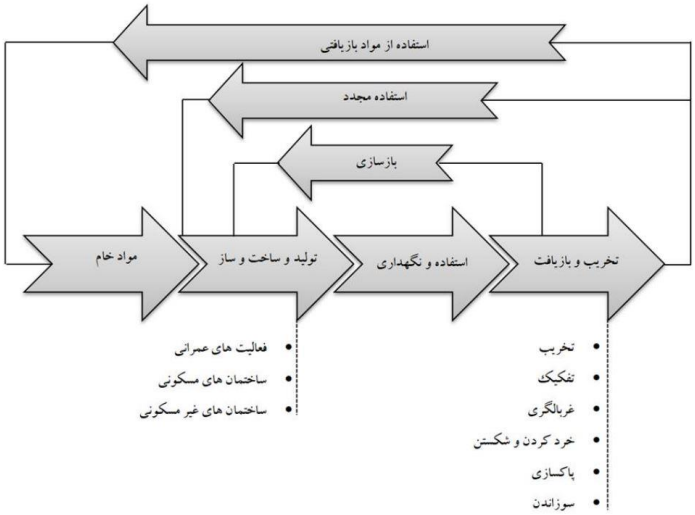
## مواد و روش تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی مواد بازیافتی باهدف عایق‌کاری جداره‌های ساختمان است. ازاین‌رو مهم‌ترین سؤالات تحقیق عبارت است از: ۱- انواع مصالح بازیافتی نوین با عملکرد عایق حرارتی کدامند؟ ۲- مصالح بازیافتی قابل استفاده در جداره‌های ساختمان با هدف عایق‌های حرارتی دارای چه ویژگی‌هایی هستند؟ روش‌شناسی پژوهش حاضر توصیفی- تحلیلی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای می‌باشد.

## بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

### بازیافت، اهداف و مزایا

بازیافت، فرایندی است که در طی آن، مواد در پایان طول عمر خود مجدداً پردازش می‌شوند و به چرخه زندگی بازگردانده می‌شوند. مواد بازیافتی را «مواد ثانویه» نیز می‌نامند که در تقابل با «مواد اولیه» هستند. در دهه‌های گذشته، بازیافت به طور عمده به‌عنوان مسئله‌ای در مدیریت زباله در نظر گرفته می‌شد. درحالی‌که امروز به‌تدریج این دید به سمت بهره‌وری منابع به‌عنوان محرکی برای بازیافت، تغییریافته است (Worrell & and Reuter, 2014) به‌کارگیری این مواد رابطه مستقیمی با مدیریت کل چرخهٔ حیات ساختمان و مواد و مصالح آن داشته و آن را کامل می‌کند؛ این چرخه متشکل از مراحل تولید، ساخت، تخریب و استفاده مجدد/ بازیافت و یا دفع می‌باشد. نمودار زیر چرخه استفاده از مواد و مصالح در ساختمان و نقش بازیافت را در این چرخه نشان می‌دهد:




**شکل۱- مدل چرخهٔ مواد بازیافتی در ساختمان**

از جمله اهداف فرایند بازیافت می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاهش میزان ضایعاتی که برای دفن و سوزاندن فرستاده می‌شوند. - حفظ منابع طبیعی از قبیل چوب، آب و منابع معدنی - پیشگیری از آلودگی از طریق کاهش نیاز به جمع‌آوری مواد خام - صرفه‌جویی در انرژی - کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای که در تغییر آب و هوا نقش دارند. - کمک به پایداری محیط زیست برای تولیدهای آینده

برخی از مزایای استفاده از مصالح بازیافتی نیز به شرح زیر است:

- عدم استفاده از زمین‌های زراعی و منابع طبیعی در محل دپوی زباله و عدم ایجاد آلودگی‌های بصری- کمک به اقتصاد با استفاده مجدد از نخاله‌ها- حذف آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی - جلوگیری از متصاعد شدن گازهای گلخانه‌ای و گازهای سمی سیمان و آهک- جلوگیری از پراکندگی ریزگردها- کاهش حمل و نقل و در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی- ایجاد اشتغال از طریق گسترش صنعت (Bolden, 2013).

## مصالح بازیافتی نوین در صنعت ساختمان

امروزه مصالح ساختمانی جدید با ترکیبات نوین در کشورهای مختلف دنیا ساخته می‌شوند. بسیاری از این مصالح بر پایه مواد معدنی و برای ساخت پوشش‌ها، سازه‌ها و اتصالات می‌باشند. باتوجه‌به چالش‌های مصرف انرژی در کشورهای پیشرفته عمدتاً استفاده از این مواد بازیافتی نوین در تولید مصالح ساختمانی روند رو به رشدی داشته است.

سنگدانه بتن بازیافتی، سیلیکافیوم یا دوده سیلیسی، گرد و غبار کورهٔ سیمان، ماسهٔ ریخته‌گری، تایل‌های شینگل بام شیروانی، روسازی آسفالت اصلاح شده، شیشه، پلاستیک، ضایعات فرش، لاستیک تایر، خاکستر بادی، سرباره ، کود حیوانی، چربی حیوانی، پوست مرکبات، لجن فاضلاب (Bolden, 2013).

خلاصه‌ای از مواد بازیافتی انتخاب شده و کاربردهای آنها در پروژه‌های مختلف ساختمانی در جدول ۱ آورده شده است.

**جدول ۱- انواع مواد بازیافتی و کاربردهای آنها در پروژه‌های مختلف**

| مواد بازیافتی | مواد بازیافتی نوآورانه در کاربردهای ساخت و ساز | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | آسفالت مخلوط داغ | مخلوط های بتن | خاکریزها | سنگدانه | خط مبنا | پر کننده معدنی | تثبیت کننده خاک | جاذب | تصفیه فاضلاب | پلیمر | چسب | سوخت جایگزین |
| کود حیوانی | × | | | | | | | | | | | × |
| چربی حیوانی | | × | | | | | | | | × | | |
| دوده سیلیکا | × | × | | | | | | | | | × | |
| تخته های آسفالت | × | | | × | × | × | × | | | | | |
| الیاف شاخه های خرما | × | | | | | | | | | | | |
| پوستهای مرکبات | | | | | | | | × | | | | |
| گرد و غبار کوره سیمان | × | × | | | | | × | | | | | |
| خاکستر بادی | | × | × | × | | × | | × | × | | | |
| ماسه ریخته گری | × | × | × | × | × | | | | | | | |
| سرباره | | × | × | | × | | × | | | | | |
| شیشه | | | × | × | | | × | | | | | |
| پلاستیک | × | | × | × | | | | | | | | |
| فرش | × | × | × | | | | | | | | | |
| ضایعات لاستیک | × | × | × | | × | × | × | × | | | | × |
| روسازی آسفالت | × | | | × | × | | | | | | | |
| سنگدانه بتن | | × | | × | × | | | | | | | |
| سنگ گچ | × | | | | | | | | | | | |
| لجن فاضلاب | × | × | | | | | | | | | | |

منبع: (Bolden et al, 2013)

## عایق حرارتی و ضرورت استفاده از آن

گرما از ماده با دمای بالاتر به ماده دارای دمای پایین‌تر توسط فرآیندهای هدایت، همرفت و تشعشع منتقل می‌شود. عایق حرارتی خاصیت یک ماده برای کاهش جریان یا انتقال حرارت است. خاصیت عایق حرارتی یک ماده معمولاً با هدایت گرمایی (λ) یا انتقال حرارتی (U-value) اندازه‌گیری می‌شود. هدایت گرمایی را می‌توان به‌عنوان نرخ سرعت انتقال گرما در واحد طول یک ماده در جهتی عمود بر سطح یک واحد سطح مقطع در نتیجه اختلاف دما تعریف نمود که با استفاده از واحدهای W/mK اندازه‌گیری کمّی می‌شود. انتقال حرارتی سرعتی است که در آن گرما از طریق یک متر مربع از یک ماده با اختلاف دمای ۱ درجه کلوین منتقل شده و با W/m2K نشان داده می‌شود.

مقاومت حرارتی، Rth، مواد، نسبت ضخامت واقعی (L) نمونه بر حسب متر به هدایت گرمایی (k) بر حسب W/m2°C است.

هدایت گرمایی مهمترین پارامتر برای ارزیابی مواد عایق حرارتی در نظر گرفته می‌شود. ماده‌ای با هدایت گرمایی کمتر از ۰/۰۷ W/mK را می‌توان به‌عنوان عایق حرارتی در نظر گرفت (Islam & Bhat, 2019.). همچنین مواد عایق با هدایت گرمایی زیر ۰/۰۵ W/mK از عملکرد بالایی برخوردارند (Massoudinejad et al., 2019).

## عایق حرارتی بازیافتی در جداره‌ها

در حال حاضر، مواد عایق ساختمانی رایج از مواد مصنوعی از جمله الیاف شیشه، پشم معدنی و پلاستیک تولید می‌شوند (Patnaik, 2015). تخمین زده می‌شود که حدود ۶۰ درصد از مواد عایق حرارتی تولید شده در ساختمان‌ها از مواد معدنی یا غیر آلی فیبری (شیشه و پشم سنگ)، ۳۰ درصد از مواد فومی (پلی‌استایرن منبسط‌شونده، پلی‌استایرن اکسترود شده، پلی‌یورتان کمتر گسترده) و ۱۰ درصد باقی‌مانده از مواد غیر سنتی یا کامپوزیت (عایق‌های پشم-چوب، فوم-گچ و غیره) هستند. در سال ۲۰۱۱ پشم معدنی و پلاستیک ۵۲٪ و ۴۱٪ از بازار جهانی مواد عایق حرارتی را به خود اختصاص دادند. این نوع مواد به دلیل خواص تجدیدناپذیر و غیر قابل‌مصرف می‌توانند اثرات مختلفی بر محیط‌زیست داشته باشند(Asdrubali et al., 2015) . مواد مبتنی بر الیاف شیشه از منابع سیلیس به‌دست می‌آیند که اثرات سرطان‌زایی بر بدن انسان

دارند.بنابراین، استفاده از الیاف بازیافتی، طبیعی یا مصنوعی می‌تواند گزینه بهتری برای تولید مواد عایق پایدار محسوب شود. استفاده از مواد بازیافتی برای عایق‌های حرارتی قادر است به توسعه عملکرد انرژی، کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر، کاهش فشار بر محیط‌زیست و بهبود سلامت انسان‌ها و سایر موجودات زنده کمک کند (Islam & Bhat, 2019).

**جدول ۲- انواع مصالح بازیافتی به‌عنوان عایق حرارتی در جداره ساختمان با اقتباس**

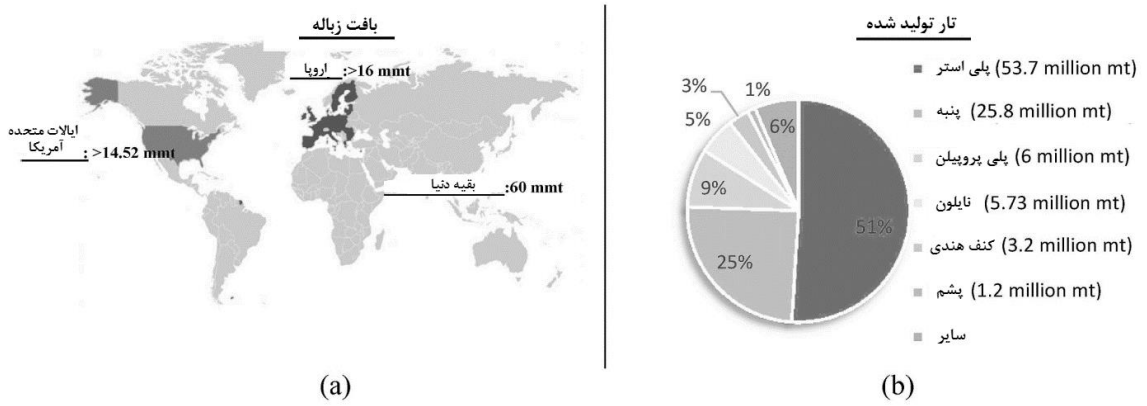
| **برخی از انواع مصالح بازیافتی تهیه شده از مواد زائد که به‌عنوان عایق حرارتی در جداره ساختمان تاکنون در پژوهش‌های منتشرشده مورد ارزیابی قرار گرفته اند.** |
|---|
| بتن بازیافتی با هستهٔ ضایعات نساجی |
| پانل‌های مبتنی بر مقوای بازیافتی |
| ضایعات الیاف نساجی |
| ذرات ضایعات لاستیک با پایان عمر مفید که از خرد کردن مکانیکی لاستیک ساخته شده‌اند |
| دانه‌های زیتون که پس از جداسازی و استخراج روغن به PVC آسیاب شده و تراشه‌های چوب اضافه می‌شود (حاصل از صنایع چوب) |
| پانل‌های مبتنی بر الیاف PET بازیافتی از مصرف‌کنندهٔ نهایی بطری‌های پلاستیکی |
| الیاف پلی‌استر بازیافت شده از پلاستیک بازیافتی |
| فوم بازیافت شده از مواد بسته‌بندی |
| جاذب‌های صدای سلولزی که با استفاده از سلولز استخراج شده از کاغذ بازیافتی تولید می‌شوند |
| زباله‌های شیشه‌ای |
| پوستهٔ ذرت پس از جدایی ذرت |
| چوب ذرت پس از جدایی ذرت |
| ضایعات پشم گوسفند |
| ساقهٔ آفتابگردان پس از جداسازی و استخراج روغن |
| ورمیکولیت و پرلیت انبساط یافته |
| الیاف کلش پس از برداشت گندم و جو |
| تفالهٔ نیشکر پس از استخراج شکر |
| لاستیک‌های پایان عمر مفیدELT حاصل از اتومبیل |
| پرکننده‌های بازیافت شده از جمله خاکستر بادی و خاکستر رسوبی |
| سربارهٔ فولادی حاصل از کارخانهٔ تولید فولاد |
| پانل‌های بر پایه مقوا با مقوای بازیافت شده حاصل از بسته‌بندی |
| کامپوزیت پوست پیاز و الیاف پوستهٔ بادام زمینی، پرلیت، خاکستر بادی، پومیس، سیمان، باریت |
| پوستهٔ برنج و خاکستر آتشفشانی |
| باقیماندهٔ زباله‌های الاستومریک (لاستیک واره‌ای) مصرف شده در صنعت بسته‌بندی |
| زباله محصولات جانبی فرآوری چوب |
| خاک رس سبک منبسط شونده، آجرهای خرد شده و سنگدانه‌های فوم پلی استایرن و زباله‌های آن |
| چوب زبالهٔ ساختمانی مورد استفاده در پانل‌های خرده چوب تقویت شده با سیمان |
| بلوک‌های بتونی بازیافت شده و بتن سنگدانه‌ای بازیافتی |

Massoudinejad et al., 2019

**منسوجات بازیافتی**

هر ساله میلیون‌ها تن پوشاک و منسوجات به محل دفن زباله‌ها ریخته می‌شود که باعث آلودگی جدی محیط زیست می‌شود. در ایالات متحده آمریکا حدود ۱۶میلیون تن زبالهٔ نساجی در سال ۲۰۱۴ تولید شد که از این مقدار ۱۰/۴۶ میلیون تن (به محل دفن زباله فرستاده شد (Leblance, 2018). از این رو، استفاده از منسوجات بازیافتی برای عایق‌کاری ساختمان از پتانسیل بالایی برخوردار است. استفاده از مواد بازیافتی می‌تواند به کاهش تولید الیاف از طریق استخراج یا روش کشاورزی که بالاترین میزان ردپای کربن در بخش پوشاک را داراست کمک کند و به رفع اثرات نامطلوب زیست‌محیطی ناشی از دفن زباله‌های منسوجات بیانجامد(Dissanayake et al., 2018). انتقال گرما از طریق مواد الیافی به مقدار الیاف بکار رفته، هندسه بافت، تماس بین الیاف و تفاوت دما بستگی دارد. انتقال حرارت از طریق رسانش و تابش را می‌توان با افزایش ضخامت مجموعه‌های فیبری کاهش داد. تارهای ضخیم‌تر برای چگالی سطحی یکسان، مقدار بیشتری از هوا را به دام می‌اندازند و همچنین با ایجاد مسیر مارپیچی انتقال دما، جذب یا پراکندگی تابش را افزایش داده و انتقال حرارت را کاهش می‌دهد. از آنجایی

که خواص عایق حرارتی مواد به تخلخل و پیچیدگی (نسبت طول منافذ باز و ضخامت) آن ماده بستگی دارد، پارچه‌های نساجی که دارای بخش عظیمی از حفره‌های به هم پیوسته هستند، به انتخاب خوبی برای تولید مواد عایق حرارتی تبدیل شده‌اند. مواد عایق الیافی تولید شده با تکنیک‌های غیر بافته دارای فضاهای خالی کوچک کافی با لایه‌های هوای محبوس شده هستند که برای جلوگیری از انتقال حرارت همرفتی مواد ایده‌آلی محسوب می‌شوند.




**شکل۲- تولیدات جهانی ضایعات نساجی (a) و الیاف نساجی (b)؛** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

### مصالح ساختمانی مخلوط شده با زباله‌های نساجی

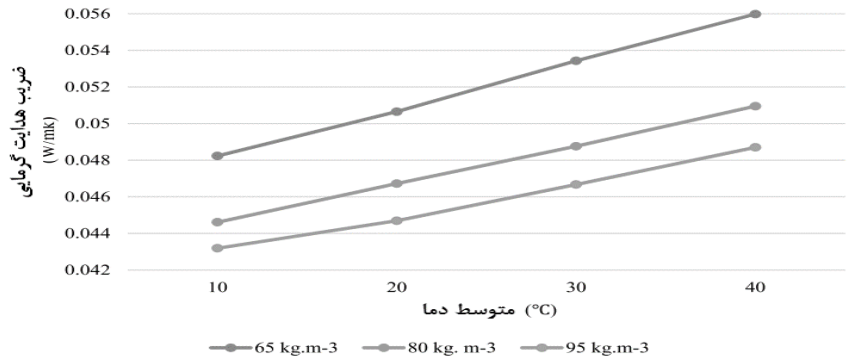
برای چندین دهه از ضایعات نساجی به همراه مصالح ساختمانی (آهک، سیمان و سایر موارد) استفاده شده است. الیاف نساجی همگنی بالاتری در عملکرد خود نسبت به الیاف مبتنی بر کشاورزی نشان می‌دهند. مشاهدات اخیر نشان می‌دهد که زباله‌های نساجی مورد استفاده در ساختارهای خشت خام و سایر شیوه‌های ساختمانی علاوه بر کاهش هدایت حرارتی، دارای مزایای دیگری از جمله مقاومت در برابر زلزله، بهبود خواص آکوستیکی مصالح و همچنین تقویت استحکام، عملکرد و دوام مصالح ساختمانی می‌باشند (Binici, 2014).

