

Research Paper

## Adapting The Movement Pattern of The Moonflower with The Kinetic Algorithm of The Building Facade to Improve Thermal Performance

**Zahra Yarmahmoodi\***: Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

**Leila Jahedi**: Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Received: 2025/05/28 PP 55-68 Accepted: 2025/07/12

### Abstract

This research investigates the optimization of the thermal performance of building envelopes inspired by the movement of the Moonflower, specifically for the hot and arid climate of Yazd, Iran. The main challenge in such climates is to control solar radiation entering indoor spaces, reduce energy consumption, and enhance occupants' thermal comfort. The study proposes a novel approach by utilizing bionic algorithms and biomimicry, particularly the opening and closing mechanism of the Moonflower, to design dynamic building facades. The Moonflower exhibits unique motion in response to sunlight (phototropism) and gravity (geotropism), making it an ideal model for developing intelligent shading systems. The research first models the Moonflower's movement and then simulates its motion algorithm parametrically as a dynamic building envelope. Digital tools such as Rhino, Grasshopper, Ladybug, and Honeybee are used for modeling and solar energy analysis. Simulation results show that the Moonflower-inspired dynamic facade effectively controls the amount of solar radiation entering the building throughout different times of the day and year. In summer, the closed state of the facade prevents excessive heat gain, while in winter, the open state allows maximum sunlight penetration, thus reducing the need for mechanical cooling and heating and improving indoor thermal comfort. The study concludes that employing bionic approaches and biomimicry specifically, the Moonflower's adaptive behavior can serve as an efficient and innovative solution for climate-responsive and sustainable architectural design. This method not only optimizes energy consumption and enhances thermal comfort but also provides a visually dynamic and adaptable building envelope that responds in real-time to environmental changes. In summary, the research demonstrates the potential of nature-inspired kinetic facades in addressing the challenges of hot and arid climates, offering practical strategies for energy-efficient and comfortable buildings.

**Keywords:** Movement Algorithm of the Façade, Moonflower, Building Façade, Thermal and Visual Behavior Bionic Patterns, Biomimetic Patterns.

**Citation:** Yarmahmoodi, Z., Jahedi, L. (2025). **Adapting The Movement Pattern of The Moonflower with The Kinetic Algorithm of The Building Facade to Improve Thermal Performance**, *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 3 (9), 55-68.

\* **Corresponding author:** Zahra Yarmahmoodi, **Email:** z.yarmahmoodi@iau.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Optimization of the thermal behavior of buildings is one of the fundamental challenges in contemporary architecture aimed at reducing the consumption of non-renewable energy and increasing the thermal comfort of occupants. The building facade, as the main interface between interior spaces and external environmental conditions, plays an important role in controlling solar radiation, natural ventilation, and heat. However, traditional and fixed facades are often no longer capable of responding to a wide range of rapid climatic changes, leading to energy waste and thermal discomfort.

Given the role of building envelopes and their significant impact on thermal and cooling loads, visual comfort, and building energy consumption, controlling the amount of lighting, thermal load, and directing it to the required spaces according to temporal and spatial conditions, lighting season, geographical location, geometry, dimensions, and correct positioning of openings is considered a design challenge. In this regard, the application of bionic patterns in controlling and improving thermal behavior is very important because these patterns are inspired by mechanisms and behaviors observed in nature, thus offering the most optimal thermal performance. Since organisms in nature have regained their complexity and adaptability functionally and practically over many years within the natural environment, modern design has shifted towards bionic strategies to optimize energy consumption and significantly reduce thermal loads. Consequently, this effectively lowers temperature, which also impacts adjacent spaces within a certain range.

Nature, with its intelligent and adaptive motion mechanisms, offers successful examples of self-regulating environmental conditions. Plants such as Sunflower, Morning glory, and Moonflower optimally control light exposure and temperature through their regular and purposeful movements. Mimicking the intelligent movements of plants as motion algorithms for building facades can enable the design of dynamic, smart facades that automatically respond to climatic changes in real time. This approach could provide a

tangible solution to the core research question: How can the behavioral pattern of the Moonflower inform the design of facade shading to improve thermal behavior, visual comfort, energy efficiency, and occupants' thermal comfort? Addressing this requires developing algorithmic models and parametric simulations to regulate facade movements in response to environmental temperature and radiation changes. Consequently, designers must expand their perspective toward nature to incorporate broader ecological concepts into design. The movement algorithms of plants and their active interaction with external environmental factors represent a novel approach to creating responsive facades. The hot, arid climate of Yazd has been selected as the design context for optical analysis, as field studies and biological research may help align the Moonflower's movement patterns with facade algorithms.

In the contemporary era, with the increasing consumption of non-renewable energy sources, adequate thermal comfort for users has still not been fully achieved. This has led to the growing acceptance of approaches that offer efficient solutions for optimizing energy consumption in the design of building facades. Since the building facade serves as the boundary between the interior and exterior spaces and plays a significant role in the building's thermal behavior, innovative improvements in its design quality can substantially contribute to reducing energy consumption.

Among these approaches, biomimicry drawing inspiration from natural structures, which are accessible optimized systems proves effective in enhancing thermal efficiency and optimization. Considering the importance of the issue, the overarching goal of the present research is to design a building facade aimed at improving visual and thermal comfort. In this context, the plant pattern of the Moonflower has been selected as the source of inspiration for the kinetic algorithm of the facade, as plants play a significant active role in reducing thermal loads, especially in facade design.

### Methodology

To evaluate the effectiveness of the idea in the present research, a digital modeling and simulation process was utilized using the Grasshopper plugin in Rhino 6 software, along

with modeling and optical analyses conducted through the Honeybee and Ladybug plugins.

## Results and discussion

As the name suggests, the Moonflower opens at moonrise and closes in the presence of sunlight. Therefore, its movement pattern involves avoiding exposure to sunlight, with its petals rotating inward toward the center to open and close. Applying this movement pattern in designing the kinetic algorithm for smart building facade panels can be an effective and efficient approach to improving the quality of light control entering the interior space.

## Conclusion

The results confirm that the shading device reduces the energy absorbed by the transparent surfaces of the building facade by 50% when fully open, 63% when half-open, and 77% when closed. Additionally, the shading device decreases daylight penetration by 48% in the fully open state, 80% when closed, and 62% when half-open, demonstrating effective performance in the hot and dry climate of Yazd.

## References

- Bano, F., & Sehgal, V. (2019). Finding the gaps and methodology of passive features of building envelope optimization and its requirement for office buildings in India. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 66–93. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.11.004>
- Climate Yazd, averages - Weather and Climate. (n.d.). Retrieved February 14, 2023, from <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,Yazd,Iran>
- Farshi Haghi, Z., Mahmoudnejad, H., Naseri, G., & Dadashi, M. (2021). Understanding the applicability of biomimicry knowledge in architectural design training with a deductive approach of nature. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 9(2), 112–197. 20.1001.1.25886274.1400.9.2.6.0 [In Persian]
- Ghasnbaran, A., & Aminpour, A. (2014). Assessment of thermal behavior of double skin façade in the climate of Tehran. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 1(2), 43–53. 20.1001.1.25886274.1392.1.2.4.2 [In Persian]
- Ghoddosifar, S. M., & Faramarzi Asl, M. (2022). Analyzing the double skin facade moving in the efficiency of energy consumption in residential buildings sustainability in Tabriz city. *Sustainability, Development & Environment*, 3(4), 21–41. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_21574.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_21574.html) [In Persian]
- Hosseini, S. M., Fadli, F., & Mohammadi, M. (2021). Biomimetic kinetic shading facade inspired by tree morphology for improving occupant's daylight performance. *Journal of Daylighting*, 8(1), 65–82. DOI:10.15627/jd.2021.5
- Jafarian, S., Sarkardehee, E., Monsefi Parapari, D., & Mojahedi, M. (2021). Investigating the effect of Flexible Lightweight Membrane Canopy in Order to Provide Thermal Comfort in Hot and Dry Climate. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 9(2), 47–64. DOI: 10.22061/jsaud.2021.7420.1795 [In Persian]
- Khatibi, A., Shahbazi, M., & Torabi, Z. (2022). Assessing the intensity of lighting in office spaces and provide an interventional Solution to reduce glare (Case study: An office building in Tehran). *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 10(2), 153–164. DOI:10.22061/jsaud.2022.8185.1928 [In Persian]
- Liu, Q., Han, X., Yan, Y., & Ren, J. (2023). A Parametric Design Method for the Lighting Environment of a Library Building Based on Building Performance Evaluation. *Energies*, 16(2), 832. DOI:10.3390/en16020832
- Lubis, B., Saputri, I. N., Ajartha, R., Bangun, S. M. B., Pranata, C., Purba, N., & Turnip, N. (2019). Anti-inflammatory activity test for ethanol extract Moon flower (*Tithonia diversifolia*) leaves to male white mice. *ICHIMAT*. DOI:10.5220/0009974705510557
- Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.039>
- Mangkuto, R. A., Koerniawan, M. D., & Yulianto, B. (2022). On the interaction between the depth and elevation of external shading devices in tropical daylit classrooms with symmetrical bilateral openings. *Buildings*, 12(6), 818. DOI:10.3390/buildings12060818
- Mohamed Abd El-Rahman, S., Ibrahim Esmail, S., Bakr Khalil, H., & El-Razaz, Z. (2020). Biomimicry inspired Adaptive Building Envelope in hot climate. *Engineering Research Journal*, 166, 30–47. DOI:10.21608/erj.2020.135274
- Moztarzadeh, H. (2016). Analysis of Physical Criteria of Urban Sustainable Communities emphasized on Iran hot and arid climate. *Journal of Sustainable Architecture and Urban*

