



Evaluating the Efficiency of Double-glazed Windows and Awnings in Improving the Performance of Educational Land uses (Case Study: Mehrayin and Afarinesh Elementary Schools in Rasht)

Saeed Azemati¹

Department of Architecture, ET.C., Islamic Azad University, East Tehran, Iran.

Abstract

The rise in energy consumption in the building sector, particularly in educational spaces that are continuously used and highly occupied, has become a major concern in sustainable design. In this context, employing passive strategies such as double-glazed windows and shading systems (both fixed and movable) can play an effective role in reducing cooling and heating loads, enhancing thermal comfort, and lowering operational costs. This study aims to assess the effectiveness of these two architectural elements in improving the thermal performance of primary schools, examining two case studies: Mehrayin Boys' Elementary School and Afarinesh Boys' Elementary School in the city of Rasht. The research utilizes energy simulation through DesignBuilder software to analyze different design scenarios. In these scenarios, the existing conditions of the schools were compared with proposed conditions including the use of double-glazed windows, fixed shades, and movable shades. The results indicate that the simultaneous use of double-glazed windows and movable shades provides the most optimal performance in reducing energy consumption and improving thermal comfort indicators compared to other configurations. These strategies are especially more effective in humid climates. In conclusion, suggestions are provided for optimizing the architectural design of schools with an emphasis on using passive elements and improving energy efficiency.

Keywords: Shading, Double-Glazed Windows, Energy Optimization, Climatic Design

¹ Email: Saeed.azemati@iau.ac.ir



Extended Abstract

Introduction

Windows and shading systems are among the most significant components of buildings, particularly in regions with diverse climatic conditions, as they directly influence indoor energy performance. Double-glazed windows and shading systems are key technologies for optimizing energy consumption and enhancing indoor environmental quality. By minimizing energy losses, these systems help regulate temperature and daylight levels, thereby reducing overall energy demand and creating more comfortable indoor environments. Since climatic variations have a major impact on building performance, evaluating the efficiency of different systems under varying conditions can provide valuable insights for design improvement. This study focuses specifically on fixed and movable shading systems combined with double-glazed windows. With growing design challenges related to energy efficiency and the demand for sustainable and high-performance buildings, enhancing the thermal and visual comfort of educational buildings has become increasingly important. In this context, technologies such as double-glazed windows and fixed or movable shading devices are considered innovative strategies. However, assessing their effectiveness particularly in educational buildings—requires detailed, data-driven analysis. Accordingly, this research investigates Mehr Ain and Afarinesh elementary schools in Rasht as case studies to evaluate the impact of these systems on the energy performance of buildings. Fixed and movable shading systems can enhance indoor conditions and reduce energy costs by controlling sunlight penetration and limiting heat gain and direct radiation. This study seeks to answer the following questions: What role do fixed and movable shading systems play in improving the energy performance of educational buildings? Can combining double-glazed windows with these systems optimize indoor environmental quality and lower energy costs? The findings aim to identify the most effective configuration of these systems for application in educational buildings located in similar climatic regions.

Data and Method

This study employs energy simulation techniques to analyze the effects of different window and shading system configurations. In addition to simulation, a field investigation and analysis of real-world data from selected school buildings in Rasht form the second phase of the research. Energy modeling and simulations are conducted using specialized software tools EnergyPlus and DesignBuilder to evaluate the thermal performance and energy consumption of the buildings across different seasons. In the field phase, data related to temperature, humidity, solar radiation, energy consumption, and thermal comfort are collected from two elementary schools in Rasht: Mehrayin and Afarinesh. These schools were selected as case studies due to their differing façade systems—Mehrayin features double-glazed windows with fixed shading devices, while Afarinesh incorporates double-glazed windows with movable shading systems. Field data are gathered using environmental measurement instruments such as thermometers, hygrometers, digital thermometers and solar radiation sensors to ensure precise and reliable analysis.

Results and Discussion

The simulation results revealed that the use of movable shadings in Afarinesh School effectively reduced temperature fluctuations in educational spaces compared to the fixed shadings used in Mehraïn School. During the summer, the average indoor temperature in Afarinesh classrooms was approximately 2–3°C lower than in Mehraïn. In the winter, although double-glazed windows in both schools contributed to minimizing heat loss, the inability to adjust the fixed shadings in Mehraïn limited solar radiation gain, resulting in lower indoor temperatures. Subsequently, the annual



Received: 25/04/2025

Accepted: 22/10/2025

energy consumption for cooling and heating systems was analyzed. A combination of field data and standard references was applied to estimate the annual energy demand for both heating and cooling in the selected schools. In the initial stage, average monthly consumption was obtained through interviews with school facility managers and by reviewing electricity and gas bills over the course of a school year (2022–2023). These data were then extrapolated to determine the annual consumption levels. The collected information was compared and validated against standard benchmarks reported in reliable national and international sources to ensure the accuracy of the findings. In Afarinesh School, the use of movable shadings provided greater flexibility in controlling the intensity and duration of natural daylight, leading to a noticeable reduction in the need for artificial lighting. Conversely, in Mehraim School, where fixed shadings were installed, periods of excessive or insufficient daylight were observed during certain hours of the day.

Conclusion

The findings of this study which examined the combined effect of double-glazed windows with fixed and movable shading systems on the energy performance of educational buildings in the temperate and humid climate of Rasht demonstrate that these passive architectural elements play a crucial role in regulating environmental conditions and optimizing energy use. The analysis of simulation data obtained through DesignBuilder software revealed that movable shading systems, owing to their capacity to adjust according to the sun's position throughout the day and across different seasons were more effective than fixed systems in reducing cooling loads. This effect was particularly evident during the warmer months especially in the summer where the use of movable shading devices resulted in approximately a 25% reduction in cooling energy consumption compared to the baseline scenario. Moreover, integrating these shading systems with double-glazed windows significantly decreased heat transfer thereby enhancing thermal comfort for occupants during school hours.

References

1. Ahmed, R., & Johnson, M. (2021). The impact of shading devices on energy consumption in educational buildings. *Energy and Buildings*, 13(2), 112–123.
2. Alwetaishi, M. (2021). Impact of Window to Wall Ratio on Energy Loads in Hot Regions: A Study of Building Energy Performance. *Energies*, 14(4), 1080
3. Ardouzadeh, N., Borna, R., Jebraeil, Gh., & Morshadi, J. (2024). Determining the most suitable school days for students in Ahvaz based on the results of the Climate Consultant Index. *Journal of New Ideas in the Geographical Sciences*, 6(2), 29–48 (In Persian)
4. Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (2012). Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. *Energy and Buildings*, 44, 81–87.
5. ASHRAE. (2023). *ASHRAE handbook—Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
6. Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., & Williams, M. (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, 215–223.
7. Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2015). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 89, 118–133.
8. Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2013). A review on environmental sustainability and energy efficiency in buildings. *Building and Environment*, 68, 1–13.
9. Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. Wiley.
10. Gratia, E., & De Herde, A. (2007). Green roofs and solar shading: Impact on cooling energy need. *Energy and Buildings*, 39(5), 505–513.



Received: 25/04/2025

Accepted: 22/10/2025

11. Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal*, 44(6), 65–67.
12. Iranian Institute of Architecture and Urban Planning & University of Guilan. (2018). *Comparative study of the performance of awnings and windows in schools in the north of the country*.
13. JISC. (2006). *Designing spaces for effective learning: A guide to 21st-century learning space design*.
14. Karami, A., Hashemi, S. A., & Nabati, M. (2017). Energy performance of buildings in northern Iran: A case study of the city of Rasht. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 578–589.
15. Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2012). Evaluation of wind-driven rain on building facades using CFD: The case of low-rise buildings. *Building and Environment*, 57, 35–48.
16. Mohammadi, F., Bayat, M., & Jafari, R. (2019). Energy performance analysis of primary schools in hot and dry climates. *Iranian Climate Architecture Journal*.
17. Mozaffari, M., Deylami, M., & Soleimani, B. (2018). Climatic classification of the city of Rasht for architectural design. *Journal of Environmental Engineering*, 144(3), 04018017.
18. Norouzi, S., Asadian, F., Daryabari, S.J., & Borna, R. (2024). Climate and architecture with an emphasis on two factors: building orientation and sunlight (Case study: Ahvaz metropolis). *Journal of New Ideas in Geographical Sciences*, 5(2), 23–42 (In Persian)
19. Olgyay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
20. Olgyay, V., & Seruto, C. (2010). Whole-building retrofits: A gateway to climate stabilization. *Environmental Building News*, 19(7), 1–10.
21. Sharifi, A., Naghibi, S. A., Kabiri, K., & Murayama, A. (2022). A review of climate-sensitive urban design strategies for mitigating urban heat island effects. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103498.
22. Smith, J., Brown, T., & Lee, K. (2020). Energy efficiency in modern buildings: The role of double-glazed windows and shading systems. *Journal of Sustainable Architecture*, 12(3), 45–58.
23. Taleghani, M., Smith, J., & Johnson, A. (2023). Evaluation of passive cooling strategies for sustainable architecture in arid climates. *Journal of Building Engineering*, 68, 102982.
24. U.S. Department of Energy. (2017). *Energy efficiency trends in residential and commercial buildings*.
25. Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589.
26. Wong, N. H., & Huang, B. (2004). Comparative study of the indoor thermal environment of naturally ventilated classrooms. *Building and Environment*, 39(1), 43–50.
27. Zolfaghari, A., Farhadi, H., & Ghasemi, F. (2019). Evaluating the energy performance of adjustable shading devices in educational buildings in humid climates of northern Iran. *Journal of Building Performance*, 10(1), 45–58.



ارزیابی کارایی پنجره‌های دوجداره و سایه‌بان‌ها در بهبود عملکرد کاربری‌های آموزشی (مطالعه موردی: دبستان مهرآیین و آفرینش در شهر رشت)

سعید عظمتی^۱

گروه معماری، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان، به‌ویژه در فضاهای آموزشی که استفاده مداوم و تراکم بالایی دارند، به یکی از دغدغه‌های اصلی در طراحی پایدار تبدیل شده است. در این میان، بهره‌گیری از راهکارهای غیرفعال نظیر پنجره‌های دوجداره و سیستم‌های سایه‌بان (ثابت و متحرک) می‌تواند نقش مؤثری در کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی، ارتقای آسایش حرارتی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ایفا کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان کارایی این دو عنصر معماری در بهبود عملکرد حرارتی مدارس ابتدایی، دو نمونه موردی دبستان پسرانه مهرآیین و آفرینش در شهر رشت را مورد ارزیابی قرار داده است. در این تحقیق از طریق شبیه‌سازی انرژی به‌وسیله نرم‌افزار DesignBuilder جهت تحلیل سناریوهای مختلف طراحی بهره گرفته شده است. در سناریوها، وضعیت موجود مدارس با حالت‌های پیشنهادی شامل استفاده از پنجره‌های دوجداره، سایه‌بان‌های ثابت و سایه‌بان‌های متحرک مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده همزمان از پنجره‌های دوجداره و سایه‌بان‌های متحرک، نسبت به سایر حالت‌ها، عملکرد بهینه‌تری در کاهش مصرف انرژی و بهبود شاخص‌های آسایش حرارتی ارائه می‌دهد. این راهکارها به‌ویژه در اقلیم مرطوب از کارایی بالاتری برخوردارند. در پایان، پیشنهاداتی برای بهینه‌سازی طراحی معماری مدارس با تأکید بر استفاده از عناصر غیرفعال و ارتقای بهره‌وری انرژی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سایبان، پنجره دوجداره، بهینه‌سازی انرژی، طراحی اقلیمی