### ساقه آفتابگردان، الیاف کلش و پنبه همراه با اپوکسی و چسباننده گچی

پنبه، ساقه آفتابگردان و الیاف کلش برای تولید مواد عایق حرارتی برای کاربردهای ساختمانی استفاده می‌شود. در این روش، تخته‌های عایق از طریق دو رویکرد تولید شده است؛ در یک رویکرد از گچ و در دیگری از اپوکسی به‌عنوان پیونددهنده استفاده شده است. در روش اول، مخلوط الیاف و ساقه‌های آفتابگردان بعنوان پایه انتخاب گردیده و سپس این مواد به همراه چسباننده گچی بر روی دیوارهای خشتی، بتونی و آجری استفاده می‌شود. در روش دوم، ساقه‌های آفتابگردان، زباله‌های پنبه‌ای و الیاف با یک چسباننده اپوکسی با نسبت‌های مختلف مخلوط می‌شود و به‌صورت لایه لایه تولید می‌گردد. پس از آن، برای تولید تخته‌های عایق، فشار زیادی بر روی این لایه‌ها اعمال می‌شود. در مقایسه با دیوار بدون عایق، این مواد عایق هدایت گرمایی پایین‌تر (۰/۰۷۲۸ W/mK) دارند(Binici, 2014).

### الیاف پلی استر بازیافت شده از پلاستیک بازیافتی

در سال ۱۹۹۰ تولید پلی استر جهانی ۸/۶۷ میلیون متریک تن بوده است در حالیکه تولید فعلی در مقایسه با ۱۹۹۰ بیش از ۵ برابر افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۷، تولید سالانه الیاف پلی استر حدود ۵۳/۷ میلیون متریک تن بود که حدود ۵۱ درصد از تولید الیاف جهانی را شامل می‌شود. در سال ۲۰۱۷ تنها ۱۴ درصد از زباله‌های ناشی از آن بازیافت شده و مقدار زیادی از این الیاف مصنوعی به‌عنوان زباله به محل دفن زباله‌ها دور ریخته شده است. محققان متعددی در حال مطالعه رویکردهایی برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی از طریق بازیافت پلاستیک و زباله‌های پلی‌استر به مواد مختلفی از جمله مواد عایق حرارتی هستند. ضایعات حاصل از برش پلی‌استر به طور مستقیم به‌عنوان یک پوشش عایق برای سقف و دیوارهای داخلی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. هدایت گرمایی بین ۰/۰۵۲۰ W/mK و ۰/۰۶۰۳ W/mK نمایانگر خاصیت عایق حرارتی قابل قبول این مواد می‌باشد. مواد عایق تولید شده از پلی‌استر مقاومت خوبی در برابر آتش داشته و احتمال تخریب آن در شرایط مرطوب پایین‌تر است (Trajković, 2017).




**شکل ۳- تأثیر دما و چگالی حجمی بر هدایت گرمایی پلی‌استر؛** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

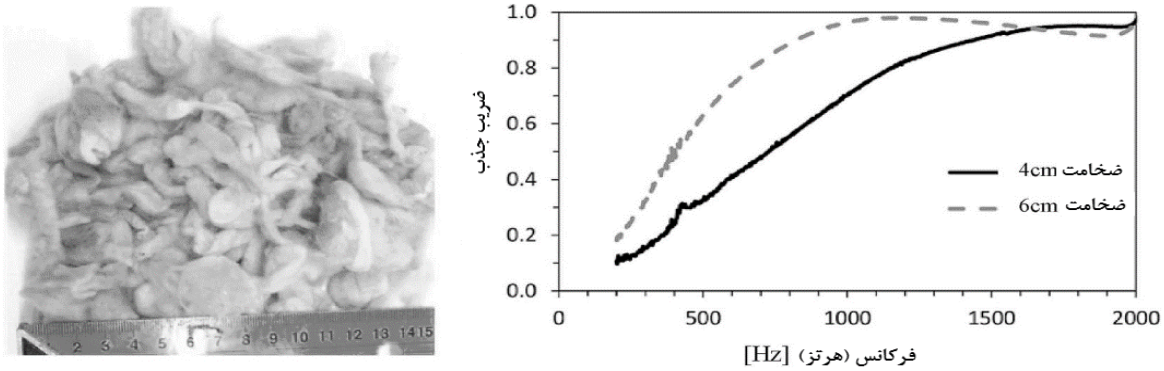
زباله‌های پلی استر مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شد که چگالی حجمی در هدایت گرمایی تأثیرگذار است؛ به طوری که با افزایش چگالی حجمی، هدایت گرمایی کاهش می‌یابد. همچنین همانطور که در تصویر ۳ قابل مشاهده است، تأثیر دما بر خواص عایق حرارتی نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که هدایت گرمایی پلی‌استر با کاهش دما به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Drochytka, 2019).

**پنبه در پانل‌های پرلیت سبک وزن و پانل‌های بتنی**

پنبه یکی از فراوان‌ترین محصولات کشاورزی غیرغذایی است که در تولیدات پوشاک مورد استفاده قرار می‌گیرد( Asdrubali و همکاران ،۲۰۱۵).استفاده از زباله‌های پنبه‌ای برای تولید مواد عایق حرارتی بسیار مناسب بوده و برخی از شرکت‌ها، تولید تجاری مواد عایق متشکل از زباله پنبه را آغاز کرده‌اند.هدایت گرمایی کفپوش‌های عایق تولید شده از الیاف پلی‌استر و پنبه بازیافت شده در نسبت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته که کفپوش‌های با نسبت پنبه بالاتر، خواص عایق بهتری را نشان می‌دهند ( Sedlmajer, 2015). همچنین مواد کامپوزیت سبک وزن حاصل از زباله‌های پنبه‌ای و خاکستر بادی بررسی شدند که کامپوزیت‌های حاوی مقدار بیشتری از زباله‌های پنبه‌ای هدایت گرمایی را بهتری نشان می‌دهند (Binici, 2014). پانل‌های پرلیت سبک وزن و پانل‌های بتونی برای تولید پارتیشن از مخلوط کردن زباله‌های پنبه‌ای با مصالح ساختمانی بوجود می‌آید. در این روش ضایعات متشکل از الیاف پنبه و شبکه‌های بافته شده از الیاف شیشه‌ای بکار رفته، سپس با شبکه‌های بافته شده نساجی تعبیه شده در قسمت داخلی بتن سبک وزن پرلیت محدود گشته است. تخلخل پرلیت و هسته الیاف نساجی موجب کاهش هدایت گرمایی ماده تا میزان ۰/۳ W/mK می‌شود.همچنین با ترکیب کردن الیاف پنبه، پلی‌استر و کتان بازیافت شده، مصالح عایق حرارتی تولید می‌گردد. در این روش، پنج مخلوط مختلف از نمونه‌ها از طریق ترکیب کردن الیاف پلی‌استر، کتان و پنبه و الیاف دوجزئی پلی‌استر با دمای ذوب غلاف تهیه شده و هدایت گرمایی و ویژگی‌های عایق آکوستیکی آن مورد بررسی قرار گرفت که میانگین هدایت گرمایی آن W/mk ۰۴۹/۰۳۷–۰/۰ گزارش شده است (Zach, 2012).

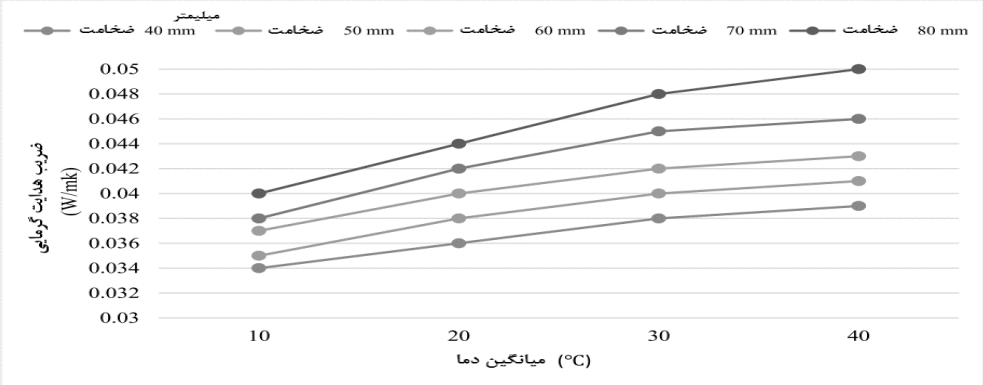
**پشم زباله گوسفند**

الیاف پشمی از دوران باستان به دلیل خاصیت عایق حرارتی عالی، یکی از پر کاربردترین الیاف حیوانات در جهان است. الیاف پشمی خالص در دوره چیدن موهای گوسفند حاصل می‌شود. پشم به طور کلی از از اسیدهای آمینهٔ مختلفی تشکیل شده است که زنجیره‌های طولانی را تشکیل می‌دهند.




**شکل ۴- ضریب جذب صوتی پشم گوسفند؛** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

هدایت گرمایی الیاف پشم گوسفند با کاهش دما، رطوبت و چگالی و با افزایش ضخامت کاهش می‌یابد (تصویر ۵). دربرخی مواقع الیاف پشم با سایر مواد چسباننده مخلوط می‌شود تا از انسجام کافی بین الیاف برای ایجاد مواد عایق حرارتی با استفاده از روش اتصال حرارتی اطمینان حاصل شود (Zach, 2012).




**شکل ۶- تأثیر دما بر هدایت گرمایی در ضخامت‌های مختلف الیاف پشم** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

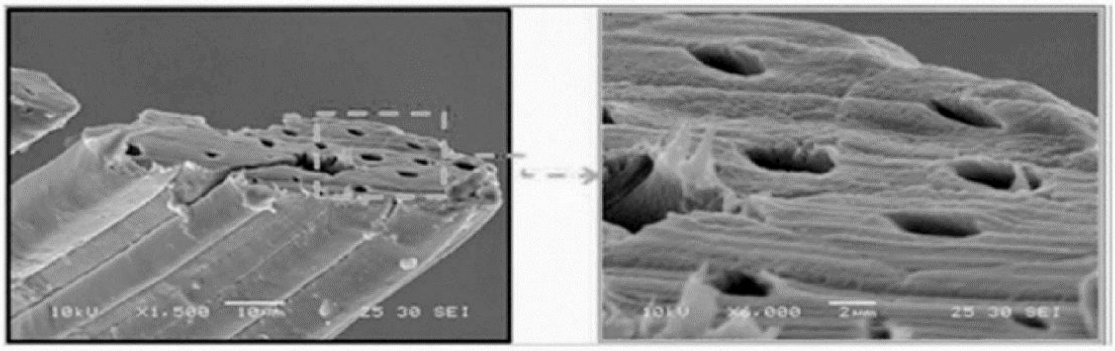
### اکریلیک

اکریلیک به‌عنوان الیاف پشمی مصنوعی در نظر گرفته شده و به دلیل حجیم بودن الیاف و خاصیت الاستیک آنها، با الیاف پشم به خصوص در پوشاک بافتنی جایگزین می‌شود. مقدار هدایت گرمایی آکریلیک بسیار شبیه به برخی از مواد تجاری موجود از جمله پلی‌استایرن (EPS)، پلی‌استایرن اکسترود شده (XPS)، پشم معدنی، گرانول‌های رس و ورمیکولیت یا پرلیت گسترده است (Briga-Sá et al., 2013).این مقادیر هدایت گرمایی حاکی از ویژگی‌های قابل قبول زباله‌های اکریلیک و پشم در مقایسه با مواد عایق سنتی مانند پشم شیشه و پشم معدنی می‌باشد. هدایت گرمایی و نفوذپذیری هوا در مواد عایق غیربافته با افزایش تخلخل کاهش یافته، اما با ازدیاد چگالی به‌صورت خطی افزایش می‌یابد (Islam & Bhat, 2019).مواد نساجی بازیافت شده (ضایعات ریسندگی اکریلیک) برای توسعه مصالح ساختمانی با خواص عایق حرارتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهند که چگالی، نفوذپذیری هوا و هدایت گرمایی مواد به ترتیب ۱۰/۵۸۳ kg/m3، ۱۱۰۰ Lit/m2s و ۰/۰۳۸۲۷ W/mK می‌باشد؛ از این رو می‌توانند به‌صورت یک محصول تجاری به‌عنوان مصالح عایق حرارتی رقابتی برای افزایش عملکرد حرارتی دیوارهای ساختمان مورد استفاده قرار گیرند (Alami, 2018).

### کنف

کنف دومین و بزرگترین الیاف طبیعی بعد از پنبه است که عمدتاً در کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود(Datta, 2004). مقدار زیادی از این الیاف کنف تبدیل به ضایعات می‌شود و به‌صورت الیاف تابیده نشده (خرد شده) در طی فرآیند تولید پارچه کنفی یا به‌صورت پارچه‌های استفاده شده، کیسه‌های کنفی و سایر محصولات نهایی به محل دفن زباله ریخته می‌شود(Islam & Bhat, 2019). الیاف کنف دارای خواص مکانیکی

بسیار خوبی در مقایسه با بسیاری از الیاف طبیعی دیگر از جمله سیسال، لیف نارگیل و رامی (ابریشم گیاهی) هستند. لیف کنف ساختار متخلخلی داشته و سوراخی در مرکز سلول لیف کنف وجود دارد و سلول دارای یک فضای خالی طولی بسته به‌صورت مجرا می‌باشد (Gassan, 2010) (شکل ۶) شکل و توزیع فضاهای خالی در الیاف کنف، وضعیت هدایت گرمایی آنها را تعیین می‌کند. از این رو، این الیاف پتانسیل بسیار خوبی برای استفاده به‌عنوان مواد عایق حرارتی کارآمد دارند و با مقدار هدایت گرمایی ۰/۰۳۶ W/mK عایق حرارتی خوبی محسوب می‌شوند (Krach & Advani, 1996).



**شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از یک لیف کنف؛** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

### نایلون

نایلون سنتزی یا مصنوعی از استحکام و سایر خواص مکانیکی خوبی برخوردار است. مقدار زیادی از این لیف مصنوعی به‌عنوان زباله هم در محل‌های دفن زباله و هم در آب دور ریخته شده است. ضایعات نساجی پساصنعتی لیف نایلون مخلوط با ضایعات اسپندکس (NS) و پلی یورتان (PU) برای تولید مواد عایق حرارتی بسیار مناسب است (Dissanayake, 2018). از مخلوط کردن ضایعات نساجی با فوم پلی‌یورتان در نسبت‌های مختلف فوم پلی‌یورتانی بدست می‌آید که به‌عنوان بهترین ماده عایق حرارتی در نظر گرفته می‌شود و به دلیل خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و صوتی آن به‌طور گسترده در صنعت استفاده می‌شود (Islam & Bhat, 2019).

### پلی‌پروپیلن

پلی‌پروپیلن یک لیف پلیمری ترموپلاستیک است که در طیف گسترده‌ای از کاربردها، به ویژه در بخش سلامت استفاده می‌شود. پلی پروپیلن سبک‌ترین الیاف بوده و به ترتیب به میزان ۳۴٪ و ۲۰٪ سبکتر از الیاف پلی‌استر و نایلون است. به دلیل وزن مخصوص پایین، این لیف بیشترین حجم را در یک وزن معین تولید کرده و حجم و پوشش خوبی را ایجاد می‌کند. این ویژگی منحصر به فرد لیف پلی‌پروپیلن به آن کمک می‌کند تا گرما را برای مدت طولانی‌تری حفظ نماید. رسانایی گرمایی لیف پلی‌پروپیلن در مقایسه با هر لیف طبیعی یا مصنوعی (سنتزی) کمترین است. در پژوهشی توسط لین و همکاران، مواد کامپوزیت عایق حرارتی مقاوم در برابر سوراخ شدن با استفاده از منسوجات کولار/ نایلون/ پلی‌استر بازیافتی بافته نشده که با الیاف غیربافته پلی‌پروپیلن بازیافتی تقویت شده تولید گردیده است(Lin et al, 2016)

**جدول۲- خلاصه‌ای از خواص عایق حرارتی مواد مختلف**

| مواد | ضخامت t(m) | چگالی (kg/m3) | هدایت گرمایی (W/mK) | هدایت حرارتی نسبی هوا (0.026) = 1 |
|---|---|---|---|---|
| پلی استر بازیافتی (RPET)<br>پلی استر (۸۵٪ هدر + ۱۵٪ BICO) | ۰/۰۱۶ | ۶۲/۵۰<br>۸۰ | ۰/۰۳۵ (۰/۰۰۳)<br>۰/۰۴۶۷ – ۰/۰۴۸۶ | ۱/۳۵<br>۱/۸۰ – ۱/۸۷ |
| فیبر کناف با PET | ۰/۰۱۰ | ۱۰۰ | ۰/۰۴۰ | ۱/۵۴ |
| ۱۰۰٪ پشم | ۰/۰۱۰ | ۲۵ | ۰/۰۴۰ | ۱/۵۴ |
| پشم گوسفند | ۰/۰۴۰ | ۴۰ | ۰/۰۳۴ – ۰/۰۳۹ | ۱/۳۱ – ۱/۵۰ |
| ضایعات پشم از فرش | ۰/۰۳۰ | ۴۵ | ۰/۰۳۱۱ – ۰/۰۳۳۹ | ۱/۲۰ – ۱/۳۰ |
| ۵۰٪ پشم مغزه گیری ۵۰٪ پلی استر بازیافتی (CWP)<br>پنبه (بازیافتی) | ۰/۰۱۶ | ۶۲/۵۰<br>۲۵–۴۵ | ۰/۰۳۲ (۰/۰۰۴)<br>۰/۰۳۹ – ۴/۰۴۴ | ۱/۲۳<br>۱/۵۰ – ۱/۶۹ |