- Design*, 3(2), 59–74. 20.1001.1.25886274.1394.3.2.6.8 [In Persian]
- Nadiri, P., Mahdavinejad, M., & Pilechiha, P. (2019). Optimization of building façade to control daylight excessiveness and view to outside. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(2), 161–168. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0022>
- Nasr, T., & Yarmahmoodi, Z. (2022). Comparison of the Fixed External Sun Shading Devices Performance in order to Daylight Control (Case Study: Southern Facade in Yazd Climate). *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(5), 33–45. <https://doi.org/10.30495/jest.2022.61515.5423> [In Persian]
- Nasr, T., Yarmahmoodi, Z., & Ahmadi, S. M. (2020). The Effect of Kinetic Shell's Geometry on Energy Efficiency Optimization Inspired by Kinetic Algorithm of Mimosa pudic. *Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 10(3), 219–230. 20.1001.1.23224991.1399.10.3.3.3 [In Persian]
- Razazi, S., Mozaffari Ghadikolaei, F., & Rostami, R. (2022). The effect of external and internal shading devices on energy consumption and co2 emissions of residential buildings in temperate climate. *Space Ontology International Journal*, 11(1), 75–89. <https://doi.org/10.22094/soij.2022.1950918.1476>
- Sadegh, S. O., Haile, S. G., & Jamshidzahi, Z. (2022). Development of two-step biomimetic design and evaluation framework for performance-oriented design of multi-functional adaptable building envelopes. *Journal of Daylighting*, 9(1), 13–27. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2022.2> [In Persian]
- Safaeetabar, M. (2018). Analysis and construction of parametric patterns to create second facades to control the light in the interior of the housing. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 5(2), 15–26. 20.1001.1.25886274.1396.5.2.2.8 [In Persian]
- Shajari, S., Behbahaninia, A., & Ebdali Susan, A. (2022). Estimation of Greenhouse Gas Reduction Potential by Optimizing Energy Consumption in Office Building in Tehran Using Energy Plus Software. *Sustainability, Development & Environment*, 3(1), 1–11. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_20070.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_20070.html) [In Persian]
- Tabares-Velasco, P. C., Christensen, C., & Bianchi, M. (2012). Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque wall assemblies. *Building and Environment*, 54, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.019>
- Wagdy, A., Elghazi, Y., Abdalwahab, S., & Hassan, A. (2015). The balance between daylighting and thermal performance based on exploiting the kaleidocycle typology in hot arid climate of Aswan, Egypt. In *AEI*, 300–315. <https://doi.org/10.1061/9780784479070.028>
- Yarmahmoodi, Z. (2024). Adaptation of the behavior pattern of saffron with the movement algorithm of the kinetic shading device for daylight control. *Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism Development*, 3(2). <https://doi.org/10.71882/jisaud.2024.1106194> [In Persian]
- Yarmahmoodi, Z., & Moztarzadeh, H. (2024). Modeling Movable Shading Device in Shiraz Climate for Energy Consumption (Inspired by The Sunflower Movement Algorithm). *J. Env. Sci. Tech.*, 26(5), 119–127. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/836947> [In Persian]
- Yarmahmoodi, Z., & Nasr, T. (2023). Designing Convertible Structure for building façade to control daylight (Case study: Snasprdragon). *Journal of Sustainable Architecture and Environment (JSAE)*, 1(1), 73–92. <https://sanad.iau.ir/en/Article/782691?FullText=FullText> [In Persian]
- Yarmahmoodi, Z., Nasr, T., & Moztarzadeh, H. (2023). Algorithmic Design of Building Intelligent Facade to Control the Daylight Inspired by the Rafflesia Flower Kinetic Pattern. *Naqshejahan-Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 1–24. 20.1001.1.23224991.1402.13.2.1.0 [In Persian]
- Yarmahmoodi, Z., Nasr, T., & Moztarzadeh, H. (2023). Modeling a Kinetic Smart Shell to Optimize Daylight Inspired by the Movement Algorithm of Carnivorous Plant. *Life Space Journal*, 3(1). 10.22094/ljsj.2023.704902 [In Persian]
- Yarmahmoodi, Z., Nasr, T., & Moztarzadeh, H. (2024). Adaptation of the smart canopy movement algorithm for building facades to the behavioral pattern of Oxalis plant for daylight control (Case study: Shiraz city). *Journal of Designing and Planning in Architecture and Urbanism*, 2(3), 66–85. <https://doi.org/10.71930/dpau.2024.1045628> [In Persian]
- Yzadi, Y., Shemirani, S. M. M., & Etesam, I. (2021). An Investigation of the Relation between the Structural Components of the Vernacular Houses in Hot and Arid Areas in Iran. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 18(96), 59–76. <https://doi.org/doi:10.22034/bagh.2020.170445.3984>

- Zabardast, A., & Darskhan, R. (2021). Explaining the components of achieving sustainable environmental development in the urban management structure of Tabriz metropolis. *Sustainability, Development & Environment*, 2(3), 21–40. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_19243.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_19243.html) [In Persian]
- Zare'ei, M. I. & Mirdehghan Ashkezari, S. F. (2019). Investigating the Interaction between the Residential Architecture Principles in Muzaffarids and Qajar Eras in Yazd from the Perspective of the Solar Energy Orientations. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 12(27), 87-98. doi: 10.22034/aaud.2019.92451
- Zarkesh, A., Mahyari, H., & Mahdavinejad, M. (2022). An intelligent adaptive skin from a biomimetic approach for energy consumption reduction. *Hoviatshahr*, 14(4), 23-35. DOI:10.30495/hoviatshahr.2022.64865.12140



## مقاله پژوهشی

# تطبیق الگوی حرکتی گل مهتاب با الگوریتم حرکتی پوسته‌ی نمای ساختمان در راستای بهبود رفتار حرارتی

زهرا یارمحمودی<sup>۱</sup>: گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

لیلا جاهدی: گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷ صص ۶۸-۵۵ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱

## چکیده

در دوران معاصر با افزایش مصرف روزافزون انرژی‌های تجدیدناپذیر، همچنان آسایش حرارتی مناسب برای کاربران وجود نداشته، همین امر باعث شده رویکردهایی که در بهینه‌سازی مصرف انرژی راهکارهایی کارآمدند در طراحی پوسته‌های نمای مورد اقبال واقع شوند. از آنجا که پوسته ساختمان به عنوان مرز بین فضای داخل و خارج نقش مهمی در رفتار حرارتی ساختمان دارد، لذا ابتکارهای نوین در کیفیت طراحی آن نقش قابل توجهی در کاهش مصرف به ارمغان خواهد آورد. در این میان الگوگیری از ساختار طبیعت که از سیستم‌های بهینه قابل دسترس می‌باشد، در افزایش کارایی و بهینه‌سازی حرارتی مثمرتر است. باتوجه به ضرورت مسئله، هدف کلان پژوهش حاضر، طراحی پوسته‌ی نمای ساختمان در راستای بهبود آسایش بصری حرارتی است. ضمن اینکه، الگوی گیاهی (گل مهتاب) به عنوان منبع الهام در الگوریتم حرکتی پوسته انتخاب شده، چراکه گیاهان کنشگری قابل توجهی در کاهش بار حرارتی فضا به‌خصوص در طراحی نمای ساختمان دارند. به منظور بررسی کارایی ایده در پژوهش حاضر از فرایند دیجیتال مدلسازی-شبیه‌سازی، توسط افزونه‌ی گرس‌هاپر در نرم‌افزار راینو ۶ و مدلسازی توسط افزونه‌ی هانی‌بی و لیدی‌باگ در تحلیل‌های نوری بهره‌برداری شده است. گل مهتاب چنانچه از وجه تسمیه آن نیز برمیاید به هنگام طلوع ماه، باز شده و در حضور خورشید بسته می‌شود، لذا الگوی رفتارحرکتی آن دوری از حضور در برابر آفتاب و حرکت چرخشی گلبرگ‌ها به سمت مرکز آن، باز و بسته می‌شود. کاربست این الگوی حرکتی در طراحی الگوریتم حرکتی پنل‌های پوسته‌های هوشمند ساختمان می‌تواند در بهبود کیفی کنترل ورود نور به فضای داخلی کارآمد و بهینه باشد. نتیجه به دست آمده مؤید این مطلب است که سایبان در حالت باز ۵۰ درصد، در حالت نیمه‌باز ۶۳ درصد، در حالت بسته ۷۷ درصد، از انرژی جذب شده توسط سطوح شفاف نمای ساختمان و سایبان در حالت باز ۴۸ درصد، در حالت بسته ۸۰ درصد و در حالت نیمه باز ۶۲ درصد از میزان ورود نور روز کاسته و دارای عملکرد مطلوب در اقلیم گرم و خشک یزد است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم حرکتی پوسته، گل مهتاب، نمای ساختمان، رفتار حرارتی و بصری، الگوهای بیونیک.

**استناد:** یارمحمودی، زهرا و جاهدی، لیلا (۱۴۰۴). تطبیق الگوی حرکتی گل مهتاب با الگوریتم حرکتی پوسته‌ی نمای ساختمان در راستای بهبود رفتار حرارتی، فصلنامه معماری و محیط پایدار، ۳ (۹)، ۶۸-۵۵

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول: زهرا یارمحمودی، پست الکترونیکی: [z.yarmahmoodi@iau.ir](mailto:z.yarmahmoodi@iau.ir)