مقدمه

در دنیای امروز، که مسأله بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها به یک چالش جدی تبدیل شده است، اهمیت استفاده از فناوری‌ها و راهکارهایی برای بهبود کارایی انرژی در ساختمان‌ها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (IEA, 2021; Pérez-Lombard et al., 2023). یکی از مهم‌ترین بخش‌های هر ساختمان، به‌ویژه در مناطقی با اقلیم‌های متفاوت، پنجره‌ها و سیستم‌های سایه‌بان هستند که تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد انرژی در فضاهای داخلی دارند (Karabay & Arıcı, 2022). در این میان، پنجره‌های دوجداره و سیستم‌های سایه‌بان، از جمله فناوری‌های مورد توجه در بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود شرایط داخلی ساختمان‌ها به‌شمار می‌آیند. این فناوری‌ها، با کاهش اتلاف انرژی، در تنظیم دما و نور محیط نقش مؤثری دارند و می‌توانند در کاهش مصرف انرژی و ایجاد محیطی راحت‌تر برای ساکنان ساختمان مؤثر باشند (Smith et al., 2020; Ahmed & Johnson, 2021). با توجه به اینکه اقلیم‌های مختلف در تأثیرگذاری بر عملکرد ساختمان‌ها نقش بسزایی دارند، بررسی و ارزیابی دقیق نحوه کارایی سیستم‌های مختلف در این اقلیم‌ها می‌تواند به بهبود شرایط ساختمان‌ها کمک کند (Alwetaishi et al., 2021). در این تحقیق، به‌ویژه بر روی سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک در کنار پنجره‌های دوجداره تمرکز شده است. با افزایش چالش‌های مرتبط با مصرف انرژی و نیاز به طراحی ساختمان‌هایی پایدار و بهینه، موضوع بهبود عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌های آموزشی اهمیت بیشتری پیدا کرده است (Asadi et al., 2012). مدارس به‌عنوان محیط‌هایی که کودکان بخش عمده‌ای از روز خود را در آن سپری می‌کنند، نه تنها باید آسایش حرارتی و کیفیت محیطی مناسبی فراهم آورند، بلکه باید در کاهش مصرف انرژی نیز نقش مؤثری ایفا کنند (Taleghani et al., 2023). این مسئله زمانی برجسته‌تر می‌شود که شرایط اقلیمی و جغرافیایی متفاوت به طراحی ویژه‌ای برای ساختمان‌های آموزشی نیاز دارند. در مناطقی چون استان گیلان، که دارای اقلیم مرطوب و معتدل است، ارزیابی این سیستم‌ها برای بهبود عملکرد ساختمان‌های آموزشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگرچه پنجره‌های دوجداره و سایه‌بان‌ها به‌عنوان راهکارهایی نوین در بهینه‌سازی مصرف انرژی مطرح شده‌اند، اما هنوز در زمینه میزان اثربخشی واقعی آن‌ها در شرایط اقلیمی خاص مانند گیلان، به‌ویژه در فضاهای آموزشی که نیازمند شرایط محیطی ویژه‌ای هستند، پژوهش‌های دقیق و بومی‌سازی‌شده کمی صورت گرفته است. نبود داده‌های میدانی کافی، ضعف در مقایسه عملکردی بین سیستم‌های ثابت و متحرک، و کمبود مطالعات ترکیبی که تأثیر توأمان این فناوری‌ها را بررسی کنند، موجب شده تا شکاف مشخصی در ادبیات موضوع دیده شود. از این‌رو، این تحقیق به‌دنبال پر کردن این خلأ علمی از طریق یک مطالعه موردی بومی‌سازی‌شده و داده‌محور است. در این میان، فناوری‌هایی نظیر پنجره‌های دوجداره و سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک به‌عنوان راه‌حل‌های نوآورانه مطرح شده‌اند. با این حال، ارزیابی میزان کارایی این فناوری‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی، نیازمند مطالعه دقیق و مبتنی بر داده است (Sharifi et al., 2022). در این راستا، با مطالعه موردی بر روی دبستان‌های مهرآیین و آفرینش در شهر رشت، هدف این تحقیق ارزیابی میزان تأثیر این سیستم‌ها بر بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها است. سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک می‌توانند با تنظیم میزان تابش نور خورشید به داخل ساختمان، از طریق کاهش حرارت و تابش مستقیم، به بهبود شرایط داخلی فضا و کاهش هزینه‌های انرژی کمک کنند. از این‌رو سوالات اصلی پژوهش اینگونه بیان می‌شود؛ سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک چه نقشی در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های آموزشی دارند؟ آیا ترکیب پنجره‌های دوجداره با سیستم‌های سایه‌بان متحرک و ثابت می‌تواند به بهینه‌سازی

شرایط داخلی ساختمان‌های آموزشی و کاهش هزینه‌های انرژی کمک کند؟ این تحقیق تلاش دارد تا با بررسی اثرات عملکردی این سیستم‌ها در کنار پنجره‌های دوجداره، بهترین ترکیب ممکن را برای استفاده در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های مشابه ارائه دهد.

جدول ۱: بررسی مولفه‌های مورد بررسی در پژوهش

مولفه	توضیحات	روش‌های ارزیابی	نتایج مورد انتظار
پنجره‌های دوجداره	استفاده از پنجره‌های دوجداره برای کاهش تبادل حرارتی و بهبود عملکرد انرژی در ساختمان‌ها.	اندازه‌گیری میزان انتقال حرارت و انرژی در فصول مختلف سال.	کاهش مصرف انرژی و بهبود دمای داخلی.
سیستم‌های سایه‌بان ثابت	استفاده از سیستم‌های سایه‌بان ثابت برای کنترل تابش نور و حرارت وارد شده به ساختمان.	بررسی اثرات سایه‌بان‌های ثابت در کاهش دمای داخلی و تابش نور.	کاهش مصرف انرژی و افزایش راحتی ساکنان.
سیستم‌های سایه‌بان متحرک	استفاده از سایه‌بان‌های متحرک برای انعطاف‌پذیری در کنترل تابش نور و حرارت.	بررسی میزان تغییرات دما و مصرف انرژی با سایه‌بان‌های متحرک.	بهبود شرایط دمایی و کاهش هزینه‌های انرژی.
اقلیم مرطوب و معتدل گیلان	ویژگی‌های اقلیمی خاص منطقه گیلان و تأثیر آن بر نیازهای انرژی ساختمان‌ها.	تحلیل داده‌های اقلیمی و مقایسه عملکرد سیستم‌ها در این اقلیم.	شبیه‌سازی عملکرد انرژی در اقلیم‌های مرطوب.
اثر ترکیب سیستم‌های سایه‌بان و پنجره‌ها	ترکیب پنجره‌های دوجداره و سیستم‌های سایه‌بان برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی.	مقایسه عملکرد سیستم‌های ترکیبی و اثرات آن بر عملکرد انرژی.	بهینه‌سازی شرایط داخلی و کاهش هزینه‌ها.

مأخذ: نگارنده

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، توجه به معماری پایدار و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها به یکی از اصلی‌ترین محورهای پژوهش در حوزه معماری و طراحی اقلیمی تبدیل شده است. از آن‌جا که ساختمان‌های آموزشی یکی از پرمصرف‌ترین کاربری‌ها در بخش انرژی هستند، به‌ویژه در اقلیم‌های معتدل و مرطوبی مانند رشت، بررسی عملکرد اجزای پوسته‌ی ساختمان، نظیر پنجره‌ها و سایه‌بان‌ها، اهمیتی دوچندان می‌یابد (Asadi et al., 2012). در حوزه‌ی بهبود عملکرد حرارتی و نوری، پنجره‌های دوجداره به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای غیرفعال در کاهش تلفات انرژی و بهبود آسایش حرارتی معرفی شده‌اند. طبق نتایج پژوهش (Givoni 1994)، استفاده از پنجره‌های با ضریب انتقال حرارت پایین (U -value پایین‌تر از $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$) می‌تواند تا بیش از ۳۰٪ در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی صرفه‌جویی ایجاد کند. همچنین، افزودن پوشش‌هایی مانند شیشه‌های Low-E و استفاده از گاز آرگون در میان‌جداره، نقش مؤثری در کنترل تابش خورشیدی و کاهش بار حرارتی دارد (NFRC, 2018). از سوی دیگر، نقش سایه‌بان‌های ثابت و متحرک نیز در ارتقاء کیفیت محیط داخلی و کنترل تابش مستقیم خورشید، به‌ویژه در فضاهای آموزشی که نیاز به نور طبیعی کنترل‌شده دارند، قابل توجه است. پژوهش (Olgyay 2015) نشان می‌دهد که طراحی درست سایه‌بان، می‌تواند تا ۴۰٪ از تابش ناخواسته خورشید جلوگیری کرده و از بروز خیرگی در فضاهای آموزشی جلوگیری نماید. افزون بر آن، سایه‌بان‌های متحرک که قابلیت تطبیق با شرایط مختلف آب‌وهوایی و زاویه تابش را دارند، از انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار بوده و در ساختمان‌های هوشمند یا نیمه‌هوشمند عملکرد بهینه‌تری دارند (Gratia & De Herde, 2007). در مطالعات موردی

مشابه، از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در مدارس شهرهای مرطوب اروپا (Wong & Huang, 2004)، نشان داده شده است که ترکیب استفاده از پنجره‌های دوجداره با سایه‌بان‌های متحرک، علاوه بر کاهش چشمگیر در مصرف انرژی، موجب بهبود عملکرد شناختی دانش‌آموزان از طریق کاهش خیرگی، کنترل دمای داخلی، و حفظ تعادل نور طبیعی می‌شود. در ایران نیز پژوهش‌هایی نظیر کار محمدی و همکاران (۱۳۹۸) در مدارس ناحیه ۲ شیراز، بر همین نکته تأکید دارند که طراحی اقلیمی با بهره‌گیری از عناصر سایه‌ساز و پنجره‌های عایق، منجر به ارتقای راندمان آموزشی و کاهش هزینه‌های انرژی می‌گردد. علاوه بر این، در شرایط اقلیمی خاص رشت که با رطوبت بالا، بارندگی فصلی و نور پراکنده همراه است، انتخاب نوع شیشه، زاویه نصب پنجره، و فرم سایه‌بان می‌تواند تأثیر چشمگیری بر عملکرد کلی ساختمان داشته باشد. پژوهش مشترک بین دانشگاه گیلان و پژوهشکده معماری و شهرسازی ایران (۱۳۹۷) نشان داد که در مدارس واقع در اقلیم شمال کشور، استفاده از شیشه‌های Low-E همراه با سایه‌بان افقی متحرک، بهترین عملکرد را در تعادل دمایی و نوری کلاس‌ها دارد. در جمع‌بندی می‌توان گفت که هم‌افزایی بین فناوری پنجره‌های دوجداره و طراحی بهینه سایه‌بان‌ها، نقش کلیدی در ارتقاء عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌های آموزشی دارد، و پرداختن به آن در مقیاس موردی و بومی شده، نظیر دبستان مهرآیین و آفرینش رشت، می‌تواند الگوی مؤثری برای توسعه پایدار در حوزه معماری آموزشی ارائه دهد.