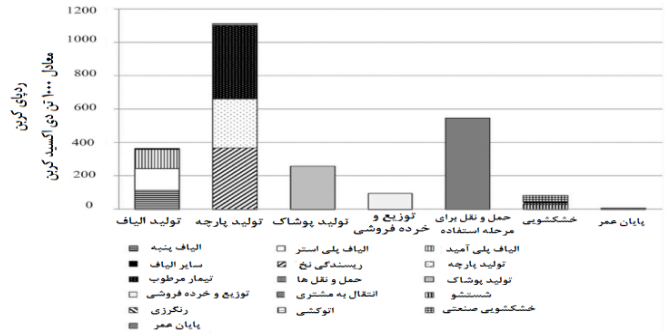
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ٪۴۰ COT2 ,٪۴۰ PES ,٪۲۰ BICO<br>ساقه اسفنج/ ضایعات پنبه/ اپوکسی<br>(۳۶. ۳۶/۳۶. ۳۶/۲۷. ۲۷)<br>٪۱۰۰ اکرلیک (ضایعات نخ ریسی) | ۰/۰۶۷ | ۳۸/۹<br><br><br>۱۴/۵۷۱ | ۰/۰۳۶۱<br><br>۰/۰۸۷۱<br>۰/۰۴۳ — ۰/۰۴۸۶ | ۱/۳۹<br><br>۳/۳۵<br>۱/۶۵ — ۱/۸۷ |
| ٪۶۰ نایلون/ لسپندکس (NS) _ ٪۴۰ پلی اورتان | ۰/۰۱۰ | | ۰/۰۹۵۳ | ۳/۶۷ |
| جوت (٪۶۸) + (٪۲۰) + پلی اورتان (٪۱۲) | ۰/۰۸۱۲ | ۲۶/۱ | ۰/۰۴۵۸– | ۱/۷۶ |
| کتان (٪۶۸) + کلاسور (٪۲۰) + پلی اورتان (٪۱۲) | ۰/۷۷۴– | ۳۲/۱ | ۰/۰۴۲۹ | ۱/۶۵ |
| ٪۷۵ کتان، ٪۲۵ BICO | ۰/۰۸۷ | ۲۲/۸ | ۰/۰۴۹۵ | ۱/۹۰ |
| کنف فنی (٪۶۴) + کلاسور (٪۲۰) + پلی اورتان (٪۱۶) | ۰/۰۷۹۶ | ۲۹/۶ | ۰/۰۴۷۵ | ۱/۸۳ |
| الیاف کنف + الیاف سلولزی (۶۰:۴۰)<br>موز پلی پروپن<br>فوم پلی اورتان الیافی(PP)<br>پشم شیشه | ۱۰ | ۳۰–۶۰<br>۹۸۰–۱۰۴۰<br>۳۰–۸۰<br>۹۲/۵ | ۰/۰۴۶ — ۰/۰۴۷<br>۰/۱۵۷ — ۰/۱۸۲<br>۰/۰۲ — ۰/۰۲۷<br>۰/۰۴۰ | ۱/۷۷ — ۱/۸۱<br>۶/۰۴ — ۷/۰۰<br>۰/۷۷ — ۱/۰۴<br>۱/۵۴ |
| پشم معدنی<br>پشم سنگ<br>فیبر شیشه | | ۳۶<br>۸۰–۲۰۰<br>۲۴–۱۱۲ | ۰/۰۴۰ — ۰/۰۴۵<br>۰/۰۲۵ — ۰/۰۳۵<br>۰/۰۳۵ — ۰/۰۳۲ | ۱/۵۴ — ۱/۷۳<br>۰/۹۶ — ۱/۳۵<br>۱/۲۳ — ۱/۳۵ |

منبع: (Islam & Bhat, 2019)

## ارزیابی چرخهٔ حیات

ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) روشی سیستماتیک برای ارزیابی یا تخمین تأثیر زیست‌محیطی یک محصول در طول عمر کامل آن از تولید تا دفع است. از این رویکرد به‌عنوان رویکرد گهواره تا گور نیز یاد می‌شود (Asdrubali, 2015). برای تخمین LCA یک محصول، انتشار در هوا، آب و خاک در طول تولید، استفاده و دفع محصول ارزیابی می‌شود. پس از آن، مقدار ارزیابی شده مربوط به اثرات زیست‌محیطی احتمالی از جمله کاهش منابع، تخریب لایه ازن و گرم شدن کره زمین است. تجزیه و تحلیل کامل LCA را می‌توان با پیروی از برخی استانداردهای بین‌المللی از جمله ISO14040 (2006) و ISO14044 (2006) انجام داد.تجزیه و تحلیل LCA معمولاً توسط برخی از شرکت‌های مشاوره یا موسسات تحقیقاتی انجام می‌شود. چندین محقق اثر کشت پنبه را بر محیط زیست با روش‌های کشاورزی مرسوم و ارگانیک و تأثیر فرآیندهای مختلف رنگرزی و تکمیل بر روی محیط زیست را با استفاده از LCA ارزیابی نمودند. در این پژوهش، الیاف مختلف نساجی، پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه مورد مطالعه قرار گرفت و اثرات مقایسه‌ای این الیاف را بر محیط زیست تعیین شد. در مورد الیاف نساجی بازیافتی، مطالعات LCA توسط تعداد محدودی از محققان انجام گرفت (Woolridge, 2006).

روس و همکاران ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) بخش پوشاک سوئد را برای بررسی سهم ردپای کربن (شکل ۷) در مراحل مختلف پوشاک و منسوجات از تولید الیاف تا پایان عمر مطالعه کردند. ردپای کربن برای پنبه، پلی‌استر و پلی‌آمید در مراحل مختلف تولید مشخص شد. همچنین ردپای کربن و ردپای آب منسوجات را تخمین زدند. مصرف پنبه عامل ۲/۶ درصد استفاده از آب جهانی است (Sandin, 2016).

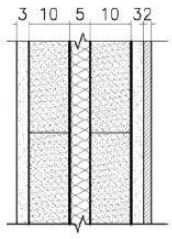



**شکل ۷- ردپای کربن بخش پوشاک سوئد؛** منبع: (Islam & Bhat, 2019)

یکی از راه‌های کاهش مصرف آب، جایگزینی الیاف پنبه با پنبه بازیافتی است. در یک کارخانهٔ سوئدی با استفاده از الیاف پنبه بازیافت شده در طول یک سال، ردپای کربن و مصرف آب را به ترتیب حدود ۲/۴ × ۱۰۶ تن معادل $CO_2$ (دی اکسید کربن) و بیش از ۹۰۰ میلیارد لیتر آب کاهش دادند. به طور مشابه، با استفاده از پلی‌استر بازیافتی، ردپای کربن و مصرف آب را می‌توان به ترتیب حدود ۲/۳ × ۱۰۶ تن معادل $CO_2$ و بیش از ۱۰۰۰ میلیارد لیتر آب کاهش داد (Roos, 2016). در تحقیقی به منظور تجزیه و تحلیل LCA منسوجات ساخته شده از پنبه، پلی‌استر، نایلون، اکریلیک یا الاستین، مشخص شد اکریلیک و پلی‌استر کمترین تأثیر را بر محیط زیست داشته و پنبه بیشترین تأثیر را نشان داده است (van der Velden, 2016) وولریج و همکاران ارزیابی چرخهٔ حیات را در مراحل مختلف تولید نساجی الیاف پنبه و پلی‌استر از جمله بخش‌های الیاف، ریسندگی، بافندگی، رنگرزی و پوشاک انجام دادند. مشخص شد که با استفاده از یک تن لباس‌های پنبه‌ای و پلی‌استری بازمصرف شده، انرژی خالص ۶۴۹۵۱ kwh و ۸۹۸۱۱ kwh را می‌توان ذخیره کرد. همچنین پس از در نظر گرفتن عوامل متعددی از جمله استخراج منابع، ساخت مواد، تولید برق، جمع‌آوری لباس، فرایند، توزیع و دفع نهایی ضایعات، مشخص شد که با جایگزینی یک کیلوگرم پنبه خالص با یک کیلوگرم لباس دست دوم تقریباً ۶۵ kwh انرژی ذخیره می‌شود. تولید ۱ تن لباس پلی‌استر بازیافتی در مقایسه با تولید ۱ تن لباس‌های پلی‌استر از مواد اولیه، تنها به ۱/۸ درصد انرژی نیازمند است. به طور مشابه، تولید ۱ تن لباس‌های پنبه‌ای بازیافتی در مقایسه با تولید ۱ تن لباس‌های پنبه‌ای از مواد اولیه، تنها به ۲/۶ درصد انرژی نیاز دارد (Woolridge, 2006).

### ارزیابی عملکرد حرارتی مصالح بازیافتی جایگزین عایق حرارتی در دیوار

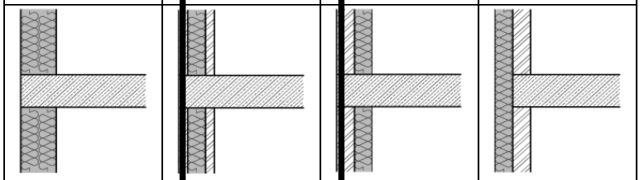
باتوجه‌به مطالعات انجام شده، در گام نهایی، عملکرد مصالح بازیافتی برگزیده به‌عنوان جایگزین عایق‌های حرارتی رایج در سیستم ساخت و ساز حال حاضر کشور مورد بررسی قرار گرفت تا پتانسیل آنها برای رقابت با عایق‌های حرارتی تجاری متداول ارزیابی شود. جهت تعمیم‌پذیری بیشتر نتایج، جزییات سازه‌ای دیوارهای متداول ساختمان‌های مسکونی شهر تهران به‌عنوان پایتخت و پرجمعیت ترین شهر کشور انتخاب شد. سیستم های ساخت و ساز متداول شهر تهران در مقاله ای توسط محمد (۱۳۹۲) مورد ارزیابی قرار گرفته است (محمد،،۱۳۹۲).طبق گفتگوهای انجام شده با کارشناسان صنعت ساخت‌وساز و مشاهدات میدانی نگارنده، یافته‌های مقاله فوق‌الذکر همچنان به‌عنوان پرتکرارین شیوه‌های ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. جزییات سازه‌ای دیوار متداول مورد بررسی در این مقاله در تصویر ۸ ارائه شده است.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A2<br>AAC*بلوک<br>(۱۰cm):<br><br>*Autoclaved<br>aerated concrete | ▪ ملات گچ و خاک(۳cm)<br>▪ AACبلوک(۱۰cm)<br>▪ فضای خالی پرشده با عایق پلی استایرن منبسط(۵cm)<br>▪ AACبلوک(۱۰cm)<br>▪ ملات ماسه سیمان(۳cm)<br>▪ سنگ نما(۲cm) |  | ۰/۳۷ | ۳۳ | |

**شکل ۸- جزییات سازه‌ای دیوار متداول مورد بررسی؛** منبع: (محمد،،۱۳۹۲).

باتوجه‌به تعیین مقاومت حرارتی الزامی برای پوسته ساختمان به روش تجویزی در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، حداقل مقاومت حرارتی دیوارها برای ساختمان گروه ۲ مطابق جدول۳ تعیین شده است. لازم به ذکر است ساختمان با کاربری مسکونی با زیربنای کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع در دسته ساختمان‌های گروه ۲ طبقه‌بندی می‌شود. باتوجه‌به جزییات ارائه شده برای حدأقل مقاومت حرارتی دیوار مجاور با فضای خارج در حالت کاربرد عایق حرارتی میانی (۱,۵ kwh/m2)، ضریب انتقال حرارتی (U-Value) به میزان ۰,۶۶ ملاک عمل قرار می‌گیرد (جدول۳). برای ارزیابی قابلیت جایگزینی مصالح بازیافتی با عایق‌های حرارتی تجاری متداول، عملکرد دیوار با پنج نمونه از مصالح بازیافتی مورد مقایسه با پلی‌استایرن دیوار اولیه قرار گرفت و ضخامت مصالح مورد نیاز برای تامین انتقال حرارتی مجاز دیوار تخمین زده شد (جدول۴). نتایج محاسبات حاکی از آن است که هر پنج مورد از مصالح بازیافتی پیشنهادی با ضخامت قابل قیاس با عایق حرارتی اولیه (از ۵۷ تا ۷۶ میلیمتر) و قابل اجرا در ترکیب دیوار خارجی، قابل جایگزینی با عایق حرارتی تجاری غیربازیافتی به کار رفته در نمونه اولیه بوده و عملکرد حرارتی مشابه جزییات اجرایی استاندارد- مطابق با مقرات ملی ساختمان مبحث نوزدهم- را ارائه می‌کنند.

**جدول۳-حداقل مقاومت حرارتی دیوار ساختمان گروه ۲ برحسب رده انرژی**

| رده انرژی | دیوار مجاور فضای خارج | | | | دیوار مجاور فضای کنترل نشده |
|---|---|---|---|---|---|
| | عایق حرارتی خارجی | عایق حرارتی داخلی | عایق حرارتی میانی | عایق حرارتی همگن * | |
| |  | | | | |
| EC | ۰٫۹ | ۱٫۵ | ۱٫۵ | ۱٫۴ | ۰٫۸ |
| EC+ | ۱٫۳ | ۲٫۱ | ۲٫۱ | ۲٫۰ | ۱٫۱ |
| EC++ | ۱٫۸ | ۳٫۰ | ۳٫۰ | ۲٫۸ | ۱٫۶ |

(منبع: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان)

**جدول۴-جدول مصالح بازیافتی جایگزین در دیوار برحسب ضخامت مورد نیاز**

| مصالح | ضخامت موردنیاز (m) | چگالی (kg/m3) | هدایت گرمایی ماده (W/mk) |
|---|---|---|---|
| پلی استر بازیافتی | ۰,۰۵۷۳ | ۶۲,۵۰ | ۰,۰۳۵۰ |
| پشم گوسفند | ۰,۰۵۹۸ | ۴۰,۰۰ | ۰,۰۳۶۵ |
| پنبه بازیافتی | ۰,۰۶۵۵ | ۳۰,۰۰ | ۰,۰۴۰۰ |
| اکرلیک(ضایعات نخ ریسی) | ۰,۰۷۴۷ | ۱۴,۵۷ | ۰,۰۴۵۶ |
| الیاف کنف + الیاف سلولزی (۶۰:۴۰) | ۰,۰۷۶۲ | ۴۵,۰۰ | ۰,۰۴۶۵ |

(منبع: نگارنده)

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

باتوجه‌به رویکردهای محیط زیستی در صنعت ساختمان که ناشی از چالش‌های قرن بیست و یکم بوده است، تلاش برای بکارگیری مصالح بازیافتی در اجزای ساختمان مدنظر پژوهشگران قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد عایق حرارتی جداره‌های ساختمانی نیز توسط برخی مصالح بازیافتی قابل جایگزینی است. در این مقاله، مشخصات و ویژگی‌های رایج‌ترین مصالح بازیافتی که در ترکیبات ساختمانی بکار می‌روند، معرفی شده است. با مرور و مطالعه پژوهش‌های انجام شده در این حوزه، آن دسته از مصالحی که قابلیت کاربرد به‌صورت عایق حرارتی در جداره‌ها را دارند، گردآوری شده و ویژگی‌های حرارتی آنها مورد مقایسه قرار گرفت .به منظور امکان‌سنجی کاربرد آنها در اجرای ساختمان‌های مسکونی شهری، بر اساس مقادیر مجاز ضریب انتقال حرارتی مقررات ملی ساختمان، عملکرد حرارتی دیوار در اثر جایگزینی پنج مورد از مصالح بازیافتی به جای لایه پلی‌استایرن دیوار در مقایسه با نمونهٔ پایه بررسی شد و نشان داد مصالح بازیافتی می‌توانند با ضخامتی معادل مصالح اولیه، ضریب انتقال حرارتی مدنظرمقررات ملی ساختمان را تأمین کرده و در عین حال ردپای کربن کمتری را ایجاد کرده و در انرژی نهاده مصرفی صرفه‌جویی قابل توجهی ایجاد کنند. پیش‌بینی می‌شود تحقیقات آتی این حوزه، شبیه‌سازی عملکرد حرارتی و رطوبتی طیف وسیعتری از مصالح بازیافتی را به انجام رسانده و ارجحیت کاربرد آنها را به‌عنوان جایگزین مصالح سنتزی تجاری برای حرفه‌مندان، مجریان و کاربران ساختمان عرضه نماید.

## منابع

**۱.** اصغری، علیرضا؛ ابراهیمی اصل، حسن؛ ملکی گاوگانی، آیدا و ستاری ساربان قلی, حسن. (۱۴۰۰). ارزیابی محله پایدار شهری با ساختمان‌های صفر انرژی در محله ولی عصر تبریز. فصلنامه شهر پایدار، ۴(۲)، ۹۱-۱۰۶. Doi:10.22034/jsc.2021.259714.1364

**۲.** حکیمی،مجتبی.کاظمینی،محمد جواد.تاج الدینی،عباس.(۱۴۰۰). مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی، نشریه علمی – پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، ۸(۶)، ۲۴۱-۲۶۲. https://doi.org/10.22065/jsce.2020.199064.1932

**۳.** حسینی، سید شرف الدین و راد، سیمین (۱۴۰۲). بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی کامپوزیت قیر با افزودن مواد بازیافتی. دوره ۲۵ (۱)، ۳۹-۵۱. https://doi.org/10.30495/jest.2022.61619.5431

**۴.** دلبری، سعیده . قدمیاری ، هادی(۱۴۰۲) . سبک‌سازی ساختمان با استفاده از مصالح بازیافتی بتنی. هشتمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و مهندسی و پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و شهرسازی آسیا.

**۵.** سرتیپی پور، فرید. (۱۳۹۴). امکانسنجی بازیافت مصالح در بازسازی پس از سانحه (مورد پژوهش بازیافت بتن). فصلنامه مسکن و محیط و روستا، ۳۴ (۱۵۲)، ۳۱-۴۲.