## مقدمه

بهینه‌سازی رفتار حرارتی ساختمان‌ها یکی از چالش‌های اساسی در معماری معاصر در راستای کاهش مصرف انرژی تجدید ناپذیر و افزایش آسایش حرارتی ساکنین محسوب می‌شود. پوسته‌ی نمای ساختمان به عنوان واسطه اصلی بین فضاهای داخلی و شرایط محیطی بیرونی، نقش مهمی در کنترل تابش خورشید، تهویه طبیعی و انتقال حرارتی ایفا می‌کند. با این حال، نماهای ثابت و سنتی اغلب دیگر قادر به پاسخگویی به طیف وسیعی از تغییرات پر سرعت شرایط اقلیمی نمی‌باشند، لذا منجر به اتلاف انرژی و نارضایتی حرارتی می‌شوند. با توجه به نقش پوسته‌ی نمای ساختمان‌ها و تاثیر قابل توجهی که بر میزان بار حرارتی، برودتی، آسایش بصری و مصرف انرژی ساختمان دارند؛ لکن کنترل میزان روشنایی، بار حرارتی و همچنین هدایت آن به فضاهای مورد نیاز متناسب با شرایط زمانی و مکانی، فصل روشنایی، موقعیت جغرافیایی، هندسه، ابعاد و موقعیت صحیح قرار گیری بازشوها جزو چالش‌های طراحی محسوب می‌شود. در این راستا کاربرد الگوهای بیونیک در کنترل و بهبود رفتار حرارتی بسیار اهمیت داشته چراکه این الگوها الهام گرفته شده از سازوکارها و رفتارهای دانسته شده از طبیعت می‌باشد، لذا بهینه‌ترین عملکرد حرارتی را خواهند داشت و از آنجا که ارگانسیم‌های موجود در طبیعت طی سالیان سال پیچیدگی و تطبیق پذیری خود را به لحاظ عملکردی و کاربردی در بستر طبیعت بازایی کرده‌اند لذا طراحی امروزه به سمت استراتژی‌های بیونیک متمایل شده تا ضمن بهینه سازی مصرف انرژی تأثیر قابل توجهی هم در کاهش میزان بار حرارتی داشته باشد، بنابراین در کاهش درجه حرارت موثر واقع شده که همین امر بر فضاهای مجاور در یک محدوده نیز تأثیرگذار بوده؛ پس استفاده از الگوهای بیونیک در کنترل رفتار حرارتی ساختمان ضرورت چشمگیری داشته چراکه طیف وسیعی از راهبردها امکان طراحی ساختمان‌هایی هوشمند، پایدار و کم‌مصرف را فراهم می‌آورند که با شرایط زیست محیطی کاملاً هماهنگ و سازگار بوده و آسایش حرارتی ساکنان را بهبود می‌بخشند؛ علاوه بر اینکه تامین روشنایی فضاها را به شکلی طبیعی و کارآمد تضمین می‌نماید. از آنجا که امروزه اکثر افراد بیشتر ساعات روز خود را در فضای داخلی می‌گذرانند و با توجه به اینکه نمای ساختمان هم معمولاً به صورت تمام شفاف طراحی می‌شود، مشکلاتی را فراروی کاربر ترسیم کرده که شامل: افزایش خیرگی (خطیبی و همکاران، ۱۴۰۱) و بار سرمایش و گرمایش و کاهش آسایش حرارتی کاربران می‌شود (نصر و یارمحمودی، ۱۴۰۱) و (قدوسی‌فر و فرامرزی اصل، ۱۴۰۰) و (شجری و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین تامین روشنایی فضای داخل نیز برای استفاده کاربران حائز اهمیت است. همین امر نشان دهنده‌ی ضرورت طراحی نما به صورت هوشمند جهت کنترل ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان است (صفایی تبار و همکاران، ۱۳۹۶) و (زبردست و درسخوان، ۱۴۰۰). نمای ساختمان مرز بین فضای داخل و خارج ساختمان است (قنبران و حسین پور، ۱۳۹۳) و طراحی صحیح آن، همواره به عنوان یکی از دغدغه‌های طراحان مطرح شده است. زیرا با کنترل ورود نور روز توسط سایبان (مضطرزاده و حجتی، ۱۳۹۴) و (جعفریان و همکاران، ۱۴۰۰)، کاهش مصرف انرژی در ساختمان نیز حاصل می‌شود. بنابراین هدف کلان پژوهش حاضر طراحی سایبان هوشمند نما با الهام از الگوی گیاهی (گل مهتاب) در جهت کنترل نور روز است. زیرا طبیعت دارای راه‌حل‌های زیادی در راستای حل مسائل موجود در معماری است (فرشی حقی و همکاران، ۱۴۰۰). به علاوه، طبیعت زنده است و نسبت به محیط پیرامون واکنش نشان می‌دهد. طبیعت با سازوکارهای حرکتی هوشمند و تطبیقی که داراست، می‌تواند نمونه‌های موفقی از تنظیم خودکار شرایط محیطی را ارائه دهد. گیاهانی مانند گل آفتابگردان، نیلوفر و مهتاب با حرکت‌های منظم و هدفمند خود، میزان تابش نور و دما را به صورت بهینه کنترل می‌کنند. الگوبرداری از حرکات هوشمندانه گیاهان به عنوان الگوریتم‌های حرکتی پوسته‌های نما می‌تواند امکان طراحی نماهای پویا و هوشمند را فراهم آورد که به صورت خودکار و در لحظه به تغییرات اقلیمی پاسخ دهند این رویکرد می‌تواند به عنوان پاسخی واقعی به مسئله اصلی تحقیق پیش رو که چگونگی الگوی رفتاری گل مهتاب در راستای طراحی سایبان نما در بهبود رفتار حرارتی، آسایش بصری، کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی ساکنین است را فراهم آورد. این موضوع نیازمند توسعه مدل‌های الگوریتمیک و شبیه‌سازی‌های پارامتریک است که بتوانند حرکات پوسته نما را به گونه‌ای تنظیم کنند تا در برابر تغییرات دمایی و تابشی محیط واکنش مناسبی نشان دهند؛ لذا این امر مستلزم این است که طراح نگرش خود را به طبیعت گسترش داده تا بتواند مفاهیم وسیع تری از اکولوژی محیط را در طراحی بگنجانند از این‌رو الگوریتم حرکتی گیاهان و کنشگری فعال آنها نسبت به عوامل خارجی و محیطی به عنوان رویکردی جدید در پوسته‌ی نمایی و تبدیل آن به نمایی کنشگر قابل ارزیابی خواهد بود. اقلیم گرم و خشک یزد نیز به عنوان بستر طراحی جهت انجام تحلیل نوری انتخاب شده چراکه به نظر می‌رسد با مطالعه‌ی میدانی و پژوهش‌های زیست‌شناسان بتوان الگوی حرکتی گل مهتاب را با الگوریتم حرکتی پوسته‌ی نما تطابق داده و در نهایت به سایبان نمای سازگار با محیط خارج و مورد نیاز کاربران دست پیدا کرد.

## پیشینه و مبانی نظری تحقیق

باتوجه به اهمیت موضوع ذکر شده برای معماران، پژوهش‌های زیادی تاکنون در حیطه‌ی طراحی پوسته‌ی هوشمند نمای ساختمان انجام شده که نمونه‌های خارجی تحقیقات صورت گرفته در ده سال اخیر در بخش روش پژوهش جهت اعتبارسنجی ابزار تحلیل نور روز مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش به بررسی نمونه‌های داخلی پرداخته شده است. به عنوان مثال: نصر و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «تاثیر هندسه پوسته متحرک بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گیاه قهر و آشتی» به بررسی رفتار حرکتی گیاه قهر و آشتی پرداختند. این گیاه نسبت به لمس عوامل خارجی حساس است و با برخورد شی به سطح آن، برگ‌های گیاه به طور متوالی بسته شده و بعد از گذشت زمان دوباره باز می‌شود. درنهایت از الگوی حرکتی گیاه جهت طراحی نمای هوشمند ساختمان در راستای کنترل نور روز بهره گرفته است (نصر و همکاران، ۱۴۰۱). یارمحمودی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «طراحی الگوریتمیک نمای هوشمند ساختمان در جهت کنترل نور روز با الهام از الگوی حرکتی گل زنبق» به بررسی رفتار حرکتی گل زنبق بدبو پرداختند. این گل دارای پنج گلبرگ است که گلبرگ‌های روبه‌روی هم به ترتیب بسته شده و درنهایت گلبرگ پنجم بر روی گلبرگ‌های بسته شده، قرار می‌گیرد. از الگوی حرکتی گل زنبق جهت طراحی سایبان استفاده شده است (یارمحمودی و همکاران، ۱۴۰۳). رزازی و مظفری در مقاله‌ای تحت عنوان «پوسته‌های سازگار و انطباق‌پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت»، به بررسی چند نوع گیاه مانند کاکتوس و غیره پرداختند و در نهایت متناسب با اقلیم‌های گوناگون مدل سایبان هوشمند ارائه شده است (Razazi et al., 2022). مهیاری و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «ارائه یک پوسته تطبیق‌پذیر هوشمند با رویکرد بیومیمتیک جهت کاهش مصرف انرژی»، با بررسی گیاه پونه کوهی به طراحی سایبان جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان پرداختند (Zarkesh et al., 2022). بنابراین نتایج حاصل از بررسی پیشینه‌ی پژوهش حاکی از آن است که گیاهان دارای ماهیت ایستا و تطبیق‌پذیر هستند و الگوی مناسبی به عنوان منبع الهام طراحی سایبان نما جهت انطباق با محیط پیرامون محسوب می‌شوند. علاوه‌بر آن، پژوهش حاضر از نظر کاربری و رویکرد نوآورانه است.

## معماری بایونیک

معماری بایونیک<sup>۱</sup> به معنای بهره‌گیری از طبیعت به عنوان منبع الهام طرح است. فرآیند طراحی با رویکرد بایونیک به دو دسته تقسیم می‌شود. روش اول، دغدغه‌های موجود در طراحی را یافته و به دنبال راهکار طراحی در طبیعت است. به این رویکرد «طراحی با نگاه بیولوژی» گویند. از مزایای این رویکرد که بیشتر مربوط به حوزه‌ی مهندسی می‌باشد، کاربردی بودن آن و از معایب این رویکرد، زمانبر بودن آن را می‌تواند نام برد. رویکرد دوم در ابتدا یک سیستم بیولوژیکی را مورد بررسی قرار داده و قواعد کشف شده را وارد حوزه‌ی مهندسی می‌کند. این رویکرد «بیولوژی موثر در طراحی» نام دارد. رویکرد دوم فرآیند طراحی معماری بایونیک، دقیقاً عملکرد برعکس رویکرد اول را دارد. رویکرد دوم، آزمایشگاهی است و به زیست‌شناسان و جانورشناسان برای شناخت سیستم بیولوژی نیاز است. طراحی پوسته‌ی متحرک نما در پژوهش حاضر با رویکرد اول انجام شده است. زیرا چالش محور است و برای حل آن نیاز به منبع الهام در طبیعت دارد (Sadegh et al., 2022). از بین موجودات زنده، گیاهان می‌توانند منبع الهام مناسبی برای طراحی سایبان هوشمند نمای ساختمان باشند؛ زیرا در جای خود توسط ریشه ثابت هستند، با وجود این، می‌بایست نسبت به تغییر شرایط پیرامون مانند: دما، رطوبت، نور و غیره واکنش نشان دهند. همین امر باعث ایجاد واکنش‌های منحصربه‌فرد گیاه به تغییرات محیط پیرامون می‌شود (Mohamed Abd El-Rahman et al., 2020). نمای ساختمان نیز مرز بین فضای داخل و خارج ساختمان است و مانند عملکرد گیاهان نیاز است که نسبت به تغییرات محیطی (نور، باد، باران و غیره) و نیاز کاربران واکنش نشان دهد تا بتواند آسایش بصری و حرارتی کاربران ساختمان را فراهم کند.