جدول ۲: جمع‌بندی پیشینه پژوهش

نویسنده / سال	موضوع / مکان مطالعه	روش تحقیق	یافته‌های کلیدی	ارتباط با پژوهش حاضر
Givoni (1994)	اثر شیشه دوجداره در کاهش انرژی ساختمان	تحلیل عملکرد حرارتی	کاهش تا ۳۰٪ انرژی مصرفی با شیشه Low-E و پنجره دوجداره	تأکید بر نقش پنجره دوجداره در بهینه‌سازی مصرف انرژی در اقلیم‌های مختلف
Olgyay (2015)	طراحی اقلیمی و سایه‌بان در معماری پایدار	تحلیل اقلیمی / طراحی بیوکلیماتیک	سایه‌بان‌های افقی و متحرک باعث کاهش خیرگی و افزایش آسایش حرارتی می‌شوند	تأیید تأثیر طراحی سایه‌بان بر کیفیت محیط داخلی کلاس‌های درس
Gratia & De Herde (2007)	مقایسه سایه‌بان‌ها و سقف‌های سبز در ساختمان‌های آموزشی	مدل‌سازی انرژی	سایه‌بان‌های متحرک مؤثرتر از سقف سبز در کاهش بار سرمایشی	تمرکز بر سایه‌بان‌های تطبیق‌پذیر در اقلیم‌های متغیر مانند رشت
Wong & Huang (2004)	تهویه و تابش در کلاس‌های طبیعی سنگاپور	پایش میدانی / ارزیابی آسایش	نور طبیعی کنترل‌شده باعث افزایش تمرکز و کاهش مصرف برق می‌شود	اهمیت کنترل تابش خورشیدی در کلاس‌ها برای بهبود یادگیری و کاهش مصرف انرژی
Asadi et al. (2012)	بهینه‌سازی چندهدفه ساختمان‌های آموزشی	مدلسازی انرژی با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی	ترکیب بهینه پنجره، سایه‌بان و عایق برای	پشتیبانی از رویکرد جامع در طراحی اجزای پوسته ساختمان

		صرفه‌جویی انرژی در مدارس		
محمدی و همکاران (1398)	تحلیل انرژی مدارس ابتدایی در شیراز	مدل‌سازی + تحلیل میدانی	پنجره دوجداره + سایه‌بان متحرک = کاهش بار گرمایشی و خیرگی	نمونه داخلی کاربردی از ترکیب دو عنصر مورد بررسی پژوهش حاضر
دانشگاه گیلان و پژوهشکده معماری (1397)	مقایسه عملکرد سایه‌بان در مدارس شمال کشور	مطالعه میدانی + شبیه‌سازی اقلیمی	بهترین عملکرد برای پنجره Low-E با سایه‌بان افقی متحرک در اقلیم مرطوب رشت	نمونه موردی مرتبط مستقیم با محل پروژه: مهرآیین و آفرینش رشت

مأخذ: نگارنده

مبانی نظری

پنجره دوجداره

پنجره‌های دوجداره به‌عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته در طراحی ساختمان‌های پایدار شناخته می‌شوند. این پنجره‌ها با استفاده از دو لایه شیشه و فضای میانی که معمولاً با گازهای عایق مانند آرگون پر می‌شود، توانسته‌اند به‌طور قابل توجهی انتقال حرارت را کاهش دهند. این ویژگی به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی که نیاز به کنترل دمای داخلی دارند، اهمیت زیادی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از پنجره‌های دوجداره می‌تواند تا ۳۰٪ مصرف انرژی را کاهش دهد و به بهبود کیفیت هوای داخلی کمک کند (Manawinco, 2023). یکی از مزایای کلیدی پنجره‌های دوجداره، توانایی آن‌ها در کاهش آلودگی صوتی است. این پنجره‌ها با ایجاد یک لایه عایق صوتی، محیطی آرام‌تر برای کاربران فراهم می‌کنند. این ویژگی به‌ویژه در مدارس که نیاز به تمرکز و سکوت دارند، بسیار حائز اهمیت است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این نوع پنجره‌ها می‌توانند صداهای محیطی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند و در نتیجه کیفیت یادگیری را افزایش دهند. (PJMI, 2023) علاوه بر این، پنجره‌های دوجداره نقش مهمی در کاهش هزینه‌های انرژی ایفا می‌کنند. با کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایش و سرمایش، این پنجره‌ها می‌توانند هزینه‌های عملیاتی ساختمان را به‌طور چشمگیری کاهش دهند. این موضوع به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی که بودجه‌های محدودی دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. از منظر زیست‌محیطی، استفاده از پنجره‌های دوجداره به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. با کاهش مصرف انرژی، این فناوری می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی کمک کند (اردوزاده و همکاران، ۱۴۰۳؛ ۳۱). این موضوع در راستای اهداف توسعه پایدار و کاهش تغییرات اقلیمی است. در نهایت، طراحی و نصب پنجره‌های دوجداره باید با توجه به شرایط اقلیمی و نیازهای خاص هر ساختمان انجام شود. به‌عنوان مثال، در مناطق مرطوب مانند شهر رشت، انتخاب نوع شیشه و گاز پرکننده می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد این پنجره‌ها داشته باشد. این موضوع نیازمند مطالعات دقیق‌تر و داده‌های محلی است تا بهترین راهکارها ارائه شود. پنجره‌های دوجداره با کاهش انتقال حرارت، باعث حفظ دمای داخلی ساختمان در فصول مختلف می‌شوند. این ویژگی منجر به کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. در برخی مطالعات، استفاده از پنجره‌های دوجداره تا ۵۰٪

در کاهش بار حرارتی ساختمان مؤثر بوده است. در محیط‌های آموزشی، حفظ دمای مناسب برای افزایش تمرکز و راحتی دانش‌آموزان اهمیت دارد. پنجره‌های دوجداره با ایجاد عایق حرارتی مؤثر، به حفظ دمای مطلوب در کلاس‌ها کمک می‌کنند و شرایط یادگیری را بهبود می‌بخشند. یکی از مزایای دیگر پنجره‌های دوجداره، کاهش نفوذ صداهای خارجی به داخل ساختمان است. این ویژگی در مدارس واقع در مناطق پر سر و صدا، مانند نزدیکی خیابان‌های شلوغ، اهمیت ویژه‌ای دارد و به ایجاد محیطی آرام‌تر برای یادگیری کمک می‌کند. پنجره‌های دوجداره با فریم‌های مقاوم مانند UPVC یا آلومینیوم، دارای دوام بالا و نیاز به نگهداری کم هستند (Manawinco, 2023). این ویژگی‌ها باعث می‌شود که در بلندمدت هزینه‌های نگهداری کاهش یابد و عمر مفید پنجره‌ها افزایش یابد. با کاهش مصرف انرژی، پنجره‌های دوجداره به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند. این موضوع در راستای اهداف پایداری و حفاظت از محیط زیست اهمیت دارد و استفاده از این پنجره‌ها را به گزینه‌ای سازگار با محیط زیست تبدیل می‌کند. پنجره‌های دوجداره با انتخاب شیشه‌های مناسب، می‌توانند نور طبیعی را به طور مؤثر وارد ساختمان کنند (Olgyay, 2015). این ویژگی به کاهش نیاز به نور مصنوعی در طول روز کمک می‌کند و در نتیجه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. استفاده از پنجره‌های دوجداره در ساختمان‌های آموزشی، بهبود قابل توجهی در عملکرد حرارتی، کاهش مصرف انرژی، افزایش آسایش حرارتی و کاهش آلودگی صوتی به همراه دارد. این مزایا، همراه با دوام بالا و تأثیرات مثبت زیست‌محیطی، این نوع پنجره‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای بهبود کیفیت محیط‌های آموزشی تبدیل می‌کند.

جدول ۳: دسته بندی پنجره های دوجداره

نوع پنجره دوجداره	نوع شیشه / پوشش	گاز بین جداره	نوع قاب	U-value (W/m ² ·K)	SHGC / G-value	ویژگی‌ها / کاربردها
معمولی (دوجداره ساده)	شیشه معمولی (شفاف)	هوا	آلومینیوم ساده	2/7-3/1	0/65-0/75	کاهش جزئی اتلاف حرارت، ارزان، ولی کارایی پایین‌تر در اقلیم‌های سرد یا گرم
دوجداره با شیشه Low-E	شیشه کم تابش (Low-Emissivity)	گاز آرگون	UPVC یا چوب	1/3-1/8	0/40-0/55	کاهش اتلاف انرژی، عملکرد عالی در تابستان و زمستان، کاهش تابش UV
دوجداره با شیشه بازتابی	شیشه Reflective یا رنگی	هوا یا آرگون	آلومینیوم ترمال بریک	1/8-2/5	0/25-0/40	مناسب برای اقلیم گرم و پرتابش، کاهش تابش خورشیدی و خیرگی
دوجداره با گاز کریپتون	شیشه Low-E یا معمولی	گاز کریپتون	UPVC یا آلومینیوم پیشرفته	1/0-1/5	0/35-0/50	عملکرد حرارتی بالا، گران‌تر، مناسب برای فضاهای نیازمند کنترل دقیق انرژی

دوجداره سه‌جلداره (Triple-glazed)	دولایه-Low E + شیشه وسط	آرگون یا کریپتون	چوب، UPVC	0/6-1/2	0/30-0/40	مناسب برای اقلیم‌های بسیار سرد، کاهش قابل توجه مصرف انرژی
دوجداره با پوشش کنترل نور (Spectrally Selective)	شیشه ویژه با عبور نور بالا و گرمای کم	آرگون یا کریپتون	آلومینیوم ترمالبریک	1/1-1/6	0/25-0/35	اجازه عبور نور طبیعی، اما حذف گرمای ناخواسته؛ مناسب کلاس‌های جنوبی یا نورگیر

مأخذ: نگارنده

سایبان‌ها

سایه‌بان‌ها به عنوان یکی از راهکارهای غیرفعال در طراحی اقلیمی ساختمان، نقش بسزایی در بهبود عملکرد حرارتی و نوری فضاهای داخلی ایفا می‌کنند. این عناصر معماری، به منظور کاهش بار حرارتی ناشی از تابش مستقیم خورشید، کنترل میزان نور ورودی و ارتقاء آسایش حرارتی کاربران به کار می‌روند. به طور کلی، سایه‌بان به هر نوع سازه یا پوششی اطلاق می‌شود که با قرارگیری در مقابل بازشوها یا سطوح خارجی ساختمان، مانع از ورود نامطلوب تابش خورشیدی به فضای داخلی گردد (Givoni, 1994). سایه‌بان‌ها بسته به نوع طراحی، شرایط اقلیمی و عملکرد مورد انتظار، به صورت ثابت یا متحرک، و در قالب‌های افقی، عمودی یا ترکیبی طراحی می‌شوند. انتخاب نوع و جنس سایه‌بان، متناسب با موقعیت جغرافیایی و زاویه تابش خورشید، تأثیر مستقیمی بر کارایی آن در کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت محیط داخلی دارد (Olgyay, 2015). در زمینه ساختمان‌های آموزشی، استفاده از سایه‌بان به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقاء کیفیت یادگیری شناخته می‌شود، چرا که همزمان به کنترل نور، حرارت و تابش خیره‌کننده کمک کرده و شرایط مطلوب‌تری را برای دانش‌آموزان فراهم می‌سازد (Wong & Huang, 2004). سیستم‌های سایه‌بان به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: سایه‌بان‌های ثابت: این نوع سایه‌بان‌ها به صورت دائمی نصب می‌شوند و معمولاً از مصالحی مانند بتن، فلز یا چوب ساخته می‌شوند. آن‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در تابستان از ورود نور مستقیم خورشید جلوگیری کرده و در زمستان اجازه ورود نور را بدهند. سایه‌بان‌های متحرک: این سیستم‌ها قابلیت تنظیم دارند و می‌توانند بسته به شرایط نوری و حرارتی محیط، باز یا بسته شوند. آن‌ها معمولاً از مواد سبک‌تری مانند پارچه‌های مقاوم یا آلومینیوم ساخته می‌شوند و می‌توانند به صورت دستی یا خودکار کنترل شوند. استفاده از سیستم‌های سایه‌بان می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش بار حرارتی ساختمان داشته باشد. مطالعات نشان داده‌اند که سایه‌بان‌های متحرک خارجی می‌توانند مصرف انرژی سرمایشی را تا بیش از ۶۰٪ کاهش دهند و آسایش حرارتی داخلی را بهبود بخشند. سایه‌بان‌ها با کنترل میزان نور ورودی به ساختمان، می‌توانند به بهبود کیفیت نور طبیعی در فضای داخلی کمک کنند. این امر به کاهش نیاز به نور مصنوعی در طول روز منجر می‌شود و در نتیجه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. همچنین، سایه‌بان‌های متحرک می‌توانند با تنظیم زاویه خود، از ایجاد خیرگی و تابش مستقیم نور جلوگیری کنند. در محیط‌های آموزشی، حفظ دمای مناسب برای افزایش تمرکز و راحتی دانش‌آموزان اهمیت دارد. سایه‌بان‌ها با کاهش نفوذ حرارت خورشید به داخل ساختمان، می‌توانند به حفظ دمای مطلوب در کلاس‌ها کمک کنند و شرایط یادگیری را بهبود بخشند. سایه‌بان‌های ثابت