**۶.** شقایق محمد. (۱۳۹۲). مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار مطالعه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تهران. نشریه هنرهای زیبا، ۱۸ (۱)، ۶۹-۷۸. https://doi.org/10.22059/jfaup.2013.36358

**7.** J.H Lin ،T.T Li و ،C.W Lo. (2016) Puncture-resisting, sound-absorbing and thermal-insulating properties of polypropylene-selvages reinforced composite nonwovens. J. Ind. Text. 45, 1477–1489.

**8.** Asdrubali, F; D'Alessandro, F; Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustain. Mater. Technol4, 1–17.

**9.** Asdrubali, F; Schiavoni, S; Horoshenkov, K.V. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. Build. Acoust.

**10.** Awwad, M., & Shbeeb, L. (2007). The use of polyethylene in hot asphalt mixtures. Am. J. Eng. Applied Sci.

**11.** Binici, H., Eken, M., Dolaz, M., Aksogan, O., & kara, m. (2014). An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. Constr. Build. Mater. 51, 24–33.

**12.** Bolden, J., Abu-Lebdeh, T., & Fini , E. (2013). Utilization of Recycled and Waste Materials in Various Construction Applications. American Journal of Environmental Science.

**13.** Briga-Sa A Nascimento D Teixeira N. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. Constr. Build. Mater. 38, 155–160.

**14.** Datta C Basu D Roy A Banerjee A. (2004). Mechanical and dynamic mechanical studies of epoxy/VAc-EHA/HMMM IPN–jute composite systems. J. Appl. Polym. Sci. 91, 958–963.

**15.** Desarnaulds, V., Costanzo, E., Carvalho, A., & Arlaud, B. (2005). Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials. In: Proceedings of the 12th International Congress on Sound and Vibration. https://paginas.fe.u.

**16.** Dissanayake, D.G.K; Weerasinghe, D.U; Wijesinghe, K.A.P.; Kalpage, K.M.D.M.P.(۲۰۱۸) .

**17.** Drochytka R; Dvorakova M; Hodna J .(2017). Performance evaluation and research of alternative thermal insulation based on waste polyester fibers. . Procedia Eng. 195, 236–243.

**18.** Fatima, S., & Mohanty, A. (2011). Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. Appl. Acoust. 72, 108–114.

**19.** Gassan, j; Chate, A; Bledzki, A .K; (2001). Calculation of elastic properties of natural fibers. J. Mater. Sci. 36, 3715–3720.

**20.** Gle, P., Gourdon, E., & Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. Appl. Acoust. 72, 249–259.

**21.** Gounni A El Wazna M El Alami M El Boua. (2018). Thermal performance evaluation of textile waste as an alternative solution for heat transfer reduction in buildings. . J. Sol. Energy Eng. 140, 1–6.

**22.** Iannace, G., Maffei, L., & Trematerra, P. (2012). On the use of “green materials” for the acoustic correction of classrooms. https://iris.unicampania.it/handle/11591./

**23.** Islam, S., & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. Journal of Environmental Management.

**24.** J, Sedlmajer M Zach J Hroudova (2015). Possibilities of development of thermal insulating materials based on waste textile fibers. Adv. Mater. Res. 1124, 183–188.

**25.** K, Aghaee M, Foroughi (2013). Construction of lightweight concrete partitions using textile waste. . In: Chong, W., Gong, J., Chang, J., Siddiqui, M. (Eds.), ICSDEC 2012.:

**26.** Krach, A; Advani, S.G; (1996). Influence of void shape, void volume and matrix anisotropy on effective thermal conductivity of a three-phase composite. J. Compos. Mater. 30, 933–946.

**27.** Leblance, R. (2018). The balance small business textile recycling facts and figures. https://www.thebalancesmb.com.

**28.** Massoudinejad, M. , Amanidaz, N., Santos, R. .., & Bakhshoode, R. (2019). Use of municipal, agricultural, industrial, construction and demolition waste in thermal and sound building insulation materials. a review article, Journal of Enviro.

**29.** Patnaik, A. ,., Mvubu, M., Muniyasamy, S., & Botha, A. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers andtheir biodegradation studies. . Energy Build. 92, 161–169.

**30.** Recycle, C. (2006). Asphalt roofing shingles recycling: Introduction. The California Department of Resources Recycling and Recovery.

**31.** RMA. (2011). U.S. scrap tire management summary. Rubber Manufacturers Association, Inc.

**32.** Roos, s; Zamani, B; Sandin, G; Peters, G.M; (2016). A life cycle assessment (LCA)-based approach to guiding an industry sector towards sustainability. the case of the Swedish apparel sector. J. Clean. Prod. 133, 691–700.

**33.** Trajković, D; Jordeva, S; Tomovska, E; Zafiro; (2017) Polyester apparel cutting waste as insulation material. J. Text. Inst. 108, 1238–1245.

**34.** van der Velden, N.M; Patel, M.K; Vogtlände (2014). LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane. Int. J. Life Cycle Assess. 19, 331–356.

**35.** Wang Y (2010). Fiber and textile waste utilization. Waste Biomass Valorization 1, 135–143.

**36.** Woolridge, A.C; Ward, G.D; Phillips, P.S; (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material. an UK energy saving perspective.Resour. Conserv. Recycl. 46, 94–103.

**37.** Woolridge, A.C; Ward, G.D; Phillips, P.S; (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material:. an UK energy saving perspective.Resour. Conserv. Recycl. 46, 94–103.

**38.** Worrell, E., & and Reuter, M. (2014). Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts,. and Scientists, Elsevier Science, 10.

**39.** Zach J; Korjenic A; Petránek V; Hroudová; (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. Energy Build. 49, 246–253. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014

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

**Research Paper**

# Evaluating and Ranking Biophilic Design Principles in the Residential Architecture of Mashhad

**Elham Moghimi Shahri:** PhD student, Department of Art and Architecture, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran
**Mohsen Vafamehr*:** Professor, Department of Art and Architecture, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

**Received:** 2024/06/16 **PP** 79-92 **Accepted:** 2024/07/29

## Abstract
The recent introduction and institutionalization of contemporary architecture in Mashhad have raised concerns about the potential misalignment between the city's residential architecture and the principles of biophilic design. The objective of current paper was to evaluate and rank the status of biophilic design principles integrated in the residential architecture of Mashhad. A questionnaire was developed to assess and rank the status of biophilic principles and criteria in the architecture of Mashhad, which was validated for reliability and validity. A sample of 105 experts familiar with biophilic concepts was selected using purposive sampling. The ranking of biophilic criteria was performed using the TOPSIS method and Excel software. The results of the study showed that the criteria for some elements such as indoor plants, outdoor green spaces, and natural light have been relatively well integrated into the architectural design of Mashhad homes. However, the use of water features and natural materials has been less considered. Additionally, criteria related to improving the health and well-being of residents, such as stress reduction, increased concentration, and mood enhancement, were ranked lower. To improve the critical situation, increased use of natural materials, plants, and green spaces, optimization of natural light sources, and the combination of water elements were suggested. Furthermore, emphasis on education, promotion, and facilitation of sustainable construction practices can contribute to the enhancement of biophilic design in this city. Implementing these measures can lead to the creation of healthier and higher-quality residential environments in Mashhad, and improve the well-being and health of the residents

**Keywords:** Residential Architecture, Biophilic Design, Comfort, TOPSIS, Mashhad

**Citation:** Moghimi Shahri, E., & Vafamehr, M.. (2024). **Evaluating and Ranking Biophilic Design Principles in the Residential Architecture of Mashhad,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 79-92.

*. **Corresponding author:** Elham Moghimi Shahri, **Email:** elhammoqimi@yahoo.com, **Tel:** +989370332513

## Extended Abstract

### Introduction

Studies emphasize the importance of biophilic design in creating a safe connection with nature, especially during the stressful times of the COVID-19 pandemic, and in reducing the prevalent stress and anxiety (Aminian and Mahmudi Zarandi, 2024). By combining elements of vegetation, natural light, water, and natural materials, biophilic residential architecture creates those spaces that strengthen the sense of connection to nature and improve the physical and mental well-being, comfort, and tranquility of the occupants (Prawata, 2024; Meredian, 2023).

Mashhad, due to its rich cultural heritage and distinct architectural style, follows the global principles and values of architecture, and the integration of biophilic design principles in the residential architecture of this city is of particular importance. The recent introduction of contemporary architecture in Mashhad has raised concerns about the potential lack of alignment between the city's residential architecture and biophilic design principles.

Key challenges of current paper include the need to bridge the gap between traditional and contemporary architectural approaches in Mashhad, a comprehensive assessment of the current state of biophilic design integration in Mashhad's residential architecture, and informing the future sustainable residential development by providing insights to architects, urban planners, and environmental design specialists. Overcoming the growing disconnect between people and the natural world, especially in the context of increasing urbanization, and adapting biophilic design principles to the local climate, cultural preferences, and natural resources available in Mashhad, are the main issues in this respect.

The findings of this study can serve as a valuable guide for similar urban fabrics, enabling them to make more informed decisions and create healthier and more livable residential environments. The primary objective of this research is to identify and rank the status of the integration of biophilic design principles in the existing residential architecture of Mashhad.

The main research questions are:

1. To what extent have biophilic design elements been incorporated into the residential architecture of Mashhad's houses?
2. What impact do biophilic design elements have on the well-being of Mashhad's residents?
3. How can the implementation of biophilic design principles in Mashhad's residential architecture be improved?

### Methodology

After reviewing the relevant literature, 42 criteria and 15 principles of biophilic design in residential architecture in Mashhad were identified and listed. A questionnaire containing these principles, criteria, and their descriptions was prepared. The statistical population consisted of 105 individuals involved with the principles of biophilic design, and the entry criterion to sample of current research was experience and expertise in the field of biophilic architecture. Due to the lack of a precise estimate about total number of individuals familiar with biophilic principles in Mashhad's residential architecture, a purposive snowball sampling method was utilized. The respondents were asked to evaluate the level of integration of biophilic design principles and criteria in Mashhad's residential architecture, with scores ranging from 1 (very low) to 5 (very high). The Cronbach's alpha coefficient was calculated as 0.825, confirming the reliability of the questionnaire. Ultimately, nine principles were selected for the research model (shown in Figure 1) based on the average of the 15 principles. This study employed a quantitative approach using a survey and the Shannon entropy method to calculate the weight of each perspective, as well as the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) technique to rank the criteria using calculations in the Excel software environment.

### Results and discussion

The weights obtained for the 105 participant perspectives in the current research (Table 3) and the ranking of the status of incorporating 32 biophilic design criteria based on the TOPSIS and the evaluation of alternatives based on their relative closeness to the ideal solution were performed (Table 4).

Based on the findings in response to the first research question:

- According to the majority of the study participants, indoor plants (rank 11), outdoor

green spaces (rank 7), and natural light (rank 4) have been relatively well-integrated into the residential architecture of Mashhad.

- However, the biophilic design principles related to water features (rank 16) and natural materials (rank 28) out of the 32 components studied, have been incorporated to a low or very low degree in the residential architecture of Mashhad homes.
- Indoor plants, outdoor green spaces, and natural light have been relatively well-integrated into the residential architecture of Mashhad. Based on the respondents' rankings, the use of natural materials and water features in architectural design have been considered to a lesser extent.

In response to the second research question:

- Factors such as stress reduction (rank 20), increased focus (rank 15), mood (rank 23), and overall health and quality of life (rank 21) seem to have room for improvement in terms of integrating these elements to enhance the quality of life for the city's residents.
- The lower the TOPSIS ranking (higher level), the more optimal the status of that biophilic design criterion or principle in the residential architecture of Mashhad.

In response to the third research question:

- Various aspects of biophilic design in residential architecture in Mashhad exist, and there is significant room for improvement.
- This ranking shows both the potential strengths and weaknesses in the integration of biophilic design principles. For example, while elements such as natural light and visual connection to nature have been relatively well-integrated, impacts such as stress reduction, increased focus, and overall well-being have received lower rankings, indicating areas that require more attention.

To bridge the gap between the current and optimal implementation of biophilic design in Mashhad's residential architecture, the recommended solution is to emphasize the use of natural materials, indoor plants, and outdoor green spaces, which can significantly increase the overall connection to nature and enhance well-being. Optimizing the use of natural light resources and more effective integration of water elements in the architecture can further improve the living environment.

## Conclusion

In conclusion, the results highlight the importance of developing and implementing certain criteria, such as the necessities of water and plants, natural light, and connection to nature. These criteria should be prioritized as the most important factors in the design of sustainable homes in Mashhad. The status of criteria such as natural sounds, emotional responses, and natural ventilation has been described as lower and then they are served more critical. Therefore, it is concluded that these environmental and psychological aspects have received less attention in the design of Mashhad's homes. Architectural designers should pay more attention to these aspects in the future to create healthier and higher-quality residential environments.

## References


1. Alam, M. (2023). Biophilic architecture and designs for mental well-being. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1218(1), 012020. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1218/1/012020/meta
2. Bahador, A., & Mahmudi Zarandi, M. (2024). Biophilic design: An effective design approach during pandemic and post-pandemic. Facilities, 42(1/2), 68-82. https://doi.org/10.1108/F-01-2023-0004
3. Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2018). TOPSIS strategy for multi-attribute decision making with trapezoidal neutrosophic numbers. Neutrosophic Sets and Systems, 19, 29-39.
4. Bromiley, P. A., Thacker, N. A., & Bouhova-Thacker, E. (2004). Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Statistics and Information Series (2004-004), 92004, 2-8.
5. Browning, W., et al. (2014). 14 patterns of biophilic design: Improving health & well-being in the built environment. Terrapin Bright Green, LLC. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2008.04.024
6. Chawla, L. (2012). Biophilic design: The architecture of life. Children, Youth and Environments, 22(1), 346-347. https://doi.org/10.1353/cye.2012.0041
7. Derr, V., & Kellert, S. R. (2013). Making children's environments RED: Restorative environmental design and its relationship to sustainable design. In Proceedings of the

44th Annual Conference of the Environmental Design Research Association. Providence, Rhode Island. (Vol. 29).

8. Derr, V., & Lance, K. (2012). Biophilic boulder: Children's environments that foster connections to nature. Children, Youth and Environments, 22(2), 112-143. https://doi.org/10.7721/chilyoutenvi.22.2.0112
9. Kellert, S. R. (1993). The biological basis for human values of nature. In S. R. Kellert & E. O. Wilson (Eds.), The biophilia hypothesis (pp. 42-63). Washington, DC: Island Press.
10. Kellert, S. R. (2005). Coastal values and a sense of place. In D. M. Whitelaw & G. R. Visgilio (Eds.), America's changing coasts: Private rights and public trust (pp. 151-168). Edward Elgar Publishing.
11. Kellert, S. R. (2008). Dimensions, elements, and attributes of biophilic design. In S. R. Kellert et al. (2011). Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life (pp. 89-111). UK: John Wiley & Sons.
12. Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (Eds.). (1993). The biophilia hypothesis. Washington, DC: Island Press.
13. Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. London: Terrapin Bright LLC, 3, 21-46.
14. Kellert, S., & Finnegan, B. (2011). Biophilic design: The architecture of life. [60-minute video]. Retrieved from www.bullfrogfilms.com
15. Khodavardi-Jafari, N., & Yousefi, A. (2017). *Biophilic architecture and sustainable development*. Tehran: Simaye Danesh. [In Persian]
16. Mahmoudinejad, H. (2020). *Biophilic architecture*. Tehran: Tahan Publications. [In Persian]
17. Pandita, D., & Choudhary, H. (2024). Biophilic designs: A solution for the psychological well-being and quality of life of older people. Working with Older People. https://doi.org/10.1108/WWOP-01-2024-0003
18. Rajabipour, F., & Delshad Siyahkali, M. (2020). Exploring the responsiveness to social adequacy in learning environments influenced by design experiences in biophilic perspective. *Educational Technology*, (55), 723-738. [In Persian]
19. Salingaros, N. A., & Masden, K. (2008). Chapter 5: Neuroscience, the natural environment, and building design. In S. R. Kellert et al. (2011). Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life (pp. 67-89). UK: John Wiley & Sons.
20. Shahcheraghi, A. (2017). *Enclosed in environment: Application of environmental psychology in architecture and urban planning*. Tehran: Tehran Jihad University Press. [In Persian]
21. Untaru, E. N., Han, H., David, A., & Chi, X. (2024). Biophilic design and its effectiveness in creating emotional well-being, green satisfaction, and workplace attachment among healthcare professionals: The hospice context. HERD: Health Environments Research & Design Journal, 17(1), 190-208. https://doi.org/10.1177/19375867231192087

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

مقاله پژوهشی

# ارزیابی و رتبه‌بندی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد

**الهام مقیمی شهری**[۱]: دانشجوی دکتری، گروه هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران
**محسن وفامهر:** استاد، گروه هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

دریافت:۱۴۰۳/۰۳/۲۷ صص ۹۲-۷۹ پذیرش:۱۴۰۳/۰۵/۰۸

## چکیده

هدف پژوهش حاضر ارزیابی و رتبه‌بندی وضعیت اصول طراحی بیوفیلیک گنجانده شده در معماری مسکونی مشهد می‌باشد. پرسشنامه‌ای به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی وضعیت اصول و معیارهای بیوفیلیک در معماری شهر مشهد تهیه گردید و از نظر پایایی و روایی مورد تأیید قرار گرفت. نمونه‌ای متشکل از ۱۰۵ نفر از کارشناسان آشنا با مفاهیم بیوفیلیک با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. رتبه‌بندی معیارهای بیوفیلیک با کمک روش TOPSIS و از طریق نرم‌افزار اکسل انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد معیارهای برخی عناصر مانند گیاهان داخلی، فضای سبز بیرونی و نور طبیعی تا حد نسبتاً خوبی در طراحی معماری خانه‌های مشهد گنجانده شده‌اند. اما استفاده از آب‌نماها و مصالح طبیعی به میزان کمتری لحاظ شده است. همچنین، معیارهایی مرتبط با ارتقای سلامت و بهزیستی ساکنان مانند کاهش استرس، افزایش تمرکز و ارتقای خلق‌وخو در رتبه‌های پایین‌تری قرار گرفتند. افزایش بکارگیری مصالح طبیعی، گیاهان و فضاهای سبز، بهینه‌سازی منابع نور طبیعی و ترکیب عناصر آبی در راستای کاهش وضعیت بحرانی پیشنهاد گردید. همچنین به منظور بهبود وضعیت طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد، تأکید بر آموزش، ترویج و تسهیل رویه‌های ساختمان‌سازی پایدار می‌تواند به ارتقای سطح طراحی بیوفیلیک در این شهر کمک کند. انجام این اقدامات می‌تواند به خلق محیط‌های مسکونی سالم‌تر و با کیفیت‌تر در مشهد بینجامد و رفاه و سلامت ساکنان را ارتقاء دهد.