## گل مهتاب

گل مهتاب، به دلیل باز شدن در شب، به گل ماه نیز معروف است (Lubis et al., 2019). گل مهتاب یک گیاه چندساله است که از تابستان تا پاییز، گل‌های سفید و معطر آن از غروب تا نیمه روز باز می‌ماند. حرکت باز و بسته شدن گیاه توسط فیتوکروم‌ها اتفاق می‌افتد (Mohamed Abd El-Rahman et al., 2020). فیتوکروم‌ها در حقیقت سلول‌های حساس به نور خورشید هستند. در ادامه شکل یک، قرار دارد که نشان دهنده‌ی فرم و الگوی حرکتی باز و بسته شدن گل مهتاب است.

<sup>۱</sup> Bionic Architecture



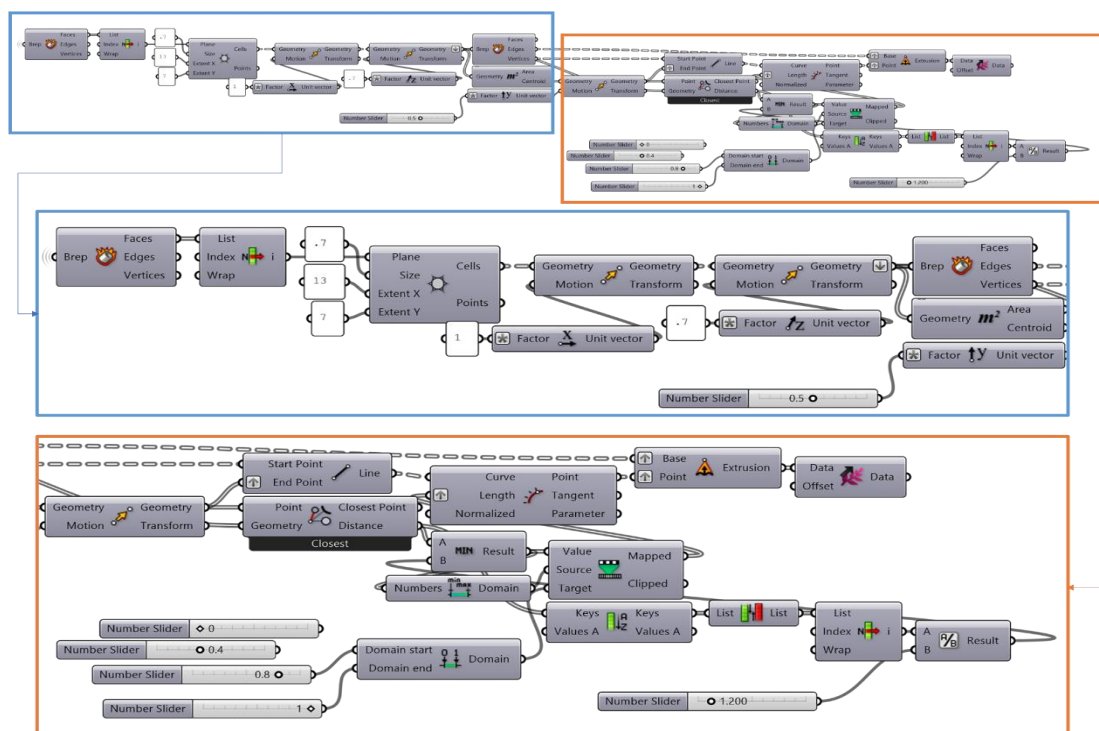
شکل ۱. فرم باز و بسته شدن گل مهتاب

باتوجه به شکل یک، گل مهتاب دارای حرکت باز و بسته شدن منحصربه‌فرد است که در طراحی پوسته‌ی نمای ساختمان می‌توان از آن بهره گرفت. در ادامه خصوصیات گیاه در جدول یک، مطرح شده است.

جدول ۱. خصوصیات گل مهتاب

| خصوصیات                 | توضیحات                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| فتوتروپیسم <sup>۱</sup> | به واکنش حرکتی گیاه نسبت به نور خورشید گفته می‌شود که می‌تواند به دنبال نور باشد و یا از آن دوری کند. گل مهتاب به هنگام دیده شدن ماه، باز شده و با حضور خورشید بسته می‌شود، بنابراین از خورشید دوری می‌کند. <sup>۲</sup> |
| ژئوتروپیسم <sup>۳</sup> | واکنش حرکتی گیاه نسبت به نیروی جاذبه زمین گفته می‌شود. گل مهتاب به سمت بالا و برخلاف جاذبه زمین حرکت می‌کند. <sup>۴</sup>                                                                                                |

براساس مطالعات صورت گرفته در حیطه‌ی گل مهتاب در ادامه شکل دو، نشان دهنده‌ی الگوریتم حرکتی پوسته‌ی نما می‌باشد که از فرم و مکانیزم حرکتی گل مهتاب الگوبرداری شده است.



شکل ۲. الگوریتم حرکتی پوسته‌ی هوشمند نمای ساختمان

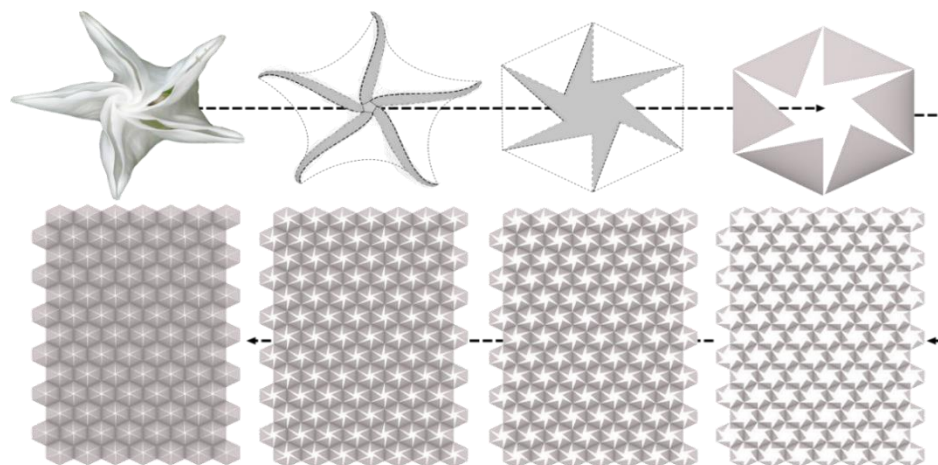
<sup>۱</sup> Phototropism

<sup>۲</sup> Negatively Phototropic.

<sup>۳</sup> Geotropism

<sup>۴</sup> Negatively Geotropic.

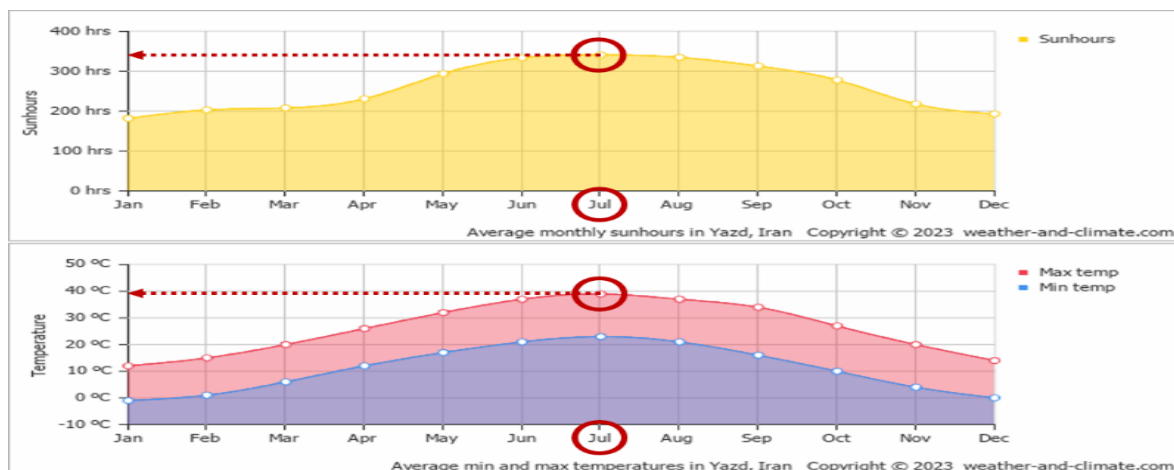
همان‌طور که در شکل دو، نشان داده شده است. در ابتدا ساختمان مدل شده و بر روی نمای جنوبی، پوسته‌ای که از شبکه‌ی شش ضلعی تشکیل شده، طراحی شده است. پس از آن راس‌های شش ضلعی به مرکز متصل شده و پنل‌های مثلثی شکل ایجاد شده است. در نهایت با الگوریتم‌نویسی به صورت پارامتریک، پنل‌ها حول مرکز به صورت چرخشی باز و بسته می‌شوند. در ادامه شکل سه، قرار دارد که نشان دهنده‌ی نحوه‌ی الهام گرفتن از فرم و مکانیزم حرکتی گل مهتاب و مدل نهایی پنل پوسته‌ی نما است.