معمولاً دارای دوام بالایی هستند و نیاز به نگهداری کمتری دارند. در مقابل، سایه‌بان‌های متحرک نیاز به نگهداری منظم‌تری دارند، اما انعطاف‌پذیری بیشتری در کنترل نور و حرارت فراهم می‌کنند. با کاهش مصرف انرژی، سیستم‌های سایه‌بان به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند. این موضوع در راستای اهداف پایداری و حفاظت از محیط زیست اهمیت دارد و استفاده از این سیستم‌ها را به گزینه‌ای سازگار با محیط زیست تبدیل می‌کند (Manawinco, 2023). استفاده از سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک در ساختمان‌های آموزشی، بهبود قابل توجهی در عملکرد حرارتی، کاهش مصرف انرژی، افزایش آسایش حرارتی و بهبود کیفیت نور طبیعی به همراه دارد. این مزایا، همراه با تأثیرات مثبت زیست‌محیطی، این سیستم‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای بهبود کیفیت محیط‌های آموزشی تبدیل می‌کند.

جدول ۴: دسته‌بندی سایبان‌ها جهت استفاده در پژوهش

نوع سایه‌بان	مکان نصب	قابلیت تنظیم	جنس متداول	ویژگی‌ها / عملکردها	ضریب عبور تابش (SC)	مناسب برای
سایه‌بان ثابت افقی	بالای پنجره	ندارد	بتن، فلز، چوب	حذف تابش تابستان، عبور نور زمستانی، ساده و بادوام	0/15-0/25	جبهه جنوبی در اقلیم گرم یا معتدل
سایه‌بان ثابت عمودی	کنار پنجره (شرق-غرب)	ندارد	فلز، آلومینیوم	کنترل تابش مایل صبح و عصر، حفظ دید به بیرون	0/25-0/35	جبهه‌های شرقی و غربی
سایه‌بان متحرک افقی	بالای پنجره/سقف	دارد	پارچه فنی، آلومینیوم	تنظیم تابش بر حسب فصل و ساعت، مؤثر در کاهش بار سرمایشی	0/10-0/20	کلاس‌های جنوبی
سایه‌بان متحرک عمودی	مقابل پنجره یا نما	دارد	PVC، پارچه ضد UV	کنترل دقیق تابش، جلوگیری از خیرگی و گرما، انعطاف‌پذیر	0/10-0/18	فضاهای چندمنظوره و حیاط مدرسه
لوورهای ثابت	روی قاب یا نما	ندارد	فلز، چوب، کامپوزیت	جهت‌دهی نور، زیبایی نمای بیرونی، عملکرد بالا در اقلیم‌های گرم	0/20-0/30	کتابخانه‌ها، مطالعه
لوورهای متحرک	روی نما یا سقف کلاس	دارد	آلومینیوم، کامپوزیت	کنترل هوشمند تابش، سنسورپذیر، بهینه‌سازی همزمان نور و دما	0/05-0/15	کلاس‌های هوشمند یا دیجیتال
پرده‌های داخلی نورگیر	داخل کلاس	دارد	پارچه، بامبو	مناسب برای فصول سرد، کنترل تابش با حفظ دمای داخلی	0/35-0/50	مناطق سرد و مرطوب
سایه‌بان پارچه‌ای فضای باز	حیاط مدرسه / محوطه	دارد	پارچه کششی (HDPE، PVC)	کاهش دمای سطح زمین، ایجاد سایه انسانی، مقاوم به UV	0/20-0/40	محوطه بازی، صف صبحگاهی، انتظار

مآخذ: نگارنده

آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی

آسایش حرارتی یکی از مؤلفه‌های کلیدی کیفیت محیط داخلی (IEQ) در فضاهای آموزشی به شمار می‌رود و تأثیر مستقیمی بر عملکرد شناختی، یادگیری، تمرکز، و سلامت جسمی و روانی کاربران دارد. به‌طور خاص، در مدارس که کاربران عمدتاً کودکان و نوجوانان هستند، اهمیت آسایش حرارتی مضاعف می‌شود، چرا که آنان نسبت به شرایط حرارتی محیط حساسیت بیشتری داشته و ظرفیت تطبیق‌پذیری پایین‌تری دارند (Amasyali & El-Gohary, 2020). مطابق تعریف استاندارد 55 ASHRAE، آسایش حرارتی حالتی است که در آن فرد نسبت به دمای محیط احساس رضایت دارد و نیازی به تغییر شرایط ندارد (ASHRAE, 2023). در این راستا، آسایش حرارتی تابعی از متغیرهای محیطی (دمای هوا، تابش، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا) و فردی (میزان فعالیت بدنی و نوع پوشش) است. این ترکیب از عوامل در محیط‌های آموزشی باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که اکثریت کاربران، به‌ویژه کودکان، در وضعیت تعادل حرارتی قرار گیرند (Soutullo et al., 2021). ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری دانش‌آموزان، نیازمند رویکردی ویژه در طراحی حرارتی کلاس‌هاست. مطالعات نشان می‌دهد که کودکان معمولاً نسبت به گرما حساس‌تر از بزرگسالان‌اند و میزان تعریق آن‌ها کمتر است (نوروزی و همکاران، ۱۴۰۳؛ ۳۰). همچنین، فعالیت‌های بدنی بالا در ساعات مختلف روز، نیاز به تهویه و کنترل دمایی متغیر را ضروری می‌سازد (Dias et al., 2023). مطالعات میدانی در کشورهای مختلف، تفاوت‌های معناداری بین مدل‌های استاندارد و ادراک واقعی آسایش دانش‌آموزان را نشان داده‌اند. برای مثال، در پژوهشی میدانی در مدارس بوگوتا، مشخص شد که عوامل فرهنگی، سطح انتظارات و نحوه لباس‌پوشیدن دانش‌آموزان تأثیر زیادی بر ادراک حرارتی دارند (Fang et al., 2021). همچنین، مطالعه‌ای در پرتغال نشان داد که داده‌های مدل PMV بدون اصلاح برای کودکان، نمی‌تواند پیش‌بینی دقیقی از میزان رضایت حرارتی آن‌ها ارائه دهد (Soutullo et al., 2021). در مجموع، آسایش حرارتی در مدارس نه تنها عاملی برای بهبود شرایط فیزیکی محیط آموزش است، بلکه نقش مهمی در ارتقاء کیفیت یادگیری، افزایش تمرکز و سلامت عمومی کاربران دارد. با توجه به تفاوت‌های فیزیولوژیکی و رفتاری دانش‌آموزان، مدل‌های استاندارد موجود باید برای شرایط واقعی فضاهای آموزشی اصلاح و بومی‌سازی شوند. رویکردهای نوین طراحی، همچون بهره‌گیری از پوسته‌های انطباق‌پذیر، تهویه طبیعی و کنترل‌های هوشمند، می‌توانند به‌عنوان راه‌حلهایی پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای ارتقاء آسایش حرارتی در مدارس مطرح شوند.

بهبود عملکرد ساختمان‌های آموزشی

عملکرد ساختمان آموزشی شامل مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، انرژی‌محور، روانی و محیطی است که مستقیماً بر یادگیری، تمرکز، آسایش و سلامت کاربران (دانش‌آموزان و معلمان) تأثیر می‌گذارد. این عملکرد نه تنها به کیفیت ساخت و طراحی معماری بستگی دارد، بلکه به مؤلفه‌هایی مانند تهویه، نور طبیعی، کنترل دما، آکوستیک و بهره‌وری انرژی نیز وابسته است (Barrett et al., 2015). یکی از کلیدی‌ترین شاخص‌های عملکرد در یک ساختمان آموزشی، آسایش حرارتی است. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که وجود شرایط دمایی نامناسب می‌تواند تمرکز دانش‌آموزان را کاهش دهد و عملکرد شناختی آن‌ها را مختل کند (Wargocki & Wyon, 2013). استفاده از عناصر طراحی مانند پنجره‌های دوجداره و سایه‌بان‌ها، در کنترل دما و جلوگیری از نوسانات حرارتی نقش کلیدی ایفا می‌کنند. کیفیت نور در فضاهای آموزشی