**واژه‌های کلیدی:** معماری مسکونی، طراحی بیوفیلیک، آسایش، تاپسیس، مشهد

**استناد:** مقیمی شهری، الهام و وفامهر، محسن (۱۴۰۳). **ارزیابی و رتبه‌بندی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد،** *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۷۹-۹۲.

[۱] **نویسنده مسئول:** الهام مقیمی شهری، **پست الکترونیکی:** elhammoqimi@yahoo.com، **تلفن:** ۰۹۳۷۰۳۳۲۵۱۳

## مقدّمه

«بیوفیلیا» تمایل ذاتی انسان برای درمان سامانه‌های طبیعی و فرآیندها به ویژه ویژگی‌های زندگی مانند محیط غیرانسانی و التفات به «ویژگی‌های اقلیمی» است (محمودی‌نژاد، ۱۳۹۹). در حوزه معماری مسکونی، مفهوم طراحی بیوفیلیک به عنوان رویکردی که عناصر طبیعی را در محیط ساختمان با هدف ارتقاء رفاه کلی ساکنان، بهره‌وری و کیفیت عمومی سکونت آن‌ها ادغام می‌کند، توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است. با افزایش شهرنشینی در سطح جهان، نیاز روبه‌رشد بازمعرفی طبیعت به فضاهای زندگی وجود دارد تا این گسست ارتباط با جهان طبیعی کاهش یا به‌طور کلی رفع گردد (Chawla, 2012). طراحی بیوفیلیک به دلیل پتانسیل بهبود سلامت روان و رفاه با تأکید بر اجزای طبیعی و راحتی انسان شناخته شده است (Alam, 2023). گنجاندن اصول معماری بیوفیلیک در طراحی مجتمع‌های مسکونی و آپارتمان‌های مرتفع می‌تواند فضاهای سبز اختصاصی را برای ساکنان ایجاد کند که به ویژه در دوره‌های همه‌گیر و پس از آن بسیار مهم است ( Bahador & Mahmudi Zarandi, 2024). در تحقیقات متعددی تأثیر مثبت اصول طراحی بیوفیلیک بر رفاه، بهره‌وری و کیفیت زندگی کلی ساکنان ساختمان مشاهده شده است (Pandita & Choudhary 2024; Untaru et al., 2024). با درک اهمیت نسبی و اثربخشی این اصول در معماری مسکونی مشهد، این پژوهش می‌تواند به توسعه فضاهای مسکونی پایدارتر و قابل سکونت‌تر کمک کند که با محیط طبیعی ادغام می‌شود و در نهایت کیفیت زندگی ساکنان شهر را ارتقاء می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی وضعیت ادغام اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی موجود منازل مشهد می‌باشد. ارزیابی و رتبه‌بندی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی منازل مشهد، یک تلاش تحقیقاتی بسیار حائز اهمیتی است که می‌تواند شکاف دانش موجود را پر کند، گسست بین معماری سنتی و معاصر را پر کند، توسعه مسکونی آینده را اطلاع‌رسانی کند و در نهایت به ارتقاء رفاه کلی ساکنان، کیفیت بالاتر زندگی در معماری مسکونی منتهی شود. این دانش معماران، برنامه‌ریزان شهری و متخصصان طراحی محیطی را در توسعه فضاهای مسکونی پایدارتر و قابل سکونت بهتر با ادغام اصول طراحی بیوفیلیک می‌تواند آگاه نماید.

مشهد به عنوان شهری که به خاطر میراث فرهنگی غنی و سبک معماری متمایزش شناخته می‌شود، به طور سنتی معماری مسکونی خود را بر اساس شرایط اقلیمی محلی، سنت‌های فرهنگی و ترجیحات اجتماعی شکل داده است. با این حال، با ورود و نهادینه شدن معماری معاصر در سال‌های اخیر، ممکن است معماری مسکونی این شهر همیشه با اصول طراحی بیوفیلیک همسو نباشد. این تحقیق به چند دلیل در بافت مشهد از اهمیت خاصی برخوردار است. از یک سو فقدان تحقیقات در این زمینه، و نبود ابزار جمع‌آوری اطلاعات جامع برای بررسی وضعیت ادغام و تعبیه اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد باعث شده است پژوهش حاضر با طراحی پرسشنامه‌ای که جنبه‌های مختلف طراحی بیوفیلیک را پوشش می‌دهد، بر آن است تا این شکاف را پر کند. گسست ارتباط بین معماری سنتی و معاصر نیز از سوی دیگر باعث شده از آنجا که شهر مشهد شاهد ورود معماری معاصر بوده است، نیاز به درک میزان گنجاندن اصول طراحی بیوفیلیک در توسعه‌های مسکونی جدیدتر و نحوه مقایسه آن‌ها با رویکردهای سنتی وجود دارد. همچنین یافته‌های این پژوهش می‌تواند معماران، شهرسازان و متخصصان طراحی محیطی در مشهد و سایر بافت‌های شهری مشابه را مطلع سازد و آن‌ها را قادر سازد تا تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و توسعه پروژه‌های مسکونی واقعاً هماهنگ با محیط طبیعی را در دستور کار خود داشته باشند. این مطالعه با شناسایی و رتبه‌بندی اصول طراحی بیوفیلیک تعبیه شده در معماری مسکونی مشهد می‌تواند راهنمایی نوین و ارزشمندی برای طراحی و توسعه پروژه‌های مسکونی آتی در مشهد باشد. سوالات اصلی پژوهش حاضر عبارتند از:

۱. عناصر طراحی بیوفیلیک مانند گیاهان داخلی، فضای سبز بیرونی، نور طبیعی، آب‌نماها و مصالح طبیعی تا چه اندازه در معماری مسکونی خانه‌های مشهد گنجانده شده است؟

۲. عناصر طراحی بیوفیلیک چه تأثیری بر رفاه ساکنین شهر مشهد دارند، به ویژه از نظر کاهش استرس، تمرکز، خلق و خو، سلامت و کیفیت کلی زندگی؟

۳. چگونه می‌توان اجرای اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد را بهبود بخشید و چه توصیه‌هایی می‌توان به معماران، شهرسازان و خط‌مشی‌گذاران برای ارتقای یکپارچگی طراحی بیوفیلیک در شهر کرد؟

## پیشینه و مبانی نظری تحقیق

### بیوفیلیک

«رویکرد بیوفیلیک» در برخورد با طبیعت به‌عنوان یک رویکرد حداکثری از دغدغه‌های آسیب به محیط‌زیست فراتر رفته و بر پیوند و هم‌زیستی مردم با طبیعت در قالب فرآیند طراحی محیط مصنوعی تأکید دارد. این اصطلاح از لحاظ لغوی به معنی "عشق به زندگی و نظام‌های زندگی"

ترجمه و تعبیر می‌شود. در کتاب "بیوفیلیا" مفهوم نظریه بیوفیلیا توسط ادوارد او. ویلسون[۱](۱۹۸۴)، استاد زیست‌شناسی در دانشگاه هاروارد، مطرح و به چاپ رسید (محمودی‌نژاد، ۱۳۹۹) . این مفهوم از دو واژه بیو[۲]به عنوان فرمی که در ابتدای اسم‌ها، صفت‌ها و قیدها آورده شده و فیلیا[۳]به معنای احساس سرخوشی که مردم نسبت به فعالیت‌های خود در محیط دارند، تشکیل شده است (Kellert and Wilson, 1993).

## طراحی بیوفیلیک

یک موضوع اصلی در ادبیات طراحی بیوفیلیک این است که بشریت چیزی را در رویکرد خود برای طراحی ساختمان در دوران مدرن از دست داده است؛ سالینگاروس و مسدن[۴](۲۰۰۸) اظهار داشتند محیط‌های امروزه به دور از طبیعت ساخته و فاقد هرگونه ارتباطی با طبیعت می‌باشند. تحقیقات بیشتر نشان داد محیط‌های سبزتر، خستگی روانی را کاهش داده و استرس را تا حد زیادی کم می‌کند؛ پس طراحی بیوفیلی به این دلیل به وجود آمد تا با کمبودهای ساختمان‌های معاصر و دوری‌شان از طبیعت مقابله کند (Kellert and Finnegan, 2011؛ Browning et al., 2014) و انسان را به تجربه رضایت‌بخش از محیط‌های ساخته شده همراه سازد. طراحی بیوفیلیک به عنوان یک راهبرد مکمل در طیف وسیعی از عوامل فیزیکی، رفتاری و روانی اثر مثبت دارد، اما با این وجود دستیابی به آن فوق‌العاده دشوار است (شاهچراغی، ۱۳۹۶). طراحی بیوفیلیک تلاش دارد تا شکاف بین معماری معاصر و نیاز بشر برای ارتباط با دنیای طبیعی را پر نماید. این یک رویکرد نوآورانه است که اهمیت حفظ، غنی‌سازی و جوان‌سازی تعامل مثبت و استفاده از طبیعت در محیط ساخته شده را برجسته می‌کند (Kellert & Calabrese, 2015). در زیر نیز نظرات برخی از پژوهشگران به طور مختصر بیان می‌شود.

دِر و لنس[۵](۲۰۱۲) چهار ویژگی را برای ساختمان‌های بیوفیلیک مطرح کرده‌اند که شامل ۱-دسترسی مستقیم به طبیعت؛ ۲-استفاده از مصالح طبیعی؛ ۳-تداعی طبیعت؛ ۴-تداعی روح مکان می‌باشد. تراپین[۶](۲۰۱۲) سه دسته را برای ساختمان‌های بیوفیلیک شامل ۱-طبیعت درون فضا، ۲-به کار بردن نمادهایی از طبیعت و ۳-سرشت فضا در نظر گرفته است. در و کلرت[۷](۲۰۱۳) پس از بررسی ۲۶ مورد از محیط‌های آموزشی کودکان چهار مؤلفه را برای استفاده از بیوفیلیک در ساختمان‌ها مطرح کرده‌اند شامل ۱-مصالح؛ ۲-آب؛ ۳-انرژی و ۴-زمین و یا اکوسیستم.برونینگ[۸]و همکاران (۲۰۱۴) چهارده الگوی طراحی بیوفیلیک در سه دسته الگوهای طبیعت از فضا (شامل هفت الگوی ارتباط بصری با طبیعت، ارتباط غیربصری با طبیعت، محرک‌های حسی غیرریتمی، تنوع حرارتی و جریان هوایی، حضور آب، نور پویا و انتشار یافته و ارتباط با سامانه‌های طبیعی می‌باشد)؛ قیاس‌های طبیعی (استفاده از زیست‌تقلیدها و اشکال فراکتال، ارتباط با طبیعت به وسیله مصالح و در آخر پیچیدگی فضایی؛ سرشت فضا (دورنما، ملجأ، رمز و راز، خطر) مطرح کرده‌اند.کلرت و کالابرس (۲۰۱۵) سه راهبرد ۱-استفاده مستقیم از طبیعت (نور، هوا، آب، گیاهان، حیوانات، آب وهوا، مناظر طبیعی و اکوسیستم‌ها، آتش)؛ ۲-استفاده غیرمستقیم طبیعت (تصاویری از طبیعت، مصالح طبیعی، رنگ‌های طبیعی، شبیه‌سازی نور طبیعی و هوا، اشکال طبیعت‌گرایانه، طبیعت بیدارکننده، غنای اطلاعات، سن و تغییرات محیط و زمان، هندسه‌های طبیعی، تقلید زیستی و ۳-ایجاد ذهنیتی از فضا و زمان (چشم‌انداز و پناهگاه، پیچیدگی سازمان یافته، ادغام جزء در کل، فضاهای انتقالی، تحرک و راه رفتن، دلبستگی فرهنگی و اکولوژیکی به محل) را مطرح کرده‌اند. با توجه به موارد فوق و با در نظرگیری تفاوت‌ها و تشابه‌ها برمبنای دیدگاه‌های پژوهشگران، در آخر کلرت سال‌ها روی طراحی بیوفیلیک تحقیق کرد و شش عنصر اصلی و ۷۰ زیرمجموعه برای آن در نظر گرفت که در جدول ۱ بیان شده است (رجبی‌پور و دلشاد سیاهکالی، ۱۳۹۹).

**جدول ۱- استانداردهای طراحی بیوفیلیک**

| ویژگی‌های زیست‌محیطی | اشکال و فرم‌های طبیعی | الگوها و فرآیندهای طبیعی |
|---|---|---|
| رنگ | نقوش گیاهی | تنوع حسی (بویایی، شنوایی، لامسه، بنیایی) |
| آب | نقوش درختی و ستونی | غنای اطلاعات در محیط |
| هوا | نقوش حیوانی (عمدتا مهره‌داران) | سن، تغییر، و زنگار گذر زمان (تغییرات زمانی) |
| نور خورشید | صدف و نقوش مارپیچ و حلزونی | رشد و شکوفایی |

[1] Edward Osborne Wilson
[۲] Bio
[۳] Philia
[۴] Salingaros & Masden
[۵] Derr & Lance
[۶] Terrapin
[۷] Derr and Kellert
[۸] Browning

| | | |
|---|---|---|
| گیاهان | شکل‌های تخم‌مرغی، بیضوی و لوله‌ای‌شکل | نقطه کانونی مرکزی مانند تپه‌ها و کوه‌ها |
| حیوانات | قوس، طاق، گنبد | قطعات طرح‌دار (تمامی الگوهای محیطی) |
| مصالح طبیعی | اشکال مقاوم در برابر خطوط مستقیم و زوایای راست‌گوشه | فضاهای دارای حد و مرز و محدود: قلمروها |
| مناظر و چشم‌اندازهای طبیعی | شبیه‌سازی ویژگی‌های طبیعی | فضاهای انتقالی: مفصل‌های بین محل طبیعی و محیط ساخته شده |
| نمای سبز (سردرب‌ها) | مورفولوژی زیستی یا طراحی ارگانیک طبیعی و زنده | سری‌ها و زنجیره‌های متصل و مرتبط بهم |
| زمین‌شناسی و منظر | ژئومورفولوژی یا پستی‌وبلندی‌های زمین | ادغام قطعات یدکی به قطعه‌های اصلی (الگوهای یکپارچه) |
| زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌ها | زیست‌تقلیدگری مانند صدف‌ها، کندوی عسل، تارهای عنکبوت و کریستال‌ها | تضادهای مکمل |
| آتش | | تعادل و تنش‌های پویا (کششی و فشاری) |
| | | فراکتال‌ها |
| | | نسبت‌ها و مقیاس‌های بطورسلسله‌مراتبی سازمان یافته |
| نور و فضا | روابط مکان‌محور | تکامل روابط انسان و طبیعت |
| نور طبیعی | ارتباط یا اتصال جغرافیایی با مکان | چشم‌انداز و سرپناه |
| نور فیلتر شده و پخش نور | ارتباط تاریخی با مکان | نظم و ترتیب در عین پیچیدگی |
| نور و سایه | ارتباط اکولوژیکی با مکان | کنجکاوی و اغوا |
| نور منعکس شده | ارتباط فرهنگی با مکان | تغییر و دگرگونی |
| استخرهای نور (دسته و منبع نور در فضاها) | مصالح بومی | امنیت و حفاظت |
| نور گرم | جهت‌گیری منظره یا هم‌سازی با منظر (عنصر طبیعی) و ساختمان (عنصر انسان‌ساخت) | تسلط و کنترل |
| نور به عنوان شکل و فرم | ویژگی‌های منظر که فرم بنا و ساختمان را تعریف می‌کنند: ویژگی‌های جغرافیایی، عناصر طبیعی، آب و ... | محبت، تعلق‌خاطر و دلبستگی |
| وسعت (نور گسترده) | اکولوژی منظر | جذابیت و زیبایی |
| تنوع فضایی | ادغام و یکپارچگی فرهنگ و محیط‌زیست | اکتشاف و کشف |
| فضا به عنوان شکل و فرم | روح مکان | اطلاعات و شناخت |
| هماهنگی و هارمونی فضایی | پرهیز از حس تعلق بی‌مکانی | ترس و هیبت |
| فضاهای اندرونی–بیرونی | | تواضع و معنویت |

اصول بیوفیلیک را در طراحی از طریق روش‌های مختلف، به طور کلی شامل دو رویکرد اصلی زیر، می‌توان تجسم نمود: رویکرد اول شامل ادغام مستقیم طبیعت با فضاهای انسانی، ترکیب عناصری مانند گیاهان، نور طبیعی و تهویه طبیعی است. فضاهای معماری از مواد طبیعی مانند سنگ و چوب برای ساخت و ساز استفاده می‌کنند و معماری داخلی و تزئینات نما دارای تصاویر، نمادها و نقوش الهام گرفته از طبیعت است. رویکرد دوم مستلزم استفاده غیرمستقیم از طبیعت است، جایی که در طراحی و معماری خصوصیات عناصر طبیعی به کار گرفته می‌شوند که مطالعه اشکال و الگوهای پیچیده و هندسی موجود در طبیعت و سپس تلفیق آن‌ها در طراحی معماری یا سازه به منظور تداعی پیچیدگی و جذابیت محیط طبیعی در فضای ساخته شده را دربرمی‌گیرد. این عناصر به طور غیرمستقیم و ذهنی درک شده و بعداً به روح یا حس مکان در طراحی کمک می‌نمایند (Kellert, 2008؛ نقل از خداوردی‌جعفری و یوسفی، ۱۳۹۶).

اصول معماری بیوفیلیک از دیدگاه هیرواگین[۱] به شرح جدول ۲ می‌باشد که آن را می‌توان منبع الهام کلرت در شکل‌گیری دسته‌بندی جدول ۲ دانست.