شکل ۳. مدلسازی پوسته‌ی نما با منبع الهام گل مهتاب

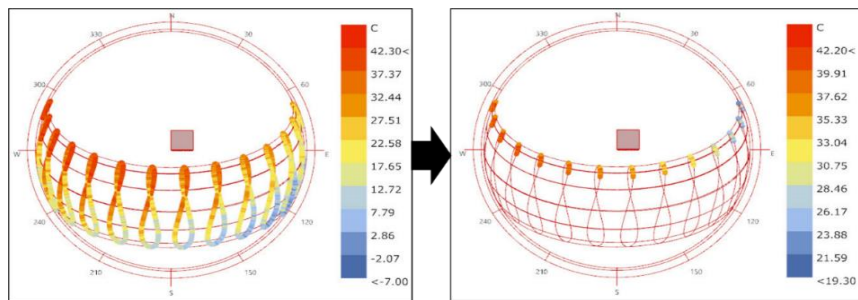
### تحلیل وضعیت اقلیمی

شهر یزد دارای آب و هوای گرم و خشک است (Yzadi et al., 2021) و باتوجه به شکل چهار، حداکثر دما مربوط به ماه تیر می‌باشد (یارمحمودی و همکاران، ۱۴۰۳). این نوع اقلیم دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۸).



شکل ۴. به ترتیب از بالا به پایین، تعداد ساعات تابش خورشید و حداکثر و حداقل دما در شهر یزد (Climate Yazd, Averages - Weather and Climate, n.d.)

همین امر باعث شده که ساختمان‌ها در تابستان نیاز به سایبان نما داشته تا ورود نور خورشید به فضای داخلی ساختمان کنترل شده و دمای فضای داخل کاهش یابد و به همراه آن استفاده از سیستم سرمایشی و مصرف انرژی کاهش می‌یابد. در فصل زمستان، این فرآیند تغییر کرده و سایبان‌های نما باید بتوانند، ورود نور خورشید به فضای داخل را به حداکثر برسانند تا گرمای فضای داخل بیشتر شده و استفاده از سیستم گرمایشی کاهش یابد. نتایج حاصله حاکی از آن است که مطلوب است که در این اقلیم از سایبان متحرک بهره گرفته شود تا در فصول مختلف متناسب با نیاز کاربران و تغییر شرایط محیطی منطبق شود و کاهش مصرف انرژی را به همراه داشته باشد. بنابراین سایبان‌های ثابت باوجود اقتصادی بودن، سهولت در اجرا و کارایی مطلوب در فصول سرد سال دارای عملکرد نامطلوب بوده و همین مسئله باعث عدم سودمندی این نوع سایبان برای اقلیم گرم و خشک است.



شکل ۵. مسیر حرکت خورشید و جهت‌گیری ساختمان در شهر یزد

### مواد و روش تحقیق

باتوجه به هدف کلان پژوهش حاضر که طراحی پوسته‌ای اقلیمی نما با الهام از الگوی حرکتی گل مهتاب جهت کنترل نور روز فضای داخل در اقلیم یزد است، در نتیجه روش پژوهش به صورت مدل‌سازی-شبیه‌سازی با ماهیت ترکیبی (کمی-کیفی) است. به این صورت که مدل‌سازی پوسته با نرم‌افزار راینو<sup>۱</sup> و افزونه‌ی گرس‌هاپر<sup>۲</sup> انجام شده و در نهایت تحلیل‌های نور روز توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ<sup>۳</sup> و هانی‌بی<sup>۳</sup> انجام شده است. لازم به ذکر است که موتور تحلیل نور افزونه‌های ذکر شده، انرژی پلاس است (Bano & Sehgal, 2019) که در سال ۲۰۱۱ توسط بخش انرژی آمریکا گسترش یافته و مورد تایید است (Tabares-Velasco et al., 2012). بنابراین ابزار انتخاب شده جهت تحلیل نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان دارای اعتبار است. در ادامه جدول دو، قرار دارد که نشان دهنده‌ی پژوهش‌های صورت گرفته در ده سال اخیر با رویکرد مشابه، پژوهش حاضر است.

جدول ۲. پژوهش‌های با رویکرد مشابه پژوهش حاضر

| منبع                      | ابزار پژوهش        | تصویر | رویکرد                       |
|---------------------------|--------------------|-------|------------------------------|
| (Liu et al., 2023)        | لیدی باگ           |       | کنترل ورود نور روز           |
| (Mangkuto et al., 2022)   | لیدی باگ           |       | بهینه‌سازی نور روز           |
| (Sadegh et al., 2022)     | انرژی پلاس و دیوا  |       | آسایش بصری و کنترل نور روز   |
| (Hosseini et al., 2021)   | لیدی باگ و هانی بی |       | آسایش حرارتی و بصری          |
| (Nadiri et al., 2019)     | لیدی باگ و هانی بی |       | آسایش بصری                   |
| (Mahmoud & Elghazi, 2016) | دیوا               |       | بهینه‌سازی نور روز           |
| (Wagdy et al., 2015)      | دیوا               |       | آسایش حرارتی و کنترل نور روز |

<sup>۱</sup> Grasshopper Plugin

<sup>۲</sup> Ladybug Plugin

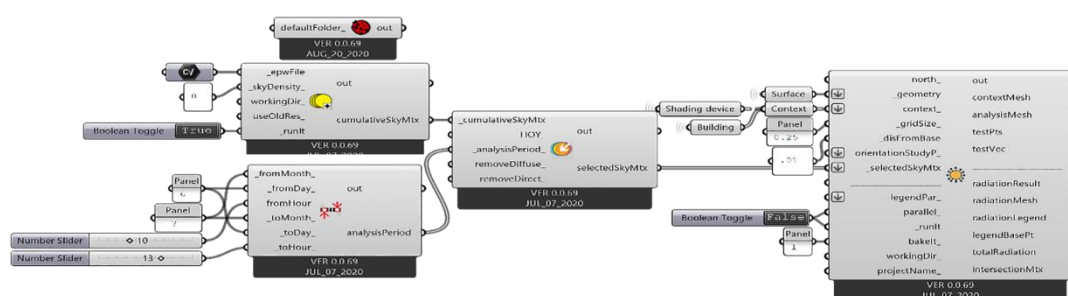
<sup>۳</sup> Honeybee Plugin

## بحث و ارائه یافته‌های تحقیق

این بخش به دو دسته‌ی مدل‌سازی-شبیه‌سازی تقسیم شده است. به این صورت که در ابتدا الگوی حرکتی گل مهتاب توسط نرم‌افزار راینو ۶ و افزونه‌ی گرس‌هپر جهت مدل‌سازی پوسته، الگوریتم نویسی شده و در نهایت توسط افزونه‌ی هانی‌بی تحلیل در صد نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان و توسط افزونه‌ی لیدی‌باگ، در صد انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان بدست آمده است. ساختمان فرض شده در پژوهش حاضر با ابعاد ۱۰ در ۱۰ متر و ارتفاع ۱۴ متر به صورت مکعب مستطیل در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ابعاد انتخاب شده، دلیل خاصی نداشته و صرفاً ابعاد فرضی جهت انجام تحلیل‌های مربوط به پژوهش می‌باشد، بنابراین سایر پژوهشگران و یا طراحان، می‌توانند این ابعاد را متناسب با تحقیق و پروژه‌ی خود، تنظیم و تغییر دهند.

## تحلیل انرژی تابشی

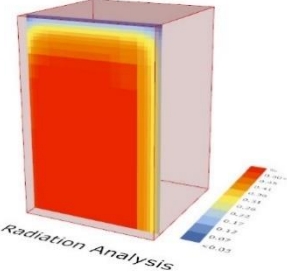
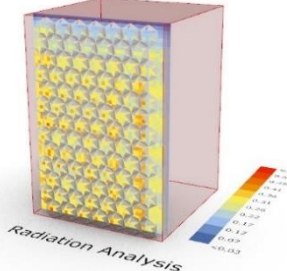
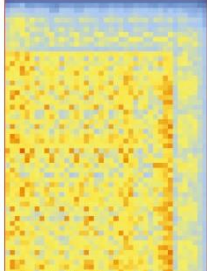
در این بخش برای تحلیل انرژی تابشی از افزونه‌ی لیدی‌باگ بهره گرفته شده است. به این صورت که با الگوریتم نویسی تحلیل انرژی تابشی مانند شکل شش، داده‌هایی مانند جداره‌های زون حرارتی، سطح شفاف نمای جنوبی ساختمان و پوسته‌ی متحرک به همراه فایل اطلاعات آب و هوایی و غیره به الگوریتم داده شده و اطلاعات به صورت کمی و کیفی بدست آمده است.