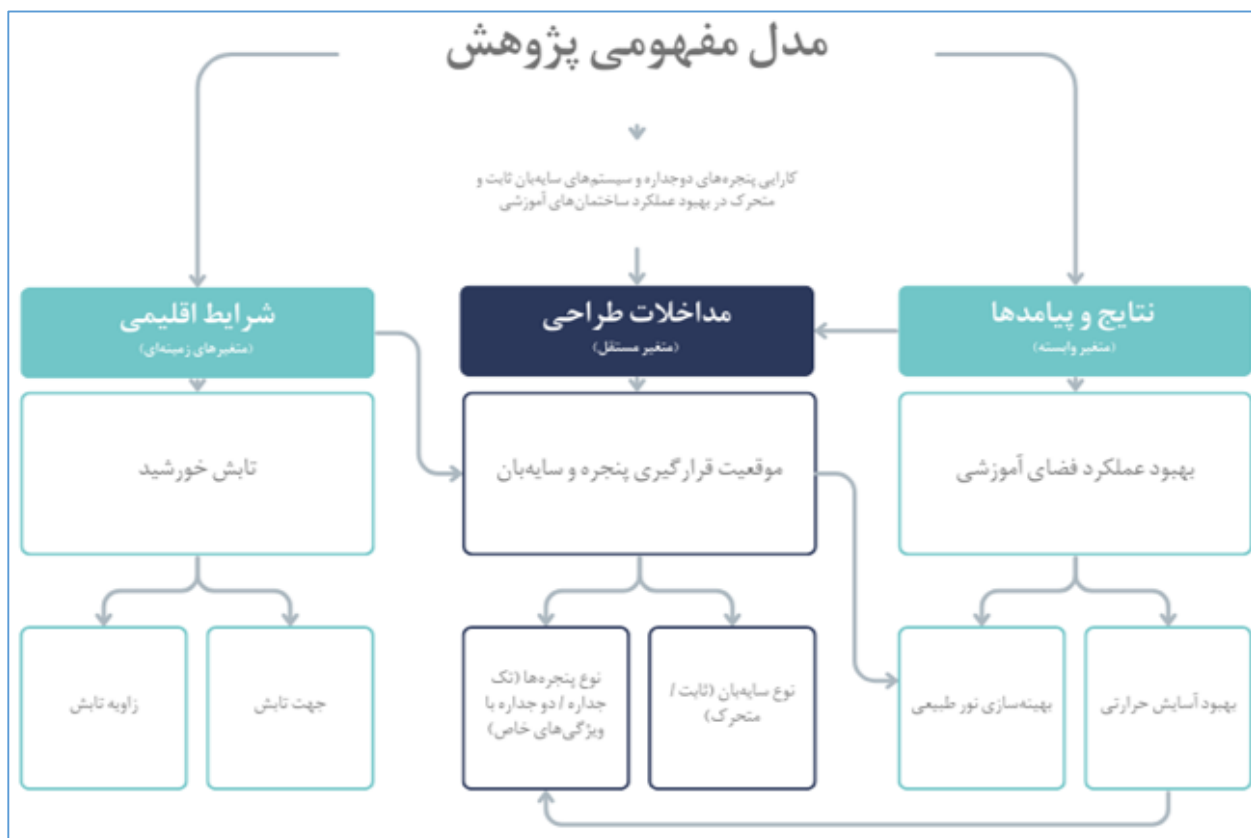
اهمیت بالایی دارد. نور طبیعی مناسب می‌تواند نه تنها در صرفه‌جویی مصرف انرژی موثر باشد، بلکه بر حالات روانی و بیولوژیکی دانش‌آموزان نیز تأثیر مثبت داشته باشد. مطالعاتی از جمله تحقیق (Heschong 2002) نشان می‌دهد که دانش‌آموزانی که در کلاس‌های با نور طبیعی آموزش می‌بینند، تا ۲۰٪ پیشرفت بیشتری در نمرات ریاضی و خواندن دارند. ساختمان‌های آموزشی از جمله پرمصرف‌ترین ساختمان‌ها از نظر انرژی هستند. با افزایش هزینه‌های انرژی و چالش‌های اقلیمی، توجه به راهکارهای طراحی که بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند، از اهمیت زیادی برخوردار شده است. طبق گزارش (US Department of Energy 2017)، سیستم‌های غیرفعال مانند سایه‌بان‌ها و پنجره‌های عایق می‌توانند تا ۴۰٪ در مصرف انرژی سرمایشی صرفه‌جویی ایجاد کنند. از دیگر ابعاد مهم عملکرد ساختمان، تأثیر آن بر سلامت روانی دانش‌آموزان است. وجود نور طبیعی، دسترسی بصری به محیط بیرون، تهویه مناسب و دمای پایدار، همگی با کاهش استرس، افزایش انگیزه و بهبود خلق‌وخو در ارتباط‌اند. در واقع معماری مدرسه می‌تواند عاملی تسهیل‌گر یا بازدارنده در فرآیند یادگیری باشد (JISC, 2006). بهبود عملکرد ساختمان‌های آموزشی نیازمند رویکردی جامع و میان‌رشته‌ای است که به ترکیب عوامل طراحی معماری، فناوری ساخت، و درک روانی-رفتاری کاربران توجه کند. استفاده از پنجره‌های دوجداره، سایه‌بان‌های متنوع، و سایر مداخلات طراحی غیرفعال، گامی مؤثر در جهت ایجاد فضاهایی کارآمد، کم‌مصرف، و انسانی برای آموزش نسل آینده است.

بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌های آموزشی

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی، نه تنها در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و کاهش اثرات زیست‌محیطی مؤثر است، بلکه مستقیماً بر بهبود کیفیت محیطی و ارتقاء عملکرد شناختی کاربران تأثیر می‌گذارد. در شرایطی که مدارس به‌طور معمول در ساعات طولانی و در تمام فصول مورد استفاده هستند، بهینه‌سازی انرژی به‌عنوان یک ضرورت در طراحی و بازسازی فضاهای آموزشی مطرح است (Corgnati et al., 2021). مطالعات نشان داده‌اند که بخش زیادی از انرژی مصرفی در مدارس مربوط به گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی است. طراحی صحیح این اجزاء، همراه با رویکردهای مدیریت هوشمند انرژی، می‌تواند تا ۳۰ الی ۵۰ درصد از مصرف کل را کاهش دهد (He et al., 2022). اهمیت این مسئله به‌ویژه در مناطق با منابع انرژی محدود یا اقلیم‌های شدید، دوچندان می‌شود. اولین گام در بهینه‌سازی انرژی، توجه به طراحی غیرفعال معماری است. جهت‌گیری مناسب ساختمان نسبت به مسیر خورشید، استفاده از سایه‌بان‌ها، بهره‌گیری از تهویه طبیعی و مصالح با ظرفیت حرارتی بالا از جمله راهکارهای کلیدی طراحی منفعل هستند (Ascione et al., 2020). در مدارس، استفاده از نور طبیعی به‌صورت بهینه می‌تواند ضمن کاهش بار روشنایی مصنوعی، تأثیر مثبتی بر یادگیری و سلامت روانی دانش‌آموزان داشته باشد (Kim et al., 2023). استفاده از پوسته‌های سازگار با اقلیم، مانند دیوارهای دوجداره، پنجره‌های با ضریب انتقال حرارتی پایین (U-value)، عایق‌کاری حرارتی در کف و سقف، و طراحی سبز بام‌ها نیز به‌طور مؤثری بار حرارتی ساختمان را کاهش می‌دهند (De Gracia et al., 2022). در پژوهش‌های میدانی صورت‌گرفته در مدارس اروپایی، اجرای عایق مناسب دیوارها و پنجره‌های دوجداره توانسته تا ۴۰٪ از بار گرمایش و سرمایش بکاهد (Corgnati et al., 2021).

روش‌شناسی تحقیق

برای ارزیابی میزان کارایی پنجره‌های دو جداره و سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های آموزشی، پژوهش حاضر از یک روش ترکیبی استفاده می‌کند. این تحقیق شامل مراحل شبیه‌سازی انرژی، تحلیل میدانی و بررسی عملکرد واقعی ساختمان‌ها می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی میزان تأثیر این سیستم‌ها بر بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها است. این تحقیق از روش شبیه‌سازی انرژی برای تحلیل تأثیرات سیستم‌های مختلف پنجره و سایه‌بان استفاده خواهد کرد. به علاوه، مطالعه میدانی و تحلیل داده‌های واقعی از ساختمان‌های مورد نظر در رشت نیز به عنوان بخش دوم تحقیق در نظر گرفته می‌شود. در این روش، مدلسازی و شبیه‌سازی انرژی با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی EnergyPlus و DesignBuilder برای شبیه‌سازی عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان‌ها در فصول مختلف سال انجام خواهد شد.



شکل ۱: مدل مفهومی پژوهش

مآخذ: نگارنده

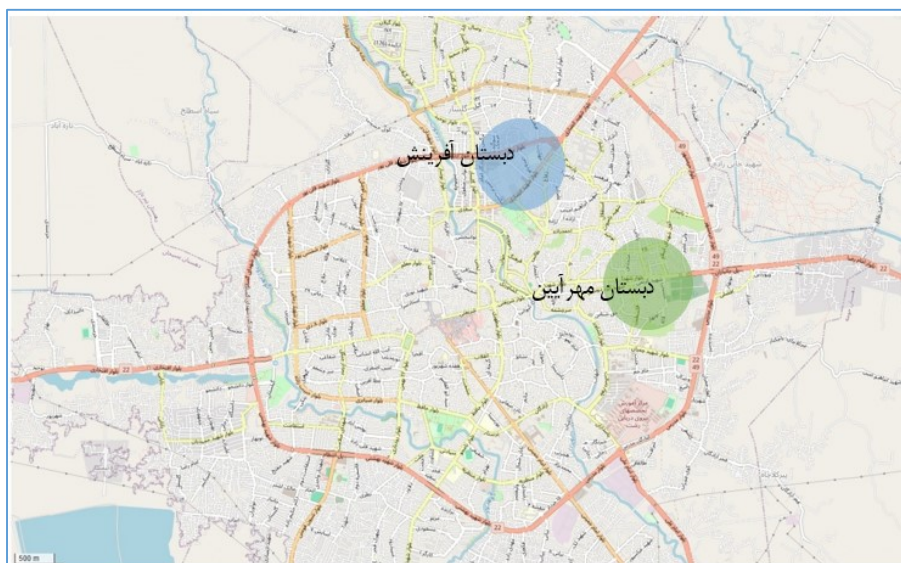
در مرحله میدانی، داده‌های مربوط به دما، رطوبت، تابش خورشید، مصرف انرژی و آسایش حرارتی از دو دبستان مهرآیین و آفرینش در رشت جمع‌آوری می‌شود. این دو مدرسه به عنوان نمونه‌های موردی انتخاب شده‌اند، زیرا هر کدام از سیستم‌های متفاوتی برای پنجره‌ها و سایه‌بان‌ها بهره می‌برند. دبستان مهرآیین از پنجره‌های دو جداره به همراه سایه‌بان‌های ثابت استفاده می‌کند و دبستان آفرینش از پنجره‌های دو جداره و سایه‌بان‌های متحرک بهره می‌برد. داده‌های میدانی از طریق دستگاه‌های اندازه‌گیری محیطی نظیر ترمومتر، رطوبت‌سنج، دماسنج‌های دیجیتال و سنسورهای تابش خورشید جمع‌آوری

خواهد شد. اندازه‌گیری‌ها به صورت روزانه و ماهانه در کلاس‌های درس و فضاهای داخلی ساختمان‌ها انجام خواهد شد. داده‌های شبیه‌سازی نیز پس از مدل‌سازی ساختمان‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی استخراج و تحلیل خواهد شد. در مرحله تحلیل داده‌ها، اطلاعات به دست آمده از مرحله میدانی و شبیه‌سازی انرژی با استفاده از روش‌های آماری و مقایسه‌ای تحلیل می‌شوند. در این مرحله، مقایسه‌ای بین سیستم‌های مختلف سایه‌بان و پنجره انجام خواهد شد تا مشخص شود کدام سیستم‌ها بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی دارند.

معرفی منطقه مورد مطالعه

مشخصات اقلیمی

رشت، مرکز استان گیلان، از نظر اقلیمی در دسته‌بندی مناطق مرطوب و معتدل قرار دارد. این ویژگی‌ها شامل بارندگی‌های زیاد، رطوبت بالا و دمای معتدل است که تأثیر زیادی بر طراحی ساختمان‌ها و به ویژه ساختمان‌های آموزشی دارد. میانگین بارش سالانه در رشت حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر است و این بارندگی مداوم باعث ایجاد رطوبت زیاد در هوا می‌شود. دما در این شهر در طول سال معمولاً معتدل است، به طوری که در زمستان دما به طور متوسط به حدود ۶ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و در تابستان‌ها نیز حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه

این شرایط اقلیمی تأثیرات مهمی بر طراحی ساختمان‌ها دارد. از یک سو، رطوبت بالا نیاز به طراحی دقیق برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان را ایجاد می‌کند و از سوی دیگر، به دلیل تابش مستقیم خورشید در فصول گرم، نیاز به استفاده از سایه‌بان‌ها و پنجره‌های دوجداره برای کنترل دمای داخلی و حفظ آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی اهمیت پیدا می‌کند. همچنین، با توجه به بارندگی‌های زیاد، تأمین تهویه مناسب و استفاده از عایق‌های حرارتی برای کاهش انرژی مصرفی در فصول سرد نیز ضروری است. بنابراین، طراحی ساختمان‌های آموزشی در رشت باید بر اساس این ویژگی‌های اقلیمی صورت گیرد تا مصرف انرژی بهینه شود و آسایش حرارتی و نوری در فضاهای داخلی تأمین گردد.