**جدول ۲- اصول معماری بیوفیلیک**

| اصول معماری بیوفیلیک | عناصر بیوفیلیک |
|---|---|
| چشم‌انداز (قابلیت دید فاصله) | روشنایی در میدان دید (پنجره‌ها- دیوارهای روشن) |

[۱] Heerwagen

| اصول معماری بیوفیلیک | عناصر بیوفیلیک |
|---|---|
| | امکان رفتن به یک نقطه دورتر برای دید بهتر<br>افق- وجود تصویر آسمان (خورشید، کوه‌ها و ابرها)<br>وجود دالان چشم‌انداز |
| پناهگاه (احساس محافظت) | الگوی خیمه‌ای (سقف کوتاه و نمای مشابه شاخه‌های درختان در بالا) |
| آب (در داخل بنا با وجود چشم‌انداز از درون بنا) | روشنایی کم با سطوح منعکس‌کننده (تداعی آب تمیز)<br>آب روان (تداعی تمیزی و وجود اکسیژن در آب)<br>فرم‌های نمادین از آب |
| تنوع زیستی | تنوع گیاهان در داخل و خارج بنا (درختان بلند، گیاهان، گل‌ها)<br>پنجره‌های طراحی شده برای دیدن مناظر طبیعت<br>طبیعت بیرونی با گیاهان پرپشت و حیوانات |
| تغییرپذیری حواس | دستکاری رنگ‌های محیطی، جریان هوا، بافت و نور، تغییر دما طی مدت زمان مکان‌های گوناگون<br>آهنگ‌ها، ریتم‌ها و روندهای طبیعی از جمله روشنایی و تهویه طبیعی |
| تقلید از طبیعت | طراحی مقتبس و طبیعت الهامی<br>کاربرد اشکال-الگوهای طبیعی<br>نقوش فراکتال |
| احساس سرزندگی | بکارگیری مصالح و مواد طبیعی، دکور، تزئین‌ها و شیء‌ها و فضاهایی با هدف خلق حس نشاط، سرگرمی و غافل‌گیری |
| جاذبه | ادغام پیچیدگی‌هایی که توسط افراد می‌توانند مورد کشف و قدردانی قرار گیرند<br>غنای اطلاعات که تشویق‌کننده اکتشاف باشد<br>سطوح منحنی که به تدریج نمایی را باز می‌کنند |

در تدوین پرسشنامه پژوهش حاضر دیدگاه نظریه‌پردازان و کارشناسان مربوطه در مورد اصول طراحی بیوفیلیک گنجانده شده در معماری مسکونی، بکار گرفته شد. چارچوب و دیدگاه نظری مرتبط، شناسایی اصول و ویژگی‌های کلیدی طراحی بیوفیلیک برای ارزیابی و معیارهای انتخابی را ممکن نمود. مبنای نظری این مطالعه بر مفهوم طراحی بیوفیلیک استوار است، که بر تمایل ذاتی انسان برای ارتباط با طبیعت، حتی در محیط ساخته شده تأکید دارد. ویژگی‌های بیوفیلیک مورد ارزیابی در این مطالعه بر اساس چارچوب پیشنهادی کلرت (۲۰۱۸) شامل ۲۵ عنصر است که در گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند: نور، هوا، آب، گیاهان، حیوانات، منظره، اقلیم، نماها، آتش، تصاویر، مصالح، بافت، رنگ، اشکال و فرم‌ها، غنی بودن اطلاعات، تغییر، سن، الگوی پیری و کهنگی زمان، هندسه‌های طبیعی، شبیه‌سازی نور و هوای طبیعی، بیومیمیک (زیست‌الهام)، چشم‌انداز و پناهگاه، نظم و پیچیدگی، تحرک، فضاهای انتقالی، مکان، و ترکیب اجزاء در یک کل.

برای اطمینان از ارتباط و کاربرد این ویژگی‌های بیوفیلیک در بافت معماری مسکونی در مشهد، این مطالعه پیشنهاد می‌کند چهار معیار انتخاب کلیدی را در نظر بگیرد:

۱. ویژگی‌ها و اصول بیوفیلیک باید به وضوح توسط شرکت‌کنندگان در نظرسنجی قابل تشخیص و قابل تمیز باشند و امکان ارزیابی دقیق حضور و وضعیت آن‌ها را فراهم کند.

۲. ویژگی‌های بیوفیلیک انتخاب شده باید مرتبط و متناسب با ویژگی‌های فرهنگی، اقلیمی و معماری ایران و به طور خاص شهر مشهد باشد.

۳. ویژگی‌های بیوفیلیک باید مستقیماً با طراحی، مصالح و شیوه ساخت ساختمان‌های مسکونی مرتبط باشد، زیرا هدف این مطالعه ارزیابی ادغام آن‌ها در محیط ساخته شده است.

۴. ویژگی‌های بیوفیلیک باید برای ارزیابی و کمی‌سازی ساده باشند و کارشناسان را قادر سازد تا ارزیابی‌های قابل اعتماد و معنی‌داری از وضعیت فعلی خود در معماری مسکونی مشهد ارائه دهند.

چارچوب تحقیق ارائه شده در اطلاعات ارائه شده از یک توالی منطقی پیروی می‌کند که با شناسایی ویژگی‌های طراحی بیوفیلیک شروع می‌شود و سپس به بافت خاص ساختمان‌های مسکونی در مشهد محدود می‌شود. معیارهای انتخاب برای اطمینان از ارتباط و امکان‌سنجی فرآیند ارزیابی اعمال می‌شود. هدف این رویکرد جامع ایجاد پرسشنامه‌ای قوی است که بتواند به طور موثر نظرات متخصصان را در مورد تلفیق و وضعیت اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد جلب کند.

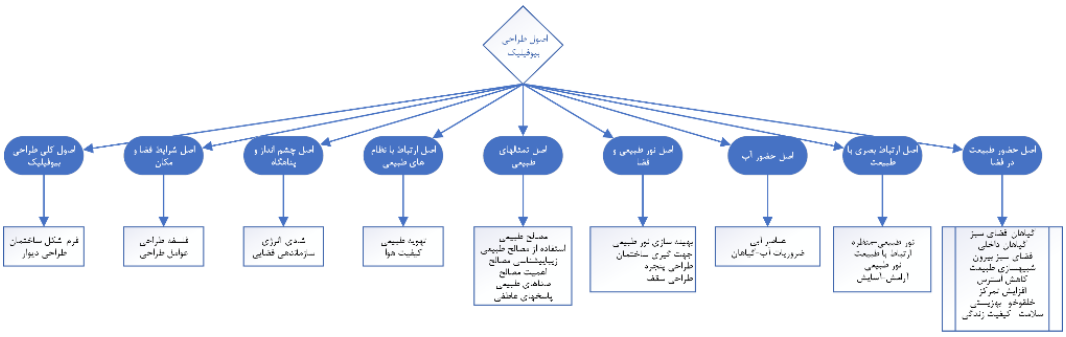
چارچوب نظری با بررسی روش‌شناسی‌های تحقیقاتی مختلف که معمولاً در پیشینه به‌کار رفته‌اند، از جمله بررسی‌ها، مطالعات میدانی، آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل هندسی، بررسی ادبیات و شبیه‌سازی، پشتیبانی می‌شود. هر رویکرد دارای نقاط قوت و محدودیت‌های خاص خود

است و رویکرد ترکیبی که داده‌های کمی و کیفی را ترکیب می‌کند، به عنوان روشی جامع و معتبر برای پرداختن به اهداف تحقیق برجسته می‌شود. با ایجاد این پایه نظری محکم، مطالعه حاضر می‌تواند پرسشنامه‌ای با ساختار مناسب ایجاد کند که با اصول، استانداردها و ویژگی‌های کلیدی طراحی بیوفیلیک و معیارهای انتخاب همسو باشد و امکان ارزیابی دقیق و رتبه‌بندی وضعیت فعلی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد را فراهم کند. این چارچوب زمینه را برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بعدی فراهم می‌کند و در نهایت به درک عمیق‌تر ادغام طراحی بیوفیلیک در بافت محلی کمک می‌کند.

## مواد و روش تحقیق

با مطالعه و ارزیابی پیشینه تحقیقات صورت گرفته حول اصول و معیارهای طراحی بیوفیلیک مشخص می‌گردد در غالب پژوهش‌های صورت گرفته این اصول و معیارها بررسی گردیده‌اند. اما مدل متناسب با معماری مسکونی مشهد که با کمک آن بتوان مهم‌ترین اصول و معیارهای طراحی بیوفیلیک را در میان معماری مسکونی موجود مشهد انتخاب کرد، وجود ندارد. بنابراین در پژوهش کمی و توصیفی حاضر، مدلی برای این انتخاب ارائه گردیده است.

از آنجا که هدف پژوهش حاضر همانا ارائه رتبه‌بندی اصول و معیارهای طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد می‌باشد، از این‌رو انتخاب معیارهای مناسب برای کاربرد در مدل اهمیت بسیار بالایی دارد. در همین راستا، به منظور بررسی معیارها و اصول موثر طراحی بیوفیلیک، بعد از مرور کتابخانه‌ای و اینترنتی اسناد و منابع مرتبط، این اصول و معیارها شناسایی و فهرست گردیدند. نتیجه این مطالعه اولیه انتخاب ۴۲ معیار و ۱۵ اصل طراحی بیوفیلیک بود که در معماری مسکونی مشهد نقش کلیدی داشتند. این تعداد معیار به منظور ارزیابی، فرایند تخلیل را دشوار خواهد ساخت و خطای آن را بیشتر خواهد کرد. به همین منظور، به منظور بررسی صحت و کاستن از تعداد معیارها، از ابزار پرسشنامه بهره گرفته شد. پرسشنامه‌ای تهیه گردید که در آن اصول طراحی بیوفیلیک و معیارهای آن و توصیف هر یک وجود داشت. شهرداری منطقه ده مشهد و فهرست پیمانکاران، توسعه‌دهندگان و مدیران پروژه ساختمانی در این منطقه مورد توجه این پژوهش قرار گرفت. جامعه آماری این پژوهش مشتمل بر ۱۰۵ نفر از افراد درگیر با اصول طراحی بیوفیلیک بوده است که با طراحی بیوفیلیک در پروژه‌های ساختمانی از یک حد آشنایی نسبی برخوردار بودند. معیارهای ورود به نمونه پژوهش حاضر عبارت بودند از برخورداری از سابقه کار و تخصص در زمینه معماری بیوفیلیک (تحصیل در رشته‌هایی همچون طراحی پایدار، معماری منظر یا علوم زیست‌محیطی مرتبط)، سکونت در ناحیه ۱۰ مشهد (دارای بینش کافی در زمینه این مطالعه). از آنجا که محقق برآورد دقیقی از تعداد افراد آشنا به اصول بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد نداشت، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند و به صورت نمونه‌گیری گلوله برفی این نمونه انتخاب شدند. به عبارت واضح‌تر این روش هنگامی استفاده می‌شود که یک سطح شناخت از جامعه آماری کل وجود نداشته باشد و چارچوب نمونه‌گیری هم روشن نبوده باشد و به اصطلاح از جوامع آماری پنهان با محل استقرار نامشخص و دسترس‌ناپذیری اطلاعات کافی در مورد آن‌ها صورت می‌گیرد. همان‌طور که قبلاً بیان گردید، ابزار اصلی پژوهش حاضر به منظور بررسی صحت و جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه بود. از پاسخ‌دهندگان درخواست گردید میزان ادغام هر یک از اصول و معیارهای طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد را ارزیابی کرده و امتیازی بین ۱ (خیلی کم) تا ۵ (بسیار زیاد) تخصیص بنمایند. به منظور کسب اطمینان در مورد روایی محتوایی و ظاهری ابزار پژوهش، از طریق مراجعه به اساتید خبره و صاحب‌نظر در این زمینه، قضاوت و ارزیابی آن‌ها ملاک قرار گرفت. در راستای کسب اطمینان از پایا بودن پرسشنامه پژوهش حاضر با بکارگیری آزمون آلفای کرونباخ مشخص شد مقدار ضریب این آزمون برابر ۰/۸۲۵(بیش از ۰/۷) به‌دست آمد که نشان‌دهنده متناسب بودن پرسشنامه از لحاظ پایایی بود. تمامی میانگین‌های معیارها بیشتر از ۲ یک ملاک دیگر از اهمیت همه معیارها از دیدگاه صاحب‌نظران بود. از میان ۱۵ اصل طراحی بیوفیلیک، نه اصل با توجه به میانگین آن‌ها به منظور بکارگیری در مدل پژوهش حاضر انتخاب گردید. در این پژوهش از اصول و معیارهای تحقیق کلرت (۲۰۱۸) به عنوان مبنای کار بهره گرفته شد. ولی با توجه به بررسی جامع‌تر پیشینه موضوع بعضی از اصول و معیارها تعدیل یا ترکیب گردیدند. در این راستا، این مدل در نمودار شکل ۱ به عنوان مدل نظری رتبه‌بندی وضعیت طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد در پژوهش حاضر برگزیده شده است.



**شکل ۱-مدل پژوهش حاضر**

ارزیابی وضعیت گنجاندن و اهمیت معیارها و اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد، به عبارتی رتبه‌بندی معیارها و اصول در چهار مرحله ذیل انجام پذیرفت.

گام نخست با انجام مطالعات کتابخانه‌ای مدل مناسب جهت یافتن معیارها و اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد برگزیده شد.

در گام دوم، صحت معیارهای برگزیده مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفته و مهم‌ترین آن‌ها با کمک پرسشنامه برگزیده شده و سپس به روش محاسبه وزن آنتروپی شانون دیدگاه یکایک خبرگان با همدیگر مقایسه گردیده و وزن هر یک محاسبه شد.

در گام سوم با کمک همان اصول ارزیابی معیارها صورت می‌گیرد.

در مرحله آخر با کمک اطلاعات به‌دست آمده از گام دوم (ماتریس اوزان)، گام سوم (ماتریس تصمیم‌گیری) و روش تاپسیس مناسب‌ترین معیارهای طراحی بیوفیلیک معماری مسکونی مشهد برگزیده می‌شود.

در این پژوهش، رویکرد کمی با استفاده از نظرسنجی به عنوان روش انتخاب شده است. این رویکرد بر اساس ارزیابی روش‌های مختلف تحقیق و تناسب آن‌ها برای اهداف پژوهش، چارچوب زمانی، منابع و هدف مطالعه انتخاب شده است. ابتدا یک نظرسنجی بر اساس بررسی عمیق ادبیات موجود و اصول طراحی بیوفیلیک شناسایی شده توسط کلرت (۲۰۱۸) ساختار یافته انجام گرفت. در این مرحله با کمک پرسشنامه دیدگاه کارشناسان در مورد اهمیت و وضعیت فعلی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی شهر مشهد ارزیابی می‌گردد. این نظرسنجی بین ۱۰۵ نفر از متخصصان شامل معماران، شهرسازان و دانشگاهیان دارای دانش و تجربه در زمینه معماری مسکونی و طراحی بیوفیلیک در مشهد توزیع شد. ساختار پرسشنامه نظرسنجی حول اجزای کلیدی زیر می‌باشد:

۱. اطلاعات جمعیت‌شناختی: این بخش اطلاعاتی را در مورد سوابق پاسخ‌دهندگان مانند حرفه، تعداد سال‌ها و سوابق تجربه کاری و مشارکت آن‌ها در پروژه‌های مسکونی در مشهد جمع‌آوری می‌کند.

۲. اصول طراحی بیوفیلیک: این نظرسنجی ۹ اصل و ۳۲ معیار طراحی بیوفیلیک شناسایی شده توسط کلرت (۲۰۱۸) را ارائه می‌کند و از کارشناسان می‌خواهد دیدگاه خود را بر اساس اهمیت هر یک از ویژگی‌ها در زمینه معماری مسکونی در مشهد در مقیاس پنج امتیازی لیکرت ارزیابی کنند.

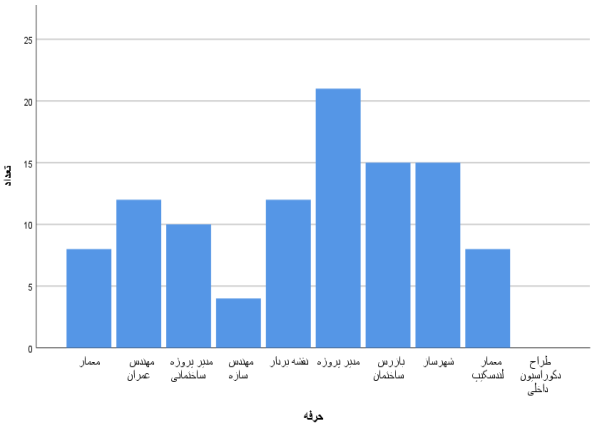
۳. ارزیابی وضعیت فعلی: برای هر یک از اصول طراحی بیوفیلیک، از کارشناسان خواسته می‌شود تا سطح فعلی ادغام و اجرای این اصول در معماری مسکونی مشهد را در مقیاس لیکرت ۵ امتیازی از ادغام خیلی‌کم تا ادغام خیلی‌زیاد ارزیابی کنند.

۴. معیارهای انتخاب: نظرسنجی شامل سوالاتی برای ارزیابی نظرات کارشناسان در مورد مناسب بودن اصول طراحی بیوفیلیک برای بافت محلی مشهد، سهولت شناسایی و ارزیابی و ارتباط آن‌ها با ساخت و ساز ساختمان‌ها بود.

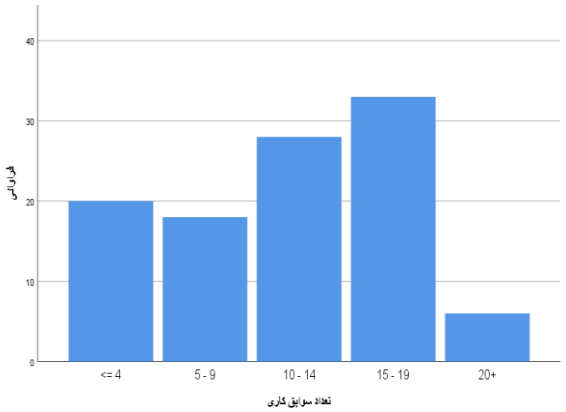
روش آنتروپی شانون به منظور محاسبه وزن هر دیدگاه و تکنیک تاپسیس به منظور رتبه‌بندی معیارها با استفاده از محاسبات در محیط نرم‌افزار مایکروسافت اکسل ۲۰۲۱ انجام گرفت.

## بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

مشخصات جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش به شرح شکل ۲ و ۳ آورده شده است.




**شکل ۲- حرفه نمونه پژوهش حاضر**




**شکل - سابقه و تجربه کاری نمونه پژوهش حاضر**

مطابق شکل ۲، غالب شرکت‌کنندگان در این پژوهش از میان مدیران پروژه‌های ساختمانی با سابقه بین ۱۵ الی ۱۹ سال انتخاب شده‌اند. در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره و به‌خصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، داشتن و دانستن اوزان نسبی، گام مؤثری در فرایند حل مسئله می‌باشد. از جمله روش های تعیین وزن می توان به روش آنتروپی شانون اشاره نمود. در تصمیم‌گیری همیشه یکسری دیدگاه و گزینه دخیل هستند. اهمیت دیدگاه‌ها قطعاً در تصمیم‌گیری برابر نیست. از آنجا که عواملی همچون سابقه کاری، آشنایی با اصول و معیارهای طراحی بیوفیلیک، درگیری و علاقمندی افراد به موضوع، سطح مهارت و مشغولیت کاری و قرابت با مفاهیم طراحی بیوفیلیک در دیدگاه افراد دخیل هستند و قطعا اهمیت تمامی دیدگاه‌ها با هم برابر نیست، در چنین موضعی اهمیت این دیدگاه‌ها برای برنامه‌ریزان مرتبط باید شناسایی گردد و دانستن ضریب اهمیت یا وزن هر یک از این دیدگاه‌ها در تصمیم‌گیری ضروری است. وزن هر دیدگاه، اهمیت نسبی آن را نسبت به دیدگاه‌های دیگر مشخص می‌نماید. انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت رسیدن به هدف مورد نظر می‌نماید. در چنین مواقعی تکنیک آنتروپی شانون وظیفه وزن‌دهی دیدگاه‌های یکایک افراد دخیل بر اساس سطح تجربه-علاقه کاری آن‌ها با اصول طراحی بیوفیلیک را به عهده می‌گیرد. به منظور تخصیص وزن به یکایک دیدگاه‌های نمونه ۱۰۵ نفری با استفاده از روش آنتروپی شانون، از فرمول آنتروپی شانون استفاده شد که معیاری از عدم قطعیت یا محتوای اطلاعاتی در یک مجموعه داده معین است. از نظر ریاضی، آنتروپی شانون به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} P_{ij} \times Ln\, P_{ij} \qquad i = 1,2,\dots,m \qquad (۱)$$

که در آن k به عنوان مقدار ثابت مقدار $E_j$ را میان صفر و یک نگه می‌دارد، $p_{ij}$ توزیع احتمال است. در گام بعدی محاسبه مقدار $d_j$ (درجه انحراف) بر اساس رابطه ۲ می‌باشد که همانا تصریح می‌کند دیدگاه مربوطه ($d_j$) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده دیدگاهی به هم نزدیک باشند، حاکی از آن است دیدگاه‌های رقیب از نظر آن دیدگاه تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند:

$$d_j = 1 - E_j \qquad (۲)$$

لذا نقش آن دیدگاه در تصمیم‌گیری باید به همان اندازه کاهش یابد. در مرحله آن وزن یا اهمیت نسبی هر دیدگاه طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$w_j = d_j / \sum d_j \qquad (۳)$$

با اعمال این فرمول برای مجموعه داده ۱۰۵ نفر، به هر دیدگاه وزنی اختصاص داده می‌شود که نشان‌دهنده سهم منحصر به فرد هر تجربه/سابقه کاری طراحی بیوفیلیک در محتوای اطلاعات کلی نمونه است. این رویکرد وزنی امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر از دیدگاه‌های فردی و تأثیر آن‌ها بر رتبه‌بندی نهایی معیارها و اصول را فراهم می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهد که می‌تواند فرآیندهای تصمیم‌گیری در تحقیقات دانشگاهی را اطلاع دهد (Bromiley et al., 2004). جدول ۳ اوزان بدست آمده برای ۱۰۵ دیدگاه شرکت‌کننده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۳- وزن نسبی هر دیدگاه

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۳۴ | ۰/۰۰۹۵۲۵ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۳۳ | ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۳ | ۰/۰۰۹۵۲ |
| ۰/۰۰۹۵۲۷ | ۰/۰۰۹۵۳۱ | ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۳۳ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۲ | ۰/۰۰۹۵۲ |
| ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۳۳ | ۰/۰۰۹۵۲۷ | ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۱۶ |
| ۰/۰۰۹۵۲۲ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۱۵ | ۰/۰۰۹۵۲ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۲۵ |
| ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۲۵ | ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۲۸ |
| ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۳۴ | ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۱۷ | ۰/۰۰۹۵۱۶ | ۰/۰۰۹۵۲۶ |
| ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۳ | ۰/۰۰۹۵۱۲ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۱ | ۰/۰۰۹۵۲۵ |
| ۰/۰۰۹۵۳۲ | ۰/۰۰۹۵۲۵ | ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۳۱ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۲۲ |
| ۰/۰۰۹۵۱۷ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۱۴ | ۰/۰۰۹۵۱۷ | ۰/۰۰۹۵۱۳ | ۰/۰۰۹۵۱۸ |
| ۰/۰۰۹۵۱۷ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۲ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۱۹ | ۰/۰۰۹۵۲۴ |
| ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۳۳ | ۰/۰۰۹۵۲۴ | ۰/۰۰۹۵۳۶ | ۰/۰۰۹۵۲۸ | ۰/۰۰۹۵۲۹ |
| ۰/۰۰۹۵۱۸ | ۰/۰۰۹۵۲۹ | ۰/۰۰۹۵۲۳ | ۰/۰۰۹۵۲۲ | ۰/۰۰۹۵۲۲ | ۰/۰۰۹۵۳۲ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۲۱ |
| ۰/۰۰۹۵۲ | ۰/۰۰۹۵۳۸ | ۰/۰۰۹۵۳۱ | ۰/۰۰۹۵۲۱ | ۰/۰۰۹۵۱۳ | ۰/۰۰۹۵۲ | ۰/۰۰۹۵۲۶ | ۰/۰۰۹۵۲۸ |
| ۰/۰۰۹۵۲۱ | | | | | | | |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

بعد از مشخص شدن وزن دیدگاه یکایک افراد شرکت‌کننده در پژوهش، به سراغ رتبه‌بندی وضعیت گنجاندن ۳۲ معیار طراحی بیوفیلیک رفته که در آن تکنیک ترتیب اولویت بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای تعیین بهترین جایگزین در میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها استفاده می‌شود. بر اساس این مفهوم گزینه انتخاب شده باید کمترین فاصله هندسی را از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بالاترین سطح ادغام معیار طراحی بیوفیلیک) و طولانی‌ترین فاصله هندسی را از راه‌حل ایده‌آل منفی (وضعیت بحرانی ادغام معیار طراحی بیوفیلیک) در فضای چند بعدی تشکیل شده توسط معیارها داشته باشد و شامل مراحل زیر بود:

۱. هر عنصر (جواب هر فرد، $a_{ij}$) در ماتریس تصمیم بر جذر مجموع مجذورات همه عناصر در ستون مربوطه تقسیم گردید تا ماتریس نرمال ($n_{ij}$) بدست آید (رابطه ۴).

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \quad (۴)$$

۲. ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده در وزن هر دیدگاه ضرب گردید (رابطه ۵).

$$v_{ij} = W_{ij} * n_{ij} \quad (۵)$$

۳. برای تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل، بهترین ($v_j^+$) و بدترین مقادیر ($v_j^-$) برای هر معیار در ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده وزنی مشخص شد. با توجه به آنکه نمره بالاتر نشان‌دهنده وضعیت بهتر و ایده‌آل می‌باشد، بنابراین کلیه معیارها بار مثبت دارند و ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار آن معیار است.

۴. به منظور محاسبه معیارهای جداسازی، فاصله اقلیدسی هر جایگزین از راه‌حل‌های ایده‌آل ($d_i^+$) و ضد ایده‌آل ($d_i^-$) محاسبه گردید (رابطه ۶ و ۷).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+\right)^2} \quad (۷)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad (۸)$$

۵. نزدیکی نسبی هر گزینه ($cl_i^*$) به راه‌حل ایده‌آل بر اساس فواصل محاسبه شده تعیین شد (رابطه ۸).

$$cl_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۸)$$

۶. گزینه‌ها بر اساس نزدیکی نسبی آن‌ها به راه‌حل ایده‌آل رتبه‌بندی گردید (Biswas et al., 2018) که نتایج کلیه مراحل فوق در جدول ۴ آورده شده است.

**جدول ۴- وضعیت موجود بناهای مسکونی مشهد از لحاظ میزان گنجانده شدن معیارهای طراحی بیوفیلیک**

| اصول | معیار | فاصله از حد آل‌ایده | فاصله از حد آل‌ضدایده | شاخص شباهت | رتبه |
|---|---|---|---|---|---|
| حضور طبیعت در فضا و تغییرپذیری حواس | گیاهان/فضای سبز | ۰/۰۰۷۵ | ۰/۰۱۵۴ | ۰/۶۷۱۴ | ۶ |
| | گیاهان داخلی | ۰/۰۰۸۱ | ۰/۰۱۳۵ | ۰/۶۲۶۹ | ۱۱ |
| | فضای سبز بیرون | ۰/۰۰۷۳ | ۰/۰۱۴۴ | ۰/۶۶۴۳ | ۷ |
| | شبیه‌سازی طبیعت | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۰۰۸۸ | ۰/۴۲۷۲ | ۲۹ |
| | کاهش استرس | ۰/۰۰۹۱ | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۵۶۵۳ | ۲۰ |
| | افزایش تمرکز | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۰۱۳۶ | ۰/۵۹۶۲ | ۱۵ |
| | خلق‌وخو/بهزیستی | ۰/۰۱۱۱ | ۰/۰۱۱۴ | ۰/۵۰۷۸ | ۲۳ |
| | سلامت/کیفیت زندگی | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۱۱۳ | ۰/۵۵۶۴ | ۲۱ |
| ارتباط بصری با طبیعت | منظره | ۰/۰۰۹۷ | ۰/۰۱۳۸ | ۰/۵۸۷۴ | ۱۷ |
| | ارتباط با طبیعت | ۰/۰۱۰۹ | ۰/۰۱۱۷ | ۰/۵۱۸۰ | ۲۲ |
| | نور طبیعی | ۰/۰۰۷۳ | ۰/۰۱۵۲ | ۰/۶۷۶۶ | ۴ |
| | آرامش/آسایش | ۰/۰۰۷۰ | ۰/۰۱۵۲ | ۰/۶۸۳۲ | ۲ |
| حضور آب | عناصر آبی | ۰/۰۰۸۵ | ۰/۰۱۲۱ | ۰/۵۸۸۰ | ۱۶ |
| | ضروریات آب/گیاهان | ۰/۰۱۱۸ | ۰/۰۰۹۹ | ۰/۴۵۶۰ | ۲۵ |
| نور طبیعی و فضا | بهینه‌سازی نور طبیعی | ۰/۰۰۸۸ | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۶۰۳۷ | ۱۳ |
| | جهت‌گیری ساختمان | ۰/۰۰۹۰ | ۰/۰۱۴۲ | ۰/۶۱۰۸ | ۱۲ |
| | طراحی پنجره | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۰۱۴۸ | ۰/۶۴۱۲ | ۱۰ |
| | طراحی سقف | ۰/۰۰۹۵ | ۰/۰۱۴۴ | ۰/۶۰۲۷ | ۱۴ |
| تمثال‌های طبیعی | نوع مصالح طبیعی | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۰۹۹ | ۰/۴۴۴۶ | ۲۸ |
| | استفاده گسترده مصالح طبیعی | ۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۳۸۲۱ | ۳۱ |
| | زیبایی‌شناسی مصالح | ۰/۰۱۳۶ | ۰/۰۱۱۲ | ۰/۴۵۲۱ | ۲۶ |
| | اهمیت مصالح | ۰/۰۱۵۳ | ۰/۰۰۸۳ | ۰/۳۵۱۱ | ۳۲ |
| | صداهای طبیعی | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۴۵۰۸ | ۲۷ |
| | پاسخ‌های عاطفی | ۰/۰۰۷۵ | ۰/۰۱۳۸ | ۰/۶۴۶۸ | ۹ |
| تکامل ارتباط با نظام‌های طبیعی | تهویه طبیعی | ۰/۰۱۲۹ | ۰/۰۰۹۱ | ۰/۴۱۲۳ | ۳۰ |
| | کیفیت هوا | ۰/۰۰۷۱ | ۰/۰۱۵۰ | ۰/۶۷۶۸ | ۳ |
| چشم‌انداز و پناهگاه | احساس شادی/انرژی حاصل از روشنایی در میدان دید و وجود دالان چشم‌انداز | ۰/۰۱۱۵ | ۰/۰۱۰۴ | ۰/۴۷۵۰ | ۲۴ |
| | احساس محافظت ناشی از رعایت الگوهای سازماندهی فضایی | ۰/۰۰۷۸ | ۰/۰۱۴۷ | ۰/۶۵۳۰ | ۸ |
| شرایط فضا و مکان | فلسفه طراحی | ۰/۰۰۶۶ | ۰/۰۱۵۶ | ۰/۷۰۳۶ | ۱ |
| | عوامل طراحی | ۰/۰۰۷۰ | ۰/۰۱۴۳ | ۰/۶۷۳۲ | ۵ |
| اصول کلی طراحی بیوفیلیک | فرم/شکل ساختمان | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۰۱۳۷ | ۰/۵۸۲۸ | ۱۸ |
| | طراحی دیوار | ۰/۰۰۹۷ | ۰/۰۱۳۲ | ۰/۵۷۵۲ | ۱۹ |

با میانگین‌گیری شاخص شباهت برای هر یک اصول طراحی بیوفیلیک در جدول ۴، رتبه‌بندی نهایی وضعیت اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد حاصل می‌شود (جدول ۵).

**جدول ۵- رتبه نهایی اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد**

| اصول | شاخص شباهت **(میانگین)** | رتبه |
|---|---|---|
| شرایط فضا و روابط مکان‌محور | ۰/۶۹۳۴ | ۱ |
| چشم‌انداز (قابلیت دید فاصله) و پناهگاه (احساس محافظت) | ۰/۶۶۴۹ | ۲ |
| ارتباط بصری با طبیعت | ۰/۶۴۴۶۵ | ۳ |
| نور طبیعی و فضا | ۰/۶۳۷۱ | ۴ |
| تکامل ارتباط با نظام‌های طبیعی | ۰/۶۳۲۴ | ۵ |
| اصول کلی طراحی بیوفیلیک | ۰/۶۲۷۱ | ۶ |
| حضور آب | ۰/۶۱۷۴ | ۷ |
| حضور طبیعت در فضا و تغییرپذیری حواس | ۰/۶۱۴۰۳۸ | ۸ |
| تمثال‌های طبیعی یا تقلید از طبیعت | ۰/۵۶۹۳۸۳ | ۹ |

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

## نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

با توجه به مطالب فوق و رتبه‌بندی دیدگاه نخبگان در زمینه وضعیت اصول طراحی بیوفیلیک نهادینه‌سازی شده در بناهای مسکونی موجود مشهد مشهود است اصول و استانداردهای خاص طراحی بیوفیلیک وجود دارد که عملکرد بهینه (رتبه‌بندی سطح بالاتر و در نتیجه وضعیت بهتر) را از خود نشان می‌دهد و برخی اصول دیگر در بافت معماری مسکونی مشهد وضعیت بحرانی یا نیمه‌بحرانی را تجربه می‌کنند. با توجه به نتایج جدول ۴، اصول نهادینه‌سازی‌شده‌تر طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد از نگاه نمونه پژوهش شامل شرایط فضا و روابط مکان‌محور، چشم‌انداز (قابلیت دید فاصله) و پناهگاه (احساس محافظت) می‌باشند که در اولویت ایجاد فضاهای زندگی کاربردی و سازماندهی شده و همچنین نماها و پناهگاه‌ها با تمرکز بر ارائه مناظر طبیعی زیبا و دلپذیر به ساکنان نقش داشتند. ارتباط بصری با طبیعت و نور طبیعی و فضا نیز رتبه نسبتاً خوبی کسب کرده و بر اهمیت ادغام عناصری که پیوندی قوی با محیط طبیعی ایجاد می‌کنند و نفوذ نور طبیعی را در سراسر فضاهای زندگی به حداکثر می‌رسانند، تأکید می‌نماید. این نتایج اجرای موفقیت‌آمیز اصول کلیدی طراحی بیوفیلیک را نشان می‌دهد که به ارتقای کیفیت کلی معماری مسکونی در مشهد و ارتقای ارتباط هماهنگ با طبیعت کمک می‌کند.

از سوی دیگر، اصولی مانند حضور آب، حضور طبیعت در فضا و تغییرپذیری حواس و تمثال‌های طبیعی یا تقلید از طبیعت، رتبه‌بندی‌های سطح پائین‌تری را نشان داده‌اند که نشان‌دهنده اصولی هستند که در طراحی بیوفیلیک معماری مسکونی در مشهد نیازمند بازنگری سیاست‌های کلی مربوطه است. این اصول بر ترکیب عناصر طبیعی، فضای سبز و آب در فضاهای زندگی برای تقویت ارتباط با طبیعت و ایجاد محیطی فراگیرتر و پایدارتر تمرکز دارد. با رفع نواقص در این عرصه‌ها و ادغام بیشتر اصول طراحی بیوفیلیک در سراسر معماری مسکونی در مشهد، طراحان و سیاست‌گذاران می‌توانند محیط‌های زندگی جامع‌تر و الهام گرفته از طبیعت ایجاد کنند که رفاه و آسایش ساکنان را در اولویت قرار داده و در عین حال ارتباط عمیق‌تر با محیط اطراف و چشم‌انداز طبیعی را تقویت نماید.