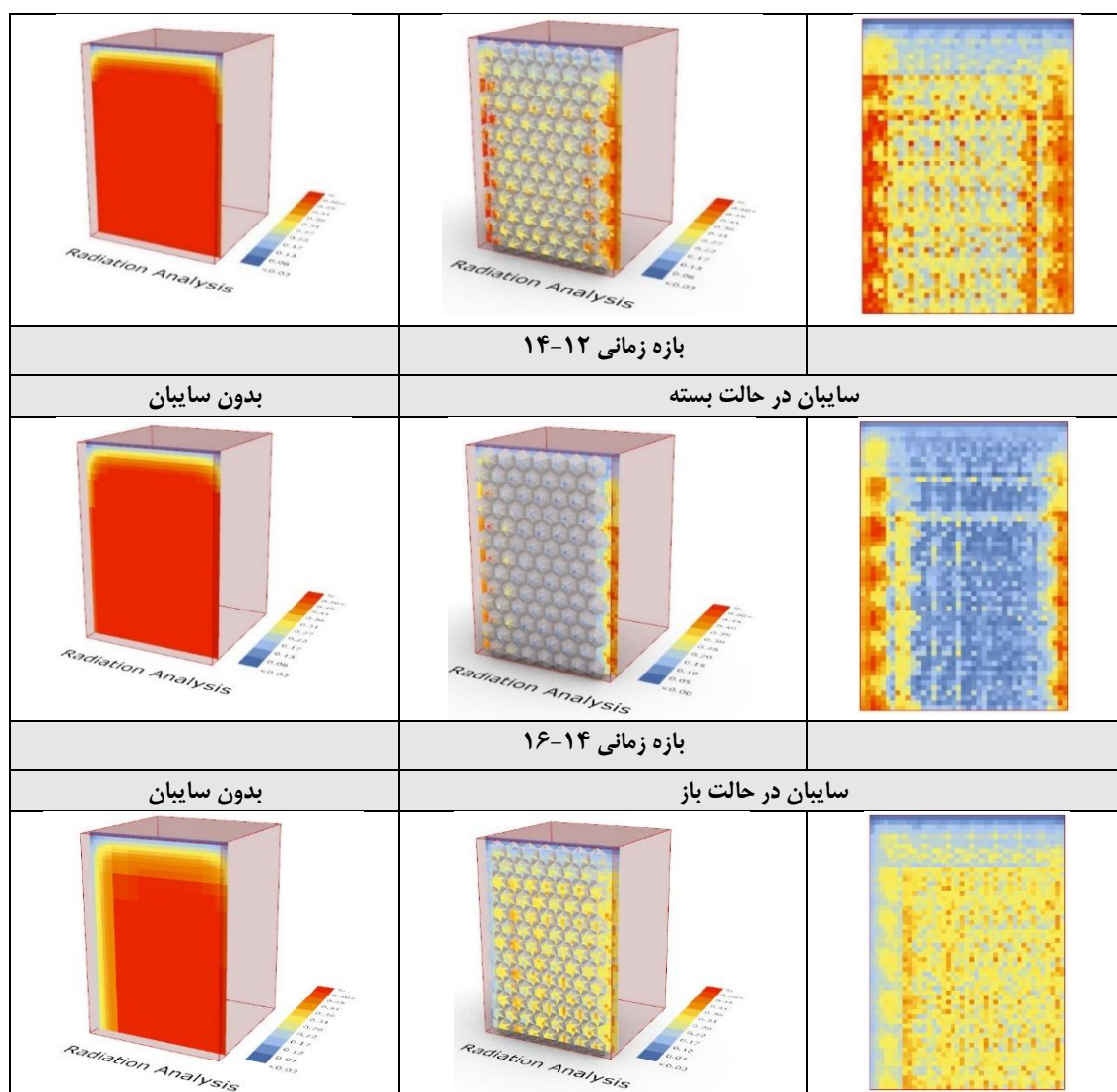


شکل ۶. الگوریتم تحلیل انرژی تابشی

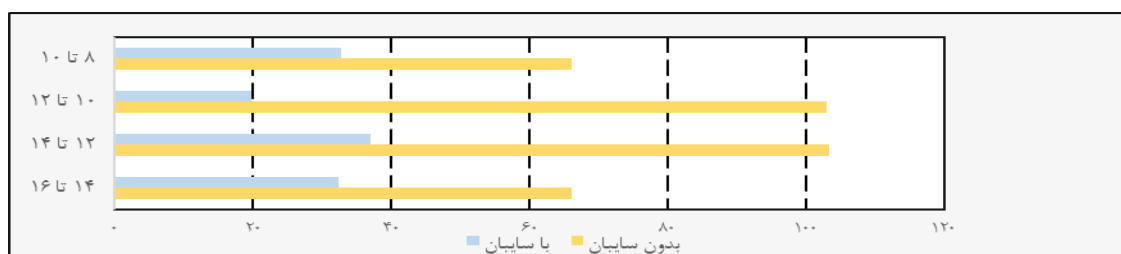
بنابراین در ادامه داده‌های بدست آمده به صورت کیفی مطرح شده است. به این صورت که از چپ به راست به ترتیب انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان بدون سایبان، با سایبان در حالت پرسپکتیو و نما نشان داده شد است. لازم به ذکر است که پوسته‌ی نما از ساعت ۸ تا ۱۰ در حالت پنل‌ها به صورت باز، در ساعت ۱۰ تا ۱۲ در حالت نیمه‌باز، در حالت ۱۲ تا ۱۴ که بیشترین تابش خورشید را به همراه دارد در حالت بسته و در نهایت از ساعت ۱۴ به بعد که تابش آفتاب کاهش پیدا می‌کند تا ساعت ۱۰ صبح روز بعد می‌تواند در حالت باز قرار گیرد.

جدول ۳. تحلیل انرژی تابشی نمای جنوبی ساختمان

| بازه زمانی ۸-۱۰                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| بدون سایبان                                                                         | سایبان در حالت باز                                                                  |                                                                                       |
|  |  |  |
| بازه زمانی ۱۰-۱۲                                                                    |                                                                                     |                                                                                       |
| بدون سایبان                                                                         | سایبان در حالت نیمه باز                                                             |                                                                                       |



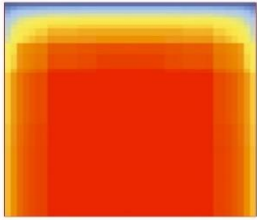
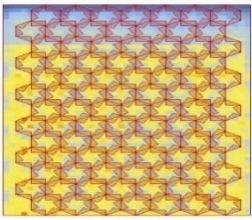
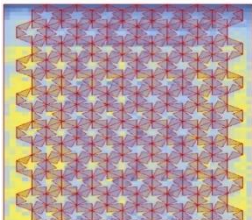
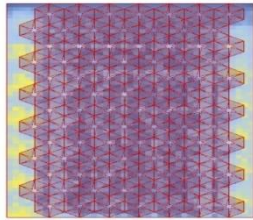
نتایج حاصل از جدول سه، حاکی از آن است که سایبان در تمام حالات پنل‌ها توانسته عملکرد مطلوبی ارائه دهد و طیف رنگی نمای ساختمان از رنگ قرمز و نارنجی به زرد تبدیل شده است. در ادامه شکل هفت، قرار دارد که نشان دهنده‌ی مقایسه‌ی درصد جذب انرژی تابشی توسط سطح شفاف نمای ساختمان در ساعت‌ها و حالت‌های مختلف سایبان است.



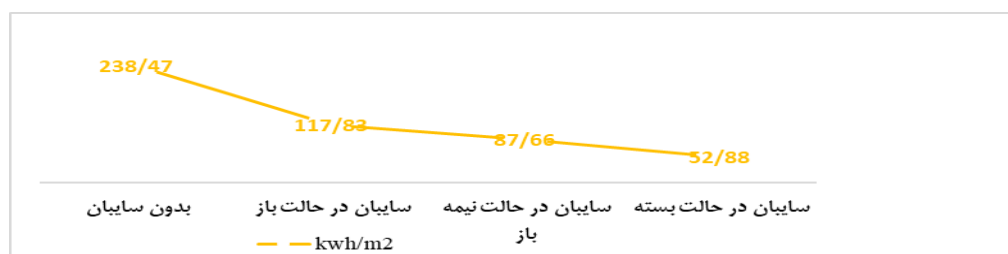
شکل ۷. مقایسه‌ی درصد جذب انرژی تابشی توسط سطح شفاف نمای ساختمان

باتوجه به اینکه مقایسه‌ی بالا در حالت‌های مختلف سایبان و بازه زمانی‌های متفاوت انجام شده است، بنابراین برای مقایسه‌ی حالت‌های مختلف سایبان، بازه‌ی زمانی ۸ تا ۱۶، ۱۰ مردادماه به صورت مشابه انتخاب شده که در ادامه در جدول چهار، نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه‌ی حالت‌های مختلف سایبان با حالت بدون سایبان

| از ساعت ۸ تا ۱۶، ۱۰ مرداد در اقلیم یزد                                            |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| بدون سایبان                                                                       | سایبان در حالت باز                                                                | سایبان در حالت نیمه باز                                                            | سایبان در حالت بسته                                                                 |
|  |  |  |  |

نتایج حاصل از جدول چهار، حاکی از آن است که سایبان در حالت باز برای فصول سرد سال و در حالت نیمه‌باز و بسته برای فصول گرم سال دارای عملکرد مطلوب است. در ادامه انرژی تابشی جذب شده توسط سطح نمای ساختمان در حالت‌های مختلف جدول چهار، به صورت کمی مطرح شده است.

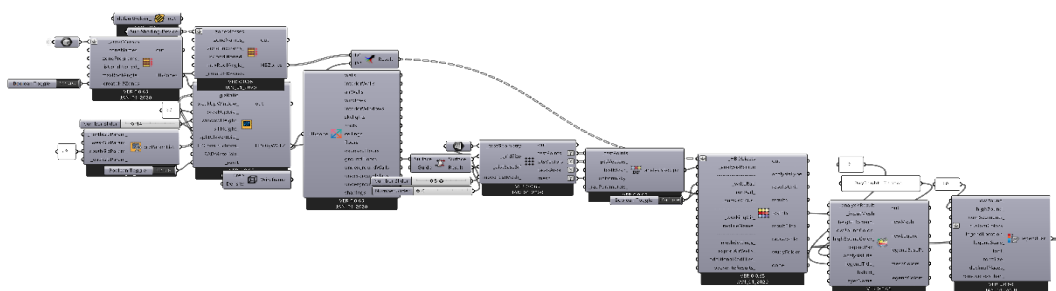


شکل ۸. انرژی تابشی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان در حالت‌های مختلف سایبان

باتوجه به نمودار هشت، می‌توان نتیجه گرفت که سایبان در حالت باز ۵۰ درصد، در حالت نیمه‌باز، ۶۳ درصد و در حالت بسته ۷۷ درصد از انرژی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان کاسته و دارای عملکرد مطلوب در اقلیم گرم و خشک یزد در راستای کنترل نور روز فضای داخلی ساختمان است.