جدول ۵: مشخصات اقلیمی و بررسی نوع سایبان و پنجره مورد نیاز در اقلیم مورد مطالعه

فصل	جهت تابش خورشید	زاویه تابش خورشید	میزان تابش خورشیدی (کلوین بر مترمربع)	پیشنهادهای طراحی پنجره	پیشنهادهای طراحی سایه‌بان
تابستان	جنوب، جنوب‌غربی	حدود ۷۰- ۸۰ درجه	700 - 800 kWh/m ²	پنجره‌های دوجداره با شیشه Low-E و گاز آرگون	سایه‌بان‌های افقی متحرک یا ثابت برای جلوگیری از تابش مستقیم خورشید
پاییز	جنوب، جنوب‌شرقی	حدود ۴۵- ۶۰ درجه	400 - 500 kWh/m ²	پنجره‌های دوجداره با قابلیت باز شدن برای تهویه طبیعی	سایه‌بان‌های قابل تنظیم یا پارچه‌ای برای کنترل نور و تهویه
زمستان	جنوب‌غربی، غرب	حدود ۲۰- ۳۰ درجه	100 - 200 kWh/m ²	پنجره‌های دوجداره با قابلیت حفظ حرارت داخلی	سایه‌بان‌های افقی کم‌ارتفاع یا بدون سایه‌بان برای بهره‌برداری از نور خورشید
بهار	جنوب، جنوب‌غربی	حدود ۵۰- ۶۰ درجه	500 - 600 kWh/m ²	پنجره‌های دوجداره با شیشه Low-E و استفاده از پرده‌ها	سایه‌بان‌های نیمه‌متحرک یا قابل تنظیم برای محافظت در برابر تابش گرم تابستانی

مأخذ: نگارنده

معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

در این پژوهش، دو مدرسه ابتدایی واقع در شهر رشت، استان گیلان، به‌عنوان نمونه‌های مطالعاتی انتخاب شده‌اند. انتخاب این مدارس با توجه به موقعیت اقلیمی مشترک، نوع کاربری آموزشی، و تفاوت در ویژگی‌های معماری و زیرساخت‌های انرژی صورت گرفته است. مدرسه مهرآیین یکی از مدارس ابتدایی غیرانتفاعی واقع در منطقه‌ی مرکزی شهر رشت است که در سال‌های اخیر با هدف ارتقاء کیفیت آموزشی و ایجاد محیطی ایمن و بهینه برای یادگیری کودکان طراحی شده است. بنای مدرسه دارای طراحی نسبتاً مدرن بوده و از مصالح متداول در اقلیم مرطوب گیلان بهره گرفته شده است. سیستم روشنایی مدرسه عمدتاً مبتنی بر نور مصنوعی با پنجره‌هایی با ابعاد متوسط است که تهویه‌ی فضاها را عمدتاً از طریق سیستم‌های مکانیکی تأمین می‌کند. این مدرسه فاقد سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر است و مصرف انرژی در آن عمدتاً به شیوه‌ی سنتی مدیریت می‌شود. مدرسه آفرینش در یکی از مناطق جنوبی‌تر شهر رشت قرار دارد و در طراحی آن تلاش شده است تا ارتباط بیشتری با فضای سبز و نور طبیعی برقرار شود. این مدرسه دارای پنجره‌هایی بزرگ‌تر با جهت‌گیری مناسب‌تر نسبت به مسیر خورشید بوده و تهویه طبیعی نقش بیشتری در تأمین آسایش حرارتی آن ایفا می‌کند. با اینکه همچنان از سیستم‌های رایج گرمایش و سرمایش بهره می‌برد، اما به‌کارگیری سایه‌بان‌های ثابت و متحرک برای کنترل تابش مستقیم آفتاب، از ویژگی‌های قابل توجه این مدرسه است. همچنین

تلاش‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق عایق‌بندی پوسته‌ی ساختمان انجام شده است، که آن را به نمونه‌ای مناسب جهت مقایسه با مدارس سنتی‌تر تبدیل می‌کند.



شکل ۳: مدل‌سازی مدرسه آفریش جهت بررسی عملکرد انرژی ساختمان

مآخذ: نگارنده



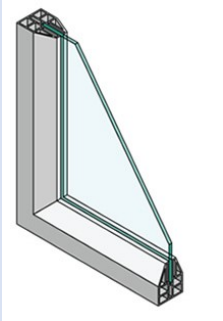
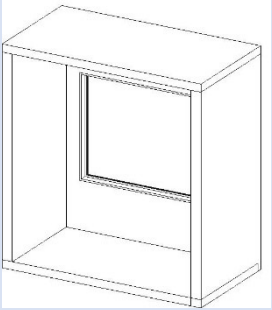
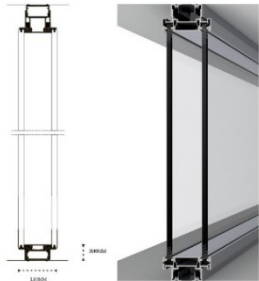
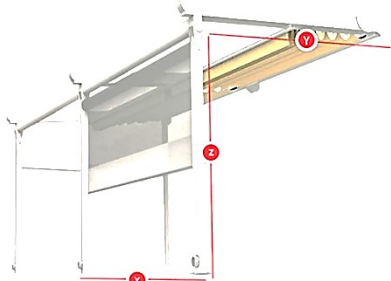
شکل ۴: مدل‌سازی مدرسه آفریش جهت بررسی عملکرد انرژی ساختمان

مآخذ: نگارنده

بحث و یافته‌ها

در این بخش، داده‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی انرژی دو دبستان مهرآیین و آفریش با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder (مبتنی بر موتور شبیه‌سازی EnergyPlus) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هر دو ساختمان در موقعیت مکانی یکسان (شهر رشت) با شرایط اقلیمی یکسان شبیه‌سازی شده‌اند. تنها تفاوت در نوع سایه‌بان‌ها (ثابت و متحرک) و طراحی بازشوها (نوع پنجره‌ها) است.

جدول ۶: جزئیات پنجره دوجداره و سایبان

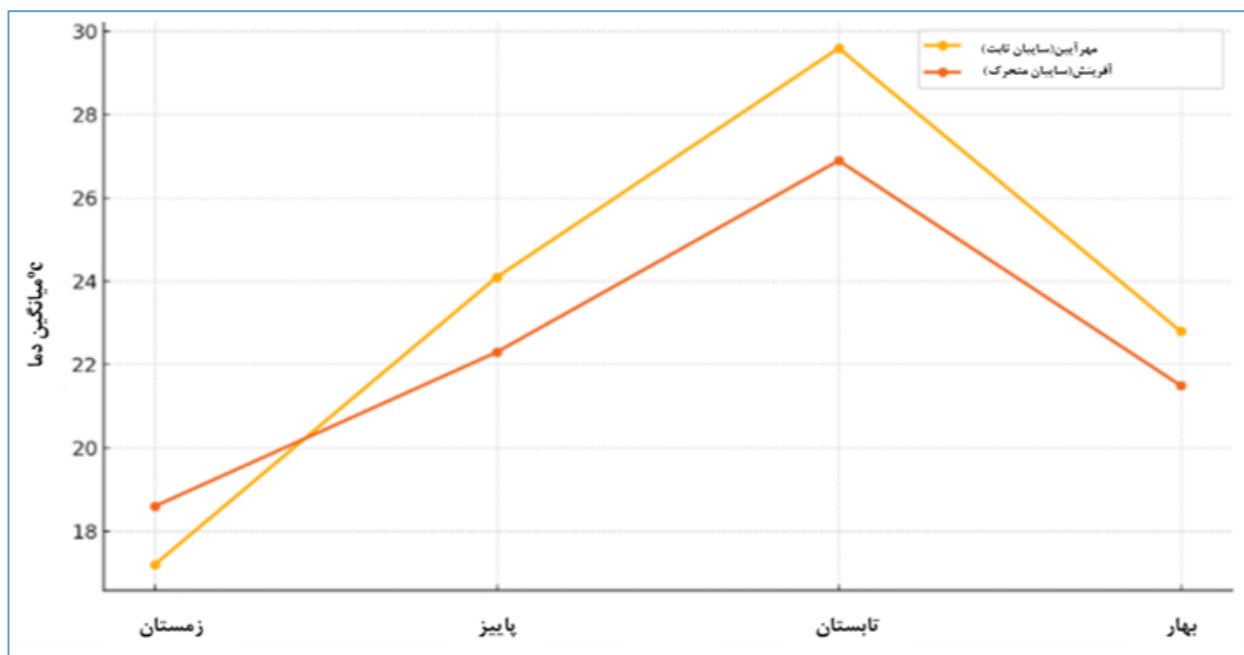
نمونه موردی	پنجره دوجداره مورد استفاده	سایبان‌ها
مدرسه مهرآیین		
مدرسه آفرینش		

مأخذ: نگارنده

شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از سایه‌بان‌های متحرک در مدرسه آفرینش باعث کاهش نوسانات دمایی فضاها و آموزشی در مقایسه با سایه‌بان ثابت در مدرسه مهرآیین شده است. در فصل تابستان، دمای متوسط داخلی کلاس‌ها در آفرینش حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از مهرآیین ثبت شده است. در زمستان نیز، پنجره‌های دو جداره در هر دو مدرسه باعث کاهش اتلاف حرارتی شده‌اند، اما در مهرآیین به دلیل عدم امکان تنظیم سایه‌بان، تابش خورشید به اندازه کافی وارد نشده و دمای داخلی کاهش یافته است.

جدول ۷: مقایسه دمای داخلی

فصل	مهرآیین (سایه‌بان ثابت)	آفرینش (سایه‌بان متحرک)
بهار	22.8°C	21.5°C
تابستان	29.6°C	26.9°C
پاییز	24.1°C	22.3°C
زمستان	17.2°C	18.6°C