همچنین به ترتیب معیارهای فلسفه طراحی، آرامش/آسایش، کیفیت هوا، نور طبیعی، عوامل طراحی، گیاهان/فضای سبز، فضای سبز بیرون، احساس محافظت ناشی از رعایت الگوهای سازماندهی فضایی، پاسخ‌های عاطفی، طراحی پنجره در وضعیت غیربحرانی از لحاظ اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد شناسایی شدند؛ زیرا که رتبه‌های نسبتاً سطح بالاتری را دریافت کردند که نشان می‌دهد به خوبی اجرا شده و به طراحی بیوفیلیک خانه‌ها در مشهد کمک معنی‌داری کرده‌اند. این معیارها رفاه عاطفی ساکنان را افزایش داده، مثبت‌اندیشی را ارتقاء بخشیده و اطمینان می‌دهند که ساختار فضایی خانه‌های مسکونی مشهد از لحاظ راحتی و کارکرد انسان سازگاری لازم را داشته است.

معیارهای گیاهان داخلی، جهت‌گیری ساختمان، بهینه‌سازی نور طبیعی، طراحی سقف، افزایش تمرکز، عناصر آبی، منظره، فرم/شکل ساختمان، طراحی دیوارها، کاهش استرس، سلامت/کیفیت زندگی، ارتباط با طبیعت نیز در وضعیت نیمه‌بحرانی توصیف شدند. بر اساس نتایج پژوهش، این معیارها، اگرچه نقش مهمی در طراحی خانه‌های پایدار در مشهد ایفا می‌کنند، اما هنوز جایگاه ویژه‌ای در فرایند طراحی ندارند. طراحان باید به این معیارها توجه بیشتری نشان دهند و در فرایند طراحی معماری به آن‌ها اهمیت دهند. بهبود این معیارها می‌تواند به ارتقای کیفیت محیط‌زیست ساختمانی و افزایش آسایش و بهزیستی ساکنان منجر شود. همچنین، توجه به این معیارها می‌تواند به حفظ و ارتقای ارتباط ساکنان با طبیعت و محیط پیرامون کمک کند و در نهایت، به بهبود سلامت و کیفیت زندگی ساکنان بینجامد.

معیارهای طراحی بیوفیلیک خلق‌وخو/بهزیستی، احساس شادی/انرژی حاصل از روشنایی در میدان دید و وجود دالان چشم‌انداز، ضروریات آب/گیاهان، زیبایی‌شناسی مصالح، صداهای طبیعی، نوع مصالح طبیعی، شبیه‌سازی طبیعت، تهویه طبیعی، استفاده گسترده مصالح طبیعی و اهمیت مصالح از دید شرکت‌کنندگان در معماری مسکونی مشهد نیز دارای وضعیت بحرانی شناسایی شدند. این یافته‌ها نشان می‌دهد این معیارها به عنوان عوامل بحرانی در طراحی خانه‌های پایدار در مشهد شناخته می‌شوند، اما متأسفانه در عمل به آن‌ها توجه کافی نشده است. طراحان معماری باید به این موارد بیشتر توجه کرده و آن‌ها را در فرایند طراحی خود لحاظ نمایند. تأکید بر این معیارها می‌تواند به ایجاد محیط‌های زیستی سالم‌تر و با کیفیت‌تر منجر شود که در آن ساکنان احساس آرامش، شادی و انرژی بیشتری داشته باشند، چیزی که در زمانه حاضر بسیار مورد توجه محققان رشته‌ای و بین‌رشته‌ای و مسئولان امر قرار گرفته است و هزینه‌های جبران‌ناپذیری بر پیکره خرد و کلان کشور ایران ناشی از مسائل مربوط به معماری تحمیل کرده است. همچنین، بکارگیری مصالح طبیعی و ایجاد ارتباط با عناصر طبیعی همسو با توجه به معیارهای بحرانی در طراحی معماری می‌تواند نقش مهمی در نیل به کاهش هزینه‌های فوق خواهد داشت. از نظر معیارهای طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی در مشهد، اولویت‌بندی عناصری که به رفاه انسان، پایداری محیطی و کیفیت کلی زندگی کمک می‌کنند، بسیار مهم هستند. معیارهایی مانند کاهش استرس، افزایش تمرکز و دسترسی به طبیعت برای ایجاد محیط‌های زندگی هماهنگ و پرورشی باید مورد تأکید قرار گیرد. ترکیب عناصری مانند نور طبیعی، گیاهان داخلی، نماهای سبز و آب نماها می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت زیست‌مندی و زیست‌دوستی معماری مسکونی در مشهد را افزایش دهد.

علاوه بر این، معیارهای مربوط به شیوه‌های ساختمانی پایدار، بهره‌وری انرژی و انتخاب مصالح طبیعی نیز باید در نظر گرفته شود تا طراحی بیوفیلیک خانه‌ها در مشهد بهینه شود. با اولویت‌بندی مواد سازگار با محیط‌زیست، ترکیب سیستم‌های کارآمد انرژی، و اجرای راهبردهای طراحی غیرفعال، ساختمان‌های مسکونی پایدار برای ساکنان می‌توانند مورد ترویج قرار گیرند. همکاری میان معماران، برنامه‌ریزان شهری، سیاست‌گذاران و ساکنان برای اطمینان از اینکه اصول طراحی بیوفیلیک به طور موثر یکپارچه شده‌اند و خانه‌های مشهد منعکس‌کننده رویکردی جامع برای زندگی پایدار هستند، ضروری است.

در پاسخ به سوال اول پژوهش مبنی بر اینکه عناصر طراحی بیوفیلیک مانند گیاهان داخلی، فضای سبز بیرونی، نور طبیعی، آب‌نماها و مصالح طبیعی تا چه اندازه در معماری مسکونی خانه‌های مشهد گنجانده شده است، گیاهان داخلی (رتبه ۱۱)، فضای سبز بیرونی (۷) و نور طبیعی (۴) بر طبق نظر غالب شرکت‌کننده در پژوهش حاضر در معماری مسکونی مشهد نسبتاً در سطح مطلوبی گنجانده شده‌اند؛ اما با توجه به رتبه بدست آمده اصول طراحی بیوفیلیک در رابطه با آب‌نماها (۱۶) و مصالح طبیعی (۲۸) از میان ۳۲ مولفه تحت بررسی، تا حد کم و بسیار کمی در معماری مسکونی خانه‌های مشهد گنجانده شده است. این‌طور می‌توان بحث نمود گیاهان داخلی، فضای سبز بیرونی، نور طبیعی تا حد نسبتاً خوبی با هم در معماری مسکونی مشهد ادغام شده‌اند. این در حالی است که استفاده از مصالح طبیعی و آب‌نماها در طراحی معماری، با توجه به رتبه پاسخگو، به میزان کمتری لحاظ شده است. از منظر معماری، گنجاندن عناصر طراحی بیوفیلیک مانند گیاهان داخلی، فضاهای سبز در فضای باز، نور طبیعی، آب‌نماها و مواد طبیعی می‌تواند کیفیت کلی فضاهای مسکونی را تا حد زیادی افزایش دهد. این عناصر به ایجاد محیط‌هایی کمک می‌کنند که پایدارتر، از نظر زیبایی‌شناختی دلپذیرتر و به رفاه ساکنین کمک کنند.

در پاسخ به سوال دوم پژوهش حاضر مبنی بر اینکه عناصر طراحی بیوفیلیک چه تأثیری بر رفاه ساکنین شهر مشهد دارند، با توجه به رتبه بدست آمده کاهش استرس (رتبه ۲۰)، افزایش تمرکز (۱۵)، خلق و خو (۲۳)، سلامت و کیفیت کلی زندگی (۲۱) به نظر می‌رسد از نظر ادغام این عناصر برای ارتقای کیفیت زندگی ساکنان شهر، جای پیشرفت وجود دارد. لازم به توضیح است هر چه رتبه بدست آمده تاپسیس از لحاظ عددی کوچک‌تر (سطح بالاتر) باشد، وضعیت آن معیار یا اصل طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد بهینه‌تر می‌باشد. رتبه‌بندی نسبتاً سطح پایین‌تر کاهش استرس، افزایش تمرکز، ارتقای شادی، و افزایش سلامت و رفاه کلی نشان می‌دهد ممکن است فرصت‌هایی برای استفاده بیشتر از راهبردهای طراحی بیوفیلیک در شهرسازی و معماری در مشهد وجود داشته باشد. با اولویت قرار دادن عناصری مانند فضاهای سبز طبیعی، نور روز، آب‌نماها و مواد طبیعی در محیط ساخته شده، می‌توان محیط‌های زندگی سالم‌تر و حمایت‌کننده‌تری را ایجاد کرد که بر رفاه ساکنان تأثیر مثبت گذارد. از طرفی افزایش حضور عناصر طراحی بیوفیلیک در فضاهای شهری می‌تواند به ایجاد شهرهای پایدارتر و مردم‌محور کمک کند. شهرسازان و معماران مشهد با تمرکز بر کاهش استرس، بهبود تمرکز، تقویت شادی و ارتقای سلامت کلی و کیفیت زندگی از طریق مداخلات طراحی بیوفیلیک، می‌توانند به ایجاد رابطه هماهنگ‌تر بین ساکنین و محیط ساخته شده‌شان کمک کنند. تأکید بر اهمیت گنجاندن عناصر الهام‌گرفته از طبیعت در طراحی و زیرساخت شهر نه تنها باعث ارتقای سلامت جسمی و روانی می‌شود، بلکه زندگی و رضایت کلی جامعه را بهبود می‌بخشد و در نهایت منجر به بافت شهری بانشاط‌تر و مقاوم‌تر در مشهد می‌شود.

در پاسخ به سوال سوم پژوهش مبنی بر اینکه چگونه می‌توان اجرای اصول طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی مشهد را بهبود بخشید، بر اساس نتایج تحلیل و رتبه‌بندی تاپسیس انجام شده، مشهود است جنبه‌های مختلفی از طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی در مشهد وجود

دارد که جای کار قابل توجهی برای بهبود و پیشرفت دارد. این رتبه‌بندی هم نقاط قوت و هم نقاط ضعف بالقوه را در ادغام اصول طراحی بیوفیلیک نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در حالی که به نظر می‌رسد عناصری مانند نور طبیعی و ارتباط بصری با طبیعت نسبتاً به خوبی اجرا شده‌اند، اما تأثیراتی همچون کاهش استرس، افزایش تمرکز و رفاه کلی رتبه‌های پایین‌تری را به خود اختصاص دادند که نشان دهنده حوزه‌هایی است که در آن توجه و رسیدگی بیشتری نیاز است. به منظور پر کردن شکاف بین وضعیت فعلی و وضعیت بهینه اجرای طرح بیوفیلیک در معماری مسکونی در مشهد، می‌توان راهکارهای متعددی را در نظر گرفت. اولاً، تأکید بر استفاده از مواد طبیعی، گیاهان داخلی و فضاهای سبز در فضای باز می‌تواند ارتباط کلی با طبیعت را به طور قابل توجهی افزایش دهد و رفاه را ارتقاء دهد. علاوه بر این، بهینه‌سازی منابع نور طبیعی و ترکیب عناصر آبی در معماری به طور موثرتر می‌تواند محیط زندگی را بهبود بخشد. تلاش‌های مشترک میان معماران، برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران در ارتقای پذیرش اصول طراحی بیوفیلیک بسیار مهم است. ارائه آموزش در زمینه طراحی بیوفیلیک، تشویق، ترویج و تسهیل رویه‌های ساختمانی پایدار، و ترغیب به اخذ گواهینامه‌های ساختمان سبز، همگی می‌توانند به ارتقای ادغام طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی در مشهد کمک کنند.

علاوه بر این، به منظور ارتقای وضعیت فعلی طراحی بیوفیلیک در معماری مسکونی در مشهد به سطح بهینه، ضروری است ذینفعان ایجاد فضاهای زندگی کل‌نگر و الهام گرفته از طبیعت را در اولویت قرار دهند. تشویق به ادغام عناصر طراحی بیوفیلیک در طول فرآیند طراحی، از توسعه مفهوم تا ساخت، می‌تواند محیط ساخته شده را غنی کرده و کیفیت زندگی ساکنان را افزایش دهد. علاوه بر این، تقویت مشارکت جامعه و آگاهی در مورد مزایای طراحی بیوفیلیک به ایجاد حمایت از شیوه‌های معماری پایدار و طبیعت محور می‌تواند کمک کند. با استفاده از راهبردهای طراحی نوآورانه، ترویج زیرساخت‌های سبز و تقویت ارتباط عمیق‌تر با طبیعت در معماری مسکونی، مشهد می‌تواند به تحقق پتانسیل خود به عنوان شهری بیوفیلیک و پایدار نزدیک‌تر شود.

در این پژوهش، معیارهای مرتبط با طراحی معماری خانه‌های مشهد براساس نظرات ۱۰۵ نفر از کارشناسان ارزیابی شده‌اند. نتایج حاکی از اهمیت طرح و توسعه برخی معیارها از جمله ضروریات آب و گیاهان، نور طبیعی و ارتباط با طبیعت است. این معیارها به عنوان مهم‌ترین عوامل در طراحی خانه‌های پایدار در مشهد باید در دستور کار برنامه‌ریزان قرار گیرند. از سوی دیگر، وضعیت معیارهایی همچون صداهای طبیعی، پاسخ‌های عاطفی و تهویه طبیعی در رتبه‌های پایین‌تر و بحرانی توصیف شده است. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود در طراحی خانه‌های مشهد، توجه به این جنبه‌های محیطی و روان‌شناختی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، طراحان معماری باید در آینده به این موارد بیشتر توجه کنند تا بتوانند محیط‌های مسکونی سالم‌تر و با کیفیت‌تری را ایجاد نمایند.

در مجموع، نتایج این پژوهش به عنوان چارچوبی برای طراحی خانه‌های پایدار زیست‌محیطی در مشهد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. توجه به معیارهای بحرانی و نیمه‌بحرانی و همچنین بهبود موارد کم‌اهمیت‌تر، می‌تواند به ارتقای کیفیت زندگی ساکنان در این شهر منجر شود.

## منابع


۱. خداوردی‌جعفری، ناصر و یوسفی، عاطفه (۱۳۹۶). معماری بیوفیلیک و توسعه پایدار. تهران: سیمای دانش انتشارات آذر.

۲. رجبی‌پور، فاطمه، و دلشاد سیاهکلی، مهسا (۱۳۹۹). کنکاشی بر پاسخ‌دهی به بروز کفایت اجتماعی در محیط‌های یادگیری نوجوانان متاثر از نوع تجربیات طراحی در نگرش بیوفیلیک. فناوری آموزش، (شماره ۵۵)، ۷۲۳-۷۳۸.

۳. شاهچراغی، آزاده (۱۳۹۶)، محاط در محیط: کاربرد روانشناسی محیطی در معماری و شهرسازی. تهران: انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران.

۴. محمودی‌نژاد، هادی (۱۳۹۹). معماری بیوفیلی. تهران: انتشارات طحان.

5. Alam, M. (2023). Biophilic architecture and designs for mental well-being. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1218(1), 012020. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1218/1/012020/meta
6. Bahador, A., & Mahmudi Zarandi, M. (2024). Biophilic design: An effective design approach during pandemic and post-pandemic. Facilities, 42(1/2), 68-82. https://doi.org/10.1108/F-01-2023-0004
7. Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2018). TOPSIS strategy for multi-attribute decision making with trapezoidal neutrosophic numbers. Neutrosophic Sets and Systems, 19, 29-39.
8. Bromiley, P. A., Thacker, N. A., & Bouhova-Thacker, E. (2004). Shannon entropy, Renyi entropy, and information. Statistics and Information Series (2004-004), 92004, 2-8.
9. Browning, W., et al. (2014). 14 patterns of biophilic design: Improving health & well-being in the built environment. Terrapin Bright Green, LLC. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2008.04.024

**10.** Chawla, L. (2012). Biophilic design: The architecture of life. Children, Youth and Environments, 22(1), 346-347. https://doi.org/10.1353/cye.2012.0041
**11.** Derr, V., & Kellert, S. R. (2013). Making children's environments RED: Restorative environmental design and its relationship to sustainable design. In Proceedings of the 44th Annual Conference of the Environmental Design Research Association. Providence, Rhode Island. (Vol. 29).
**12.** Derr, V., & Lance, K. (2012). Biophilic boulder: Children's environments that foster connections to nature. Children, Youth and Environments, 22(2), 112-143. https://doi.org/10.7721/chilyoutenvi.22.2.0112
**13.** Kellert, S. R. (1993). The biological basis for human values of nature. In S. R. Kellert & E. O. Wilson (Eds.), The biophilia hypothesis (pp. 42-63). Washington, DC: Island Press.
**14.** Kellert, S. R. (2005). Coastal values and a sense of place. In D. M. Whitelaw & G. R. Visgilio (Eds.), America's changing coasts: Private rights and public trust (pp. 151-168). Edward Elgar Publishing.
**15.** Kellert, S. R. (2008). Dimensions, elements, and attributes of biophilic design. In S. R. Kellert et al. (2011). Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life (pp. 89-111). UK: John Wiley & Sons.
**16.** Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (Eds.). (1993). The biophilia hypothesis. Washington, DC: Island Press.
**17.** Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. London: Terrapin Bright LLC, 3, 21-46.
**18.** Kellert, S., & Finnegan, B. (2011). Biophilic design: The architecture of life. [60-minute video]. Retrieved from www.bullfrogfilms.com
**19.** Pandita, D., & Choudhary, H. (2024). Biophilic designs: A solution for the psychological well-being and quality of life of older people. Working with Older People. https://doi.org/10.1108/WWOP-01-2024-0003
**20.** Salingaros, N. A., & Masden, K. (2008). Chapter 5: Neuroscience, the natural environment, and building design. In S. R. Kellert et al. (2011). Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life (pp. 67-89). UK: John Wiley & Sons.
**21.** Untaru, E. N., Han, H., David, A., & Chi, X. (2024). Biophilic design and its effectiveness in creating emotional well-being, green satisfaction, and workplace attachment among healthcare professionals: The hospice context. HERD: Health Environments Research & Design Journal, 17(1), 190-208. https://doi.org/10.1177/19375867231192087