### تحلیل نور روز

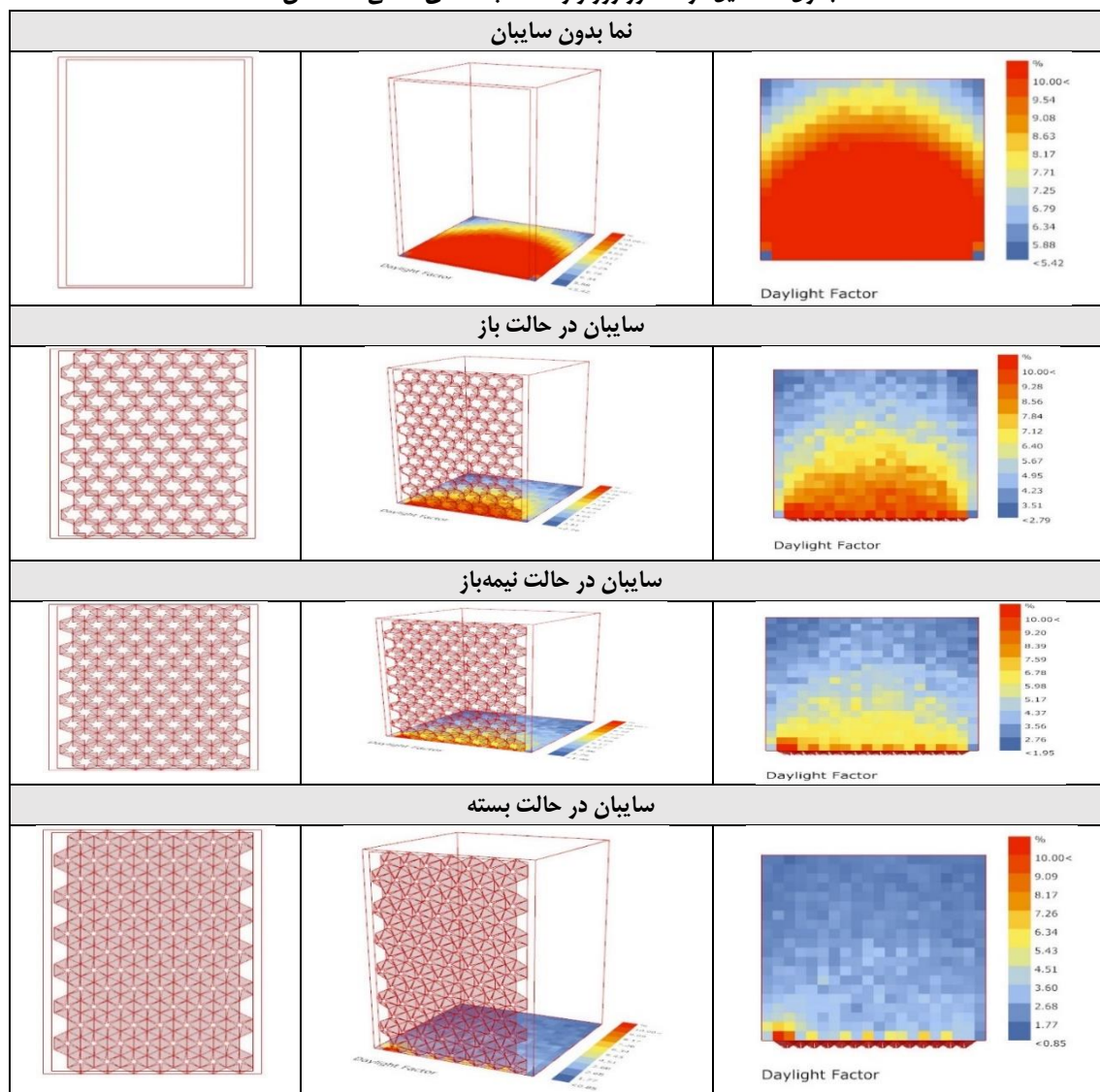
در این قسمت، الگوریتم تحلیل نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان توسط افزونه‌ی هانی‌بی مطرح شده است. علاوه‌بر آن اطلاعاتی مانند: داده‌ی آب و هوایی یزد، ساختمان، نمای جنوبی، سایبان و غیره به الگوریتم افزوده شده است.



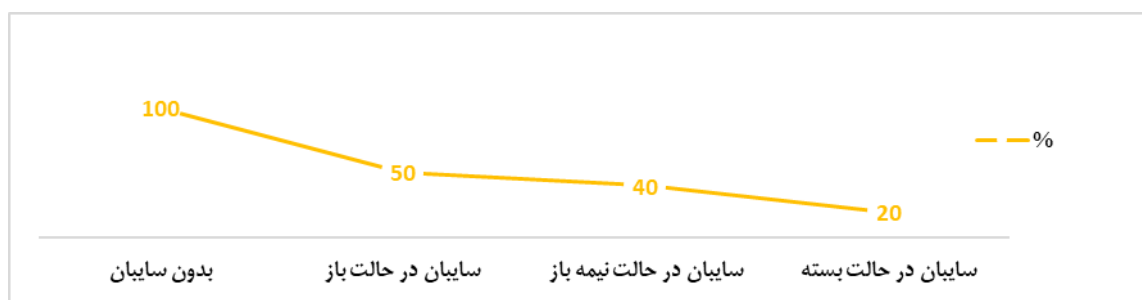
شکل ۹. الگوریتم تحلیل نور روز توسط افزونه‌ی هانی‌بی

بنابراین با وارد کردن اطلاعات مطرح شده، درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان، بدست آمده که در جدول پنج، به ترتیب از چپ به راست، نما، پرسپکتیو و پلان زون حرارتی، قرار داده شده است.

جدول ۵. تحلیل درصد نور روز وارد شده به فضای داخلی ساختمان



نتایج حاصل از جدول پنج، حاکی از آن است که هر چه طیف رنگی به سمت قرمز متمایل شود، فضای داخلی درصد دریافت نور خورشید بیشتر دارد و هر چه رنگ زرد بیشتر باشد، علاوه بر کاهش دریافت نور روز، روشنایی مطلوب فضای داخلی، حفظ شده است. در نهایت هر چه به رنگ آبی نزدیکتر باشد، به معنای آن است که، نور ورودی برای فراهم کردن روشنایی فضای داخل ساختمان کافی نیست. در ادامه درصد دریافت نور روز به فضای داخلی ساختمان مطرح شده است.



شکل ۱۰. درصد ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان

نتایج حاصله از شکل ده، حاکی از آن است که سایبان در حالت باز، می‌تواند عملکرد مناسبی برای فصول سرد سال داشته باشد. زیرا با کنترل ورود نور روز و کاهش خیرگی، می‌تواند روشنایی و کاهش بار گرمایش را به همراه داشته باشد. علاوه بر آن، سایبان در حالت نیمه‌باز برای فصول گرم سال دارای عملکرد مطلوب است که در ساعات تابش زیاد خورشید با زاویه‌ی مایل مانند ۱۲ تا ۱۴ پل‌های سایبان جهت کاهش خیرگی و دمای فضای داخل و بار سرمایشی می‌تواند در حالت بسته قرار گیرد. در نهایت لازم به ذکر است که سایبان در حالت باز ۴۸ درصد، در حالت بسته ۸۰ درصد و در حالت نیمه باز ۶۲ درصد از میزان ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان کاسته و دارای بازده عملکردی بالا در راستای کنترل ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان دارد.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

پوسته ساختمان به‌عنوان خارجی‌ترین لایه که بیشترین کنشگری را با عوامل خارجی دارد از اجزای مهم ساختمان محسوب شده و نقش مهمی در آسایش بصری، ورود نور و بار حرارتی ساختمان را برعهده دارد. در این میان پوسته به‌عنوان بیرونی‌ترین بخش از دیرباز نقش زیبایی بخشیدن به ساختمان را نیز برعهده داشته با پیشرفت فناوری‌های نوین در طراحی پوسته ساختمان امروزه طراحی نماها به صورت پارامتریک و سازگار با محیط پیرامون مورد اهمیت قرار گرفته است. یکی از رویکردهای نوآورانه‌ای که در این زمینه مطرح شده، بهره‌گیری از طبیعت در طراحی است (معماری بایونیک) که پتانسیل زیادی برای ارائه طراحی ساختارهای بهینه دارد طبیعت می‌تواند الگوی شایسته‌ای در مباحث مصالح، ساختار، سیستم‌ها و مکانیزم‌ها و مباحث زیبایی شناختی باشد که با الهام از فرایندهای طبیعی و بکارگیری در طراحی آنها به تولید ساختمان‌هایی با کاهش بار مصرفی و پایدار بیانجامد. چراکه از هر نقصی طبیعت میراست و همواره به دنبال انطباق با محیط پیرامون است و الگوهای حرکتی زیادی در این راستا ارائه داده است. بنابراین در پژوهش حاضر الگوی حرکتی گل مهتاب که به صورت چرخشی باز و بسته می‌شود به عنوان منبع الهام طراحی پوسته‌ی هوشمند نمای ساختمان انتخاب و در نما بازآفرین شده است. به این صورت که الگوی رفتاری گل توسط نرم‌افزار راینو۶ و افزونه‌ی گرس‌هاپر به الگوریتم حرکتی پوسته‌ی نما تبدیل شده و تحلیل‌های نور روز توسط افزونه‌ی هانی‌بی و لیدی‌باگ انجام شده است. نتایج حاصل حاکی از آن است که سایبان در حالت باز ۵۰ درصد، در حالت نیمه‌باز، ۶۳ درصد و در حالت بسته ۷۷ درصد از انرژی جذب شده توسط سطح شفاف نمای ساختمان و سایبان در حالت باز ۴۸ درصد، در حالت بسته ۸۰ درصد و در حالت نیمه باز ۶۲ درصد از میزان ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان کاسته و دارای عملکرد مطلوب در اقلیم گرم و خشک یزد در راستای کنترل ورود نور روز به فضای داخلی ساختمان است.