شکل ۵: نمودار تغییرات دما

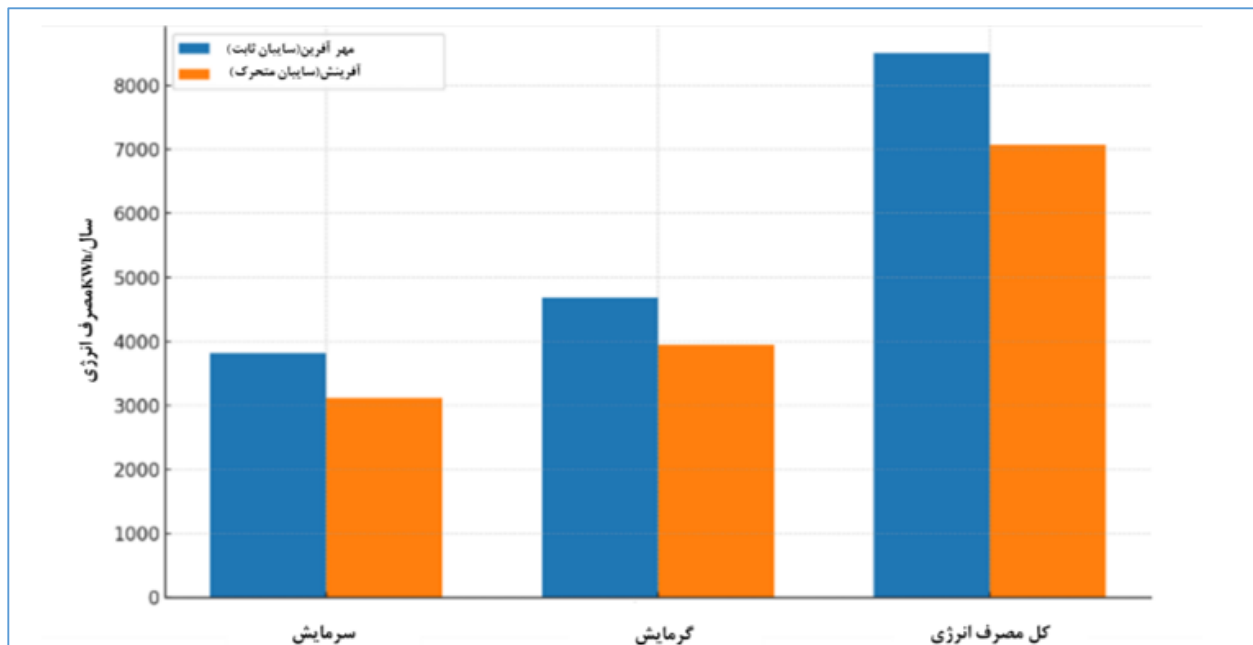
مأخذ: نگارنده

در بخش بعدی، میزان مصرف انرژی سالیانه برای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی بررسی شد. برای برآورد مصرف سالیانه انرژی در حوزه سرمایش و گرمایش مدارس مورد مطالعه، از ترکیبی از داده‌های میدانی و منابع استاندارد بهره گرفته شد. در مرحله نخست، از طریق مصاحبه با مسئولان تأسیسات مدارس و بررسی قبوض مصرف انرژی (برق و گاز) طی یک سال آموزشی (۱۴۰۱-۱۴۰۲)، میانگین مصرف ماهیانه استخراج و سپس به مصرف سالیانه تعمیم داده شد. در ادامه، داده‌های به‌دست‌آمده با مقادیر استاندارد ارائه‌شده در منابع معتبر ملی و بین‌المللی مقایسه و تطبیق داده شدند تا از صحت نتایج اطمینان حاصل شود. یکی از منابع اصلی مورد استفاده، دستورالعمل‌های انرژی در بخش ساختمان منتشر شده توسط سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران و همچنین *ASHRAE Handbook – HVAC Applications* (2021) بوده است، که در آن‌ها نرخ‌های تقریبی مصرف انرژی بر اساس نوع اقلیم، نوع کاربری ساختمان، و مشخصات فیزیکی آن ارائه شده‌اند. نتایج نشان داد که دبستان آفرینش به دلیل قابلیت تنظیم سایه‌بان‌ها در پاسخ به جهت تابش و شدت نور، حدود ۱۵٪ مصرف انرژی کمتری در سال دارد. همچنین، پنجره‌های دو جداره با ضریب انتقال حرارتی پایین نقش مؤثری در کاهش بار گرمایشی ایفا کرده‌اند.

جدول ۸: مقایسه مصرف انرژی

نوع سیستم	مهرآیین (kWh/سال)	آفرینش (kWh/سال)
سرمایش	3820	3120
گرمایش	4680	3950
روشنایی طبیعی	63% استفاده	77% استفاده
کل مصرف انرژی	8500	7070

منبع: نگارنده



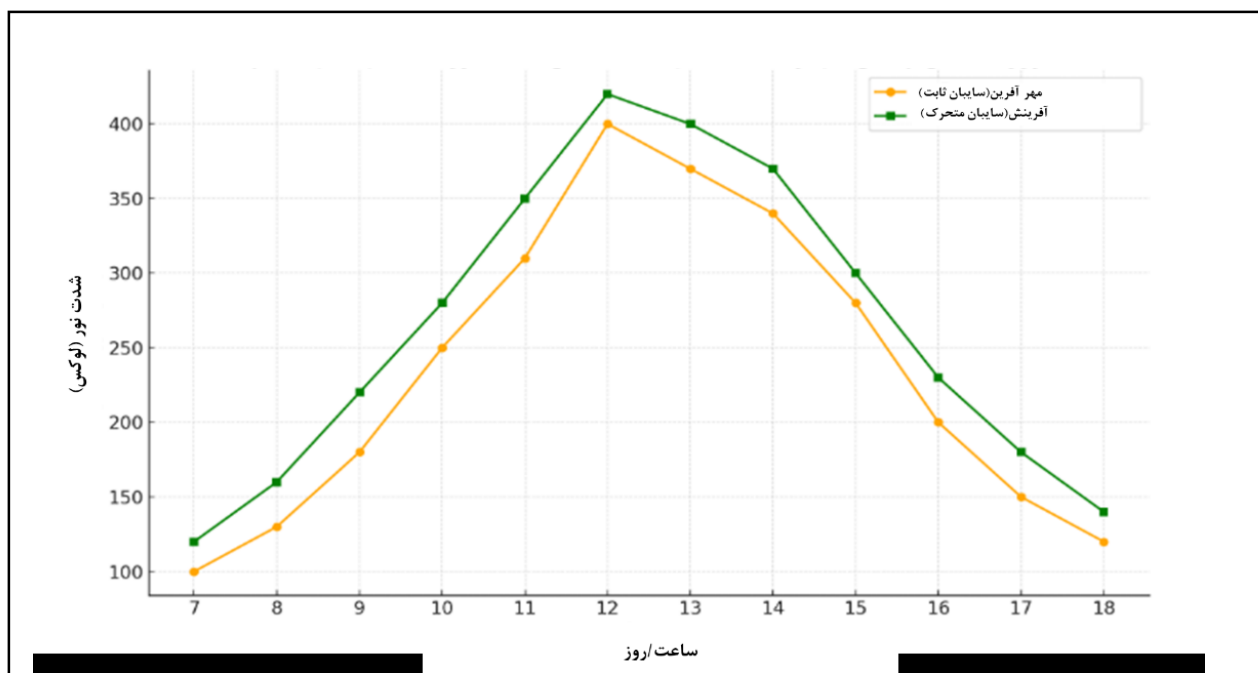
شکل ۶: نمودار مصرف انرژی

مأخذ: نگارنده



شکل ۷: نمودار تفکیک مصارف سالانه

مآخذ: نگارنده



شکل ۸: نمودار شدت نور

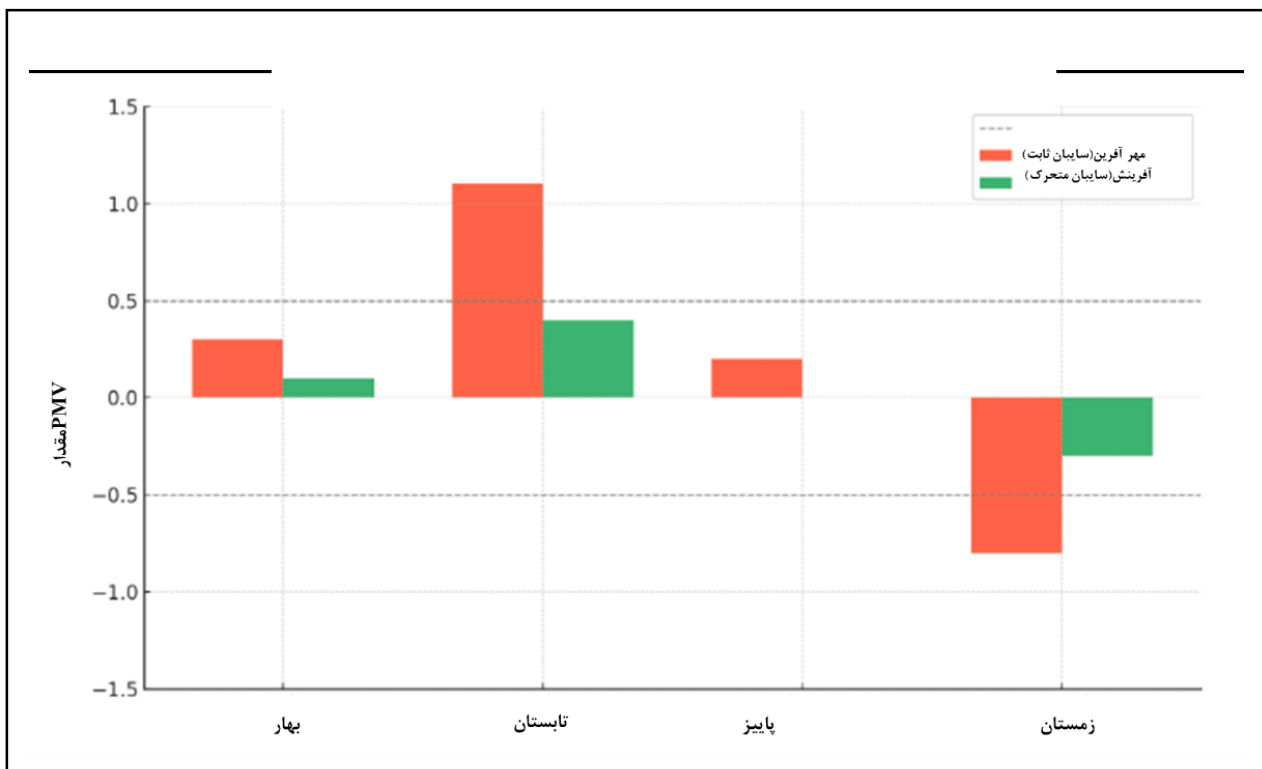
مآخذ: نگارنده

در ساختمان آفرینش، استفاده از سایه‌بان متحرک باعث شد کنترل بهتری بر شدت و مدت زمان تابش نور طبیعی حاصل شود. این مسئله منجر به کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی شد. در مقابل، در مدرسه مهرآیین با سایه‌بان ثابت، در برخی ساعات روز نور بیش‌ازحد یا کمبود روشنایی مشاهده شده است. برای ارزیابی آسایش حرارتی، از شاخص PMV (Predicted Mean Vote) استفاده شد. میانگین مقادیر PMV در آفرینش در محدوده توصیه‌شده ASHRAE 55 (بین -۰,۵ تا +۰,۵) باقی ماند، در حالی که در مهرآیین در تابستان به سمت مقادیر بالاتر (گرمای زیاد) تمایل داشت.

جدول ۹: (PMV) در کلاس‌ها

فصل	مهرآیین PMV	آفرینش PMV
بهار	+0/3	+0/1
تابستان	+1/1	+0/4
پاییز	+0/2	0/0
زمستان	-0/8	-0/3

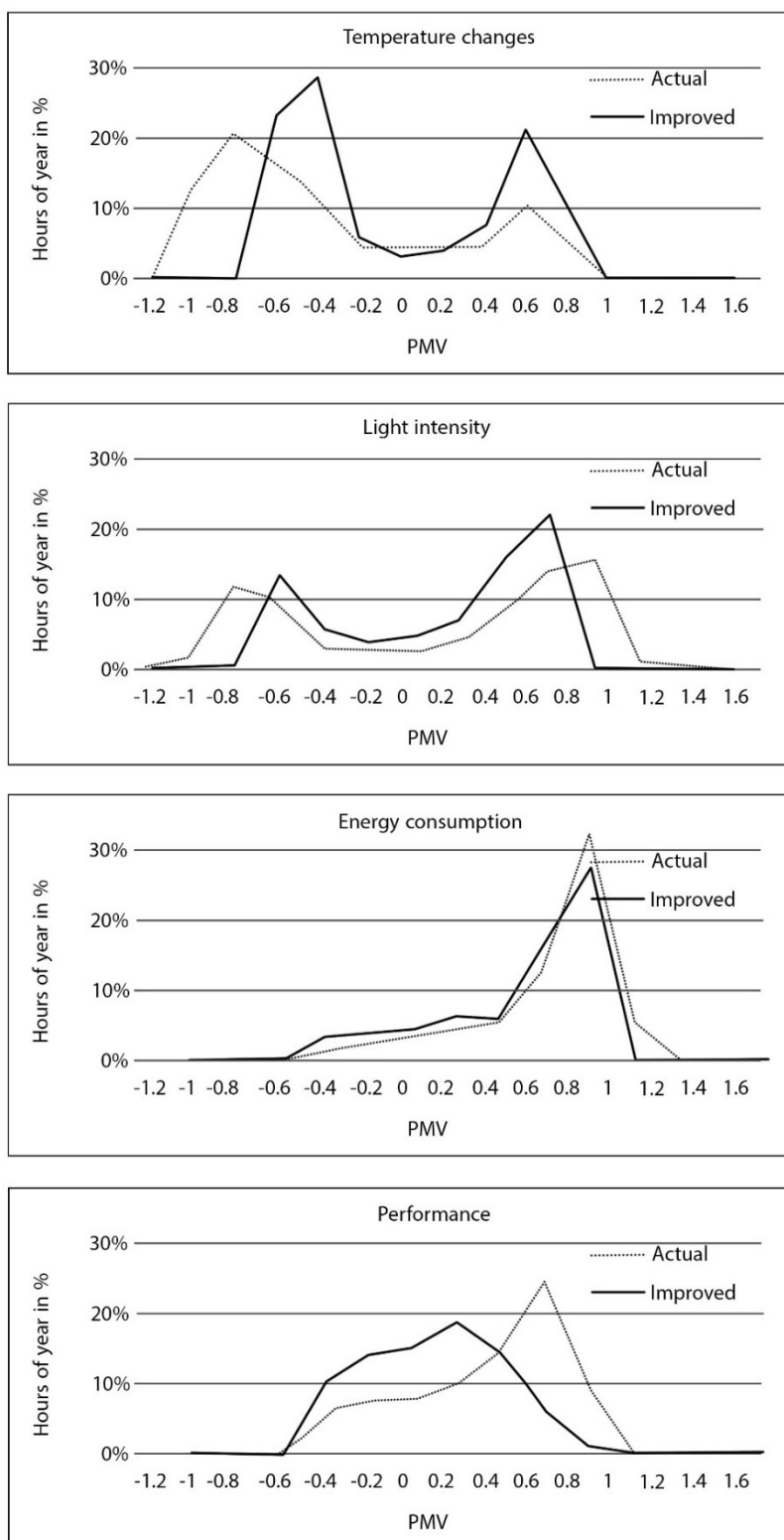
مآخذ: نگارنده



شکل ۹: نمودار مقدار PMV

مآخذ: نگارنده

شاخص PMV یک معیار برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های داخلی است که توسط Fanger (1970) معرفی شده است. این شاخص به‌طور گسترده برای سنجش راحتی انسان‌ها استفاده می‌شود و بر اساس عوامل مختلفی مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت هوا، و تابش حرارتی محیط محاسبه می‌شود. PMV به‌صورت عددی از -۳ تا +۳ نمایش داده می‌شود، که به‌ترتیب نشان‌دهنده شرایط بسیار سرد تا بسیار گرم است. مقدار بهینه PMV معمولاً در محدوده -۰,۵ تا +۰,۵ قرار دارد که نشان‌دهنده شرایط آسایش حرارتی است. در این پژوهش، شاخص PMV برای ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس‌های درس دو دبستان مورد نظر استفاده شد. مقادیر PMV در فصول مختلف سال برای هر دو مدرسه به‌طور جداگانه محاسبه شده است تا تفاوت‌های بین شرایط محیطی در سیستم‌های مختلف پنجره‌ها و سایه‌بان‌ها بررسی گردد. در نتیجه تحلیل‌ها، مقادیر PMV در مدرسه آفرینش که از سایه‌بان‌های متحرک استفاده می‌کند، همواره در محدوده آسایش حرارتی قرار داشتند و هیچ‌گاه از مقادیر +۰,۵ یا -۰,۵ فراتر نرفتند، که نشان‌دهنده شرایط بهینه آسایش حرارتی است. این در حالی است که در مدرسه مهرآیین، که سایه‌بان‌های ثابت مورد استفاده قرار گرفته، در تابستان مقادیر PMV به‌شدت بالا (گرمای زیاد) و در زمستان به‌شدت پایین (سردی زیاد) بود. این نشان‌دهنده عدم توانایی سایه‌بان‌های ثابت در کنترل تابش خورشید در ساعات مختلف روز و تغییرات فصلی است. در جدول ۹، میانگین مقادیر PMV در فصول مختلف برای هر دو مدرسه آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در مدرسه آفرینش که از سایه‌بان متحرک بهره‌برداری شده، مقادیر PMV در تمام فصول در حد قابل قبول و در محدوده توصیه‌شده ASHRAE 55 قرار دارند، در حالی که در مهرآیین، به‌ویژه در تابستان، مقادیر PMV به‌طور قابل توجهی بالاتر از حد توصیه‌شده بوده است.



شکل ۱۰: تغییر در شاخص آسایش حرارتی PMV برای ساختمان واقعی (مرجع) و بهبود یافته در موقعیت آب و هوایی
مآخذ: نگارنده

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، که با هدف ارزیابی تأثیر ترکیب پنجره‌های دوجداره با سیستم‌های سایه‌بان ثابت و متحرک در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های آموزشی در اقلیم معتدل و مرطوب رشت انجام شد، حاکی از آن است که این عناصر غیرفعال معماری، نقش کلیدی در کنترل شرایط محیطی و بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا می‌کنند. تحلیل داده‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder نشان داد که سیستم‌های سایه‌بان متحرک، به‌واسطه قابلیت تطبیق با موقعیت خورشید در ساعات مختلف روز و فصول سال، تأثیر بیشتری نسبت به سایه‌بان‌های ثابت در کاهش بار سرمایشی داشته‌اند. این عملکرد در فصول گرم سال به‌ویژه تابستان، بسیار محسوس بوده و تا حدود ۲۵٪ کاهش در مصرف انرژی سرمایشی نسبت به وضعیت پایه را نشان داده است. همچنین، ترکیب این سایه‌بان‌ها با پنجره‌های دوجداره باعث کاهش محسوس تبادل حرارتی و در نتیجه، ارتقاء آسایش حرارتی کاربران در ساعات حضور دانش‌آموزان شده است. در پاسخ به سؤال نخست پژوهش باید گفت که سیستم‌های سایه‌بان، به‌ویژه نوع متحرک، نقشی تعیین‌کننده در کنترل تابش خورشیدی و کاهش اتلاف انرژی دارند و استفاده از آن‌ها در مدارس، می‌تواند مصرف انرژی را به‌شکل معناداری کاهش دهد. پاسخ سؤال دوم نیز به‌روشنی از نتایج قابل استخراج است؛ ترکیب پنجره‌های دوجداره با سایه‌بان‌های متحرک، بهترین عملکرد را در میان حالت‌های مورد بررسی از خود نشان داده و نه تنها موجب کاهش هزینه‌های انرژی شده، بلکه شرایط زیست‌پذیری فضای آموزشی را نیز بهبود بخشیده است.

مقایسه این نتایج با پژوهش‌های مشابه نیز مؤید یافته‌های حاضر است. برای نمونه، در پژوهش Karava et al. (2012) که به بررسی اثر سایه‌بان‌های تطبیق‌پذیر در ساختمان‌های آموزشی پرداخته بود، مشخص شد که استفاده از سایه‌بان‌های متحرک منجر به بهبود ۳۰ تا ۴۰ درصدی شاخص آسایش حرارتی در کلاس‌ها شده است. همچنین، پژوهش Zolfaghari et al. (2019) در اقلیم مشابه شمال ایران، اثربخشی ترکیب مصالح حرارتی مناسب با سایه‌بان‌های قابل تنظیم را در کاهش مصرف انرژی مدارس تأیید کرده است. در نتیجه، می‌توان گفت استفاده هوشمندانه از سیستم‌های غیرفعال مانند پنجره‌های دوجداره و سایه‌بان‌های متحرک، به‌عنوان راهکاری کم‌هزینه، موثر و سازگار با محیط‌زیست، باید در طراحی معماری مدارس و ساختمان‌های آموزشی اقلیم‌های مشابه مورد توجه جدی قرار گیرد. این پژوهش، ضمن ارائه یک چارچوب قابل تعمیم برای طراحی پایدار در اقلیم‌های مرطوب، زمینه‌ساز توسعه راهبردهای صرفه‌جویانه در مصرف انرژی و ارتقای کیفیت فضاهای آموزشی است.

منابع و مآخذ

- ۱) اردوزاده، نسرين، برنا، رضا، جبرائيل، قربانيان، ومرشدي، جعفر (۱۴۰۳). تعيين مناسب ترين ايام تحصيلي دانش آموزان شهر اهواز بر اساس نتايج شاخص مشاور اقليم. *نشریه اندیشه های نو در علوم جغرافیایی*، ۶(۲)، ۲۹-۴۸.
- ۲) نوروزی، سجاد، اسدیان، فریده، دریاباری، سید جمال الدین، وبرنا، رضا (۱۴۰۳). اقليم و معماری با تاکیدي بر دو مولفه جهت ابنيه ها و تابش (نمونه موردی: کلانشهر اهواز). *نشریه اندیشه های نو در علوم جغرافیایی*، ۵(۲)، ۲۳-۴۲.
- 3) Ahmed, R., & Johnson, M. (2021). The impact of shading devices on energy consumption in educational buildings. *Energy and Buildings*, 13(2), 112–123.
- 4) Alwetaishi, M. (2021). Impact of Window to Wall Ratio on Energy Loads in Hot Regions: A Study of Building Energy Performance. *Energies*, 14(4), 1080
- 5) Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (2012). Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. *Energy and Buildings*, 44, 81–87.
- 6) ASHRAE. (2023). *ASHRAE handbook—Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- 7) Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., & Williams, M. (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, 215–223.
- 8) Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., & Kobbacy, K. (2015). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 89, 118–133.
- 9) Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2013). A review on environmental sustainability and energy efficiency in buildings. *Building and Environment*, 68, 1–13.
- 10) Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. Wiley.
- 11) Gratia, E., & De Herde, A. (2007). Green roofs and solar shading: Impact on cooling energy need. *Energy and Buildings*, 39(5), 505–513.
- 12) Hescong, L. (2002). Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal*, 44(6), 65–67.
- 13) Iranian Institute of Architecture and Urban Planning & University of Guilan. (2018). *Comparative study of the performance of awnings and windows in schools in the north of the country*.
- 14) JISC. (2006). *Designing spaces for effective learning: A guide to 21st-century learning space design*.
- 15) Karami, A., Hashemi, S. A., & Nabati, M. (2017). Energy performance of buildings in northern Iran: A case study of the city of Rasht. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 578–589.
- 16) Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2012). Evaluation of wind-driven rain on building facades using CFD: The case of low-rise buildings. *Building and Environment*, 57, 35–48.
- 17) Mohammadi, F., Bayat, M., & Jafari, R. (2019). Energy performance analysis of primary schools in hot and dry climates. *Iranian Climate Architecture Journal*.

- 18) Mozaffari, M., Deylami, M., & Soleimani, B. (2018). Climatic classification of the city of Rasht for architectural design. *Journal of Environmental Engineering*, 144(3), 04018017.
- 19) Olgyay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- 20) Olgyay, V., & Seruto, C. (2010). Whole-building retrofits: A gateway to climate stabilization. *Environmental Building News*, 19(7), 1–10.
- 21) Sharifi, A., Naghibi, S. A., Kabiri, K., & Murayama, A. (2022). A review of climate-sensitive urban design strategies for mitigating urban heat island effects. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103498.
- 22) Smith, J., Brown, T., & Lee, K. (2020). Energy efficiency in modern buildings: The role of double-glazed windows and shading systems. *Journal of Sustainable Architecture*, 12(3), 45–58.
- 23) Taleghani, M., Smith, J., & Johnson, A. (2023). Evaluation of passive cooling strategies for sustainable architecture in arid climates. *Journal of Building Engineering*, 68, 102982.
- 24) U.S. Department of Energy. (2017). *Energy efficiency trends in residential and commercial buildings*.
- 25) Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589.
- 26) Wong, N. H., & Huang, B. (2004). Comparative study of the indoor thermal environment of naturally ventilated classrooms. *Building and Environment*, 39(1), 43–50.
- 27) Zolfaghari, A., Farhadi, H., & Ghasemi, F. (2019). Evaluating the energy performance of adjustable shading devices in educational buildings in humid climates of northern Iran. *Journal of Building Performance*, 10(1), 45–58.