### منابع

۱. زارعی، محمد ابراهیم و میردهقان اشکذری، سید فضل‌اله. (۱۳۹۸). بررسی تعامل اصول معماری مسکونی دوره‌های آل مظفر و قاجار شهر یزد از منظر جهت‌گیری با انرژی خورشیدی. معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۲(۲۷)، ۸۷-۹۸. doi: 10.22034/aaud.2019.92451
۲. زبردست، علیرضا و درسخوان، رسول. (۱۴۰۰). تبیین مولفه‌های دستیابی به توسعه پایدار محیطی در ساختار مدیریت شهری کلانشهر تبریز. پایدار، توسعه و محیط زیست، ۳(۲)، ۴۰-۴۰. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_19243.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_19243.html)
۳. جعفریان، سپیده؛ سرکرده‌ئی، الهام؛ منصفی پراپری، دانیال و مجاهدی، محمدرضا. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر سایه‌بان غشایی سبک انعطاف‌پذیر در ایجاد آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک. معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۲)، ۶۴-۴۷. doi: 10.22061/jsaud.2021.7420.1795
۴. خطیبی، اشکان؛ شهبازی، مجید و ترابی، زهره. (۱۴۰۱). ارزیابی شدت روشنایی در فضاهای اداری و ارائه راهکار مداخله گرانه برای کاهش خیرگی در آنها (موردپژوهی: یک ساختمان اداری در تهران). معماری و شهرسازی پایدار، ۱۰(۲)، ۱۵۳-۱۶۴. doi: 10.22061/jsaud.2022.8185.1928
۵. شجری، سعید؛ بهبهانی نیا، آریتا و عبدالی سوسن، اشکان. (۱۴۰۱). برآورد پتانسیل کاهش گازهای گلخانه‌ای از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان اداری در شهر تهران با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس. پایدار، توسعه و محیط زیست، ۱(۳)، ۱-۱۱. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_20070.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_20070.html)
۶. صفایی تبار، مژده؛ فرحزاد، نریمان و کوششگران، علی اکبر. (۱۳۹۶). تحلیل و ساخت الگوهای پارامتریک در ایجاد نمای دوم به منظور کنترل نور در فضای داخلی مسکن. معماری و شهرسازی پایدار، ۵(۲)، ۱۵-۲۶. doi: 20.1001.1.25886274.1396.5.2.2.8
۷. فرش حقی، زهره؛ محمودی نژاد، هادی؛ ناصری، غلامحسین و داداشی، مهدی. (۱۴۰۰). ارزیابی کاربست دانش بیومیمیکری در آموزش طراحی معماری با روش قیاس از طبیعت. معماری و شهرسازی پایدار، ۹(۲)، ۹۷-۱۱۲. doi: 10.22061/jsaud.2021.7748.1859
۸. قنبران، عبدالحمید و حسین پور، امین. (۱۳۹۳). بررسی رفتار حرارتی نماهای دپوسته در اقلیم شهر تهران. معماری و شهرسازی پایدار، ۱(۲)، ۴۳-۵۳. doi: 20.1001.1.25886274.1392.1.2.4.2.43

۹. قدوسی فر، سیدمهدی و فرامرزی اصلی، مهسا. (۲۰۲۲). تحلیل نمای دو پوسته متحرک در بهره‌وری مصرف انرژی در پایداری ساختمانهای مسکونی شهر تبریز. پایداری، توسعه و محیط زیست، ۴(۳)، ۲۱-۴۱. [https://jsde.srbiau.ac.ir/article\\_21574.html](https://jsde.srbiau.ac.ir/article_21574.html)
۱۰. مضطرزاده، حامد و حجتی، وحیده. (۱۳۹۴). تحلیل و ارزیابی معیارهای کالبدی پایداری در محلات شهری در اقلیم گرم و خشک ایران. معماری و شهرسازی پایدار، ۳(۲)، ۵۹-۷۴. 20.1001.1.25886274.1394.3.2.6.8
۱۱. نصر، طاهره و یارمحمودی، زهرا. (۱۴۰۱). مقایسه‌ی عملکرد انواع سایبان ثابت در جهت کنترل نور روز ساختمان (مطالعه موردی: جبهه‌ی جنوبی در اقلیم یزد). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۵(۲۴)، ۳۳-۴۵. <https://doi.org/10.30495/jest.2022.61515.5423>
۱۲. نصر، طاهره؛ یارمحمودی، زهرا و احمدی، سیدمحمد. (۱۳۹۹). تاثیر هندسه پوسته متحرک بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گیاه قهر و آشتی. نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۱۰(۳)، ۲۱۹-۲۳۰. 20.1001.1.23224991.1399.10.3.3.3
۱۳. یارمحمودی، زهرا؛ نصر، طاهره و مضطرزاده، حامد. (۱۴۰۳). انطباق الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان با الگوی رفتاری گیاه اگزالیس در راستای کنترل نور روز (نمونه‌موردی: شهر شیراز). طراحی و برنامه ریزی در معماری و شهرسازی، ۳(۲)، ۸۵-۶۶. <https://doi.org/10.71930/dpau.2024.1045628>
۱۴. یارمحمودی، زهرا؛ نصر، طاهره و مضطرزاده، حامد. (۱۴۰۲). طراحی سایبان متحرک در جهت کنترل نور روز در اقلیم گرم و نیمه‌خشک (با الهام از الگوی حرکتی گیاه گوشت‌خوار). فضای زیست، ۱(۳)، ۱۳۵-۱۵۸. 10.22094/laj.2023.704902
۱۵. یارمحمودی، زهرا؛ نصر، طاهره و مضطرزاده، حامد. (۱۴۰۲). طراحی الگوریتمیک نمای هوشمند ساختمان در جهت کنترل نور روز با الهام از الگوی حرکتی گل زنبق. نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۱۳(۲)، ۱-۲۴. 20.1001.1.23224991.1402.13.2.1.0
۱۶. یارمحمودی، زهرا و نصر، طاهره. (۱۴۰۲). بهره‌گیری از الگوی تغییرپذیر جهت طراحی پوسته‌ی ساختمان در راستای کنترل نور روز (نمونه‌موردی: گل میمون). معماری و محیط پایدار، ۱(۱). <https://sanad.iau.ir/fa/Article/782691?FullText=FullText>
۱۷. یارمحمودی، زهرا و مضطرزاده، حامد. (۱۴۰۳). ارائه مدل سایبان متحرک جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی با الهام از الگوریتم حرکتی گل آفتابگردان. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۵(۲۶)، ۱۱۷-۱۲۷. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/836947>
۱۸. یارمحمودی، زهرا. (۱۴۰۳). انطباق الگوی رفتاری گل زعفران با الگوریتم حرکتی سایبان هوشمند نمای ساختمان در راستای کنترل نور روز. مطالعات بین رشته‌ای در تعالی معماری و شهرسازی، ۲(۳)، ۷۹-۹۵. <https://sanad.iau.ir/Journal/jisaud/Article/1106194>
19. Bano, F., & Sehgal, V. (2019). Finding the gaps and methodology of passive features of building envelope optimization and its requirement for office buildings in India. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 66–93. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.11.004>
20. Climate Yazd, averages - Weather and Climate. (n.d.). Retrieved February 14, 2023, from <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,Yazd,Iran>
21. Hosseini, S. M., Fadli, F., & Mohammadi, M. (2021). Biomimetic kinetic shading facade inspired by tree morphology for improving occupant's daylight performance. *Journal of Daylighting*, 8(1), 65–82. DOI:10.15627/jd.2021.5
22. Liu, Q., Han, X., Yan, Y., & Ren, J. (2023). A Parametric Design Method for the Lighting Environment of a Library Building Based on Building Performance Evaluation. *Energies*, 16(2), 832. DOI:10.3390/en16020832
23. Lubis, B., Saputri, I. N., Ajartha, R., Bangun, S. M. B., Pranata, C., Purba, N., & Turnip, N. (2019). Anti-inflammatory activity test for ethanol extract Moon flower (*Tithonia diversifolia*) leaves to male white mice. *ICHIMAT*. DOI:10.5220/0009974705510557
24. Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.039>
25. Mangkuto, R. A., Koerniawan, M. D., & Yulianto, B. (2022). On the interaction between the depth and elevation of external shading devices in tropical daylight classrooms with symmetrical bilateral openings. *Buildings*, 12(6), 818. DOI:10.3390/buildings12060818
26. Mohamed Abd El-Rahman, S., Ibrahim Esmail, S., Bakr Khalil, H., & El-Razaz, Z. (2020). Biomimicry inspired Adaptive Building Envelope in hot climate. *Engineering Research Journal*, 166, 30–47. DOI:10.21608/erj.2020.135274
27. Nadiri, P., Mahdavej, M., & Pilechiha, P. (2019). Optimization of building façade to control daylight excessiveness and view to outside. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(2), 161–168. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0022>
28. Razazi, S., Mozaffari Ghadikolaei, F., & Rostami, R. (2022). The effect of external and internal shading devices on energy consumption and co2 emissions of residential buildings in temperate climate. *Space Ontology International Journal*, 11(1), 75–89. <https://doi.org/10.22094/soij.2022.1950918.1476>
29. Sadegh, S. O., Haile, S. G., & Jamshidzahi, Z. (2022). Development of two-step biomimetic design and

- evaluation framework for performance-oriented design of multi-functional adaptable building envelopes. *Journal of Daylighting*, 9(1), 13–27. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2022.2>
30. Tabares-Velasco, P. C., Christensen, C., & Bianchi, M. (2012). Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque wall assemblies. *Building and Environment*, 54, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.019>
  31. Wagdy, A., Elghazi, Y., Abdalwahab, S., & Hassan, A. (2015). The balance between daylighting and thermal performance based on exploiting the kaleidocycle typology in hot arid climate of Aswan, Egypt. In *AEI*, 300–315. <https://doi.org/10.1061/9780784479070.028>
  32. Yzadi, Y., Shemirani, S. M. M., & Etesam, I. (2021). An Investigation of the Relation between the Structural Components of the Vernacular Houses in Hot and Arid Areas in Iran. *The Monthly Scientific Journal of Baghe Nazar*, 18(96), 59–76. <https://doi.org/doi: 10.22034/bagh.2020.170445.3984>
  33. Zarkesh, A., Mahyari, H., & Mahdavinejad, M. (2022). An intelligent adaptive skin from a biomimetic approach for energy consumption reduction. *Hoviatshahr*, 14(4), 23–35. DOI:10.30495/hoviatshahr.2022.64865.12140

