



## The Influences of Horizontal External Window Shading on Energy Savings in the Office Building

**Athena Rafieepour**, Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Hasan Irvani**, Department of Occupational Health Engineering and Safety, Damghan School of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.

**Hamidreza Jafari Nodoushan**, Student Research Committee, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Mohammad Javad Jafari**, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Iraj Alimohammadi**, Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Saber Moradi Hanifi**, Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

✉ **Mohammad Javad Afshari**, (\*Corresponding author), Air Pollution Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. [mohammad.j.afshari13@gmail.com](mailto:mohammad.j.afshari13@gmail.com)

### Abstract

**Background and aims:** Buildings consume more than 40% of global energy, significantly contributing to carbon dioxide emissions. Windows play a key role in heat exchange between indoor and outdoor environments, and external shading can notably impact building heat transfer. This study investigates the effect of horizontal external shading on energy savings in buildings.

**Methods:** In this study, external shading was designed and modeled in the form of horizontal blades perpendicular to the window surfaces for a 10-story office-commercial building in Tehran. The blades were designed such that the resulting shadow would fully cover the window surfaces, with a focus on August 1 (the hottest day of the year), when the highest direct solar radiation hits the window surfaces. The effect of the designed external shading on the building's cooling load was evaluated using the Carrier HAP software.

**Results:** The results indicated that the eastern and western windows have the most significant impact on the building's cooling load in the morning and afternoon, respectively. The proposed shading reduced the cooling load demand by 9.23%, 11.33%, and 16.37% in July, August, and September, respectively. This led to an electricity cost saving of 108 US dollars during the period. Implementing this shading in a megacity like Tehran could result in substantial energy savings during the summer and enhance thermal comfort.

**Conclusion:** External shading systems effectively contribute to energy savings, improved thermal comfort, and aesthetic goals. Further research on various shading structures would be beneficial in this context.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

### Keywords

Shading

Thermal Comfort

Energy Savings

Cooling Load

Received: 2025/03/5

Accepted : 2025/07/28

## INTRODUCTION

Buildings are major contributors to global energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, exacerbating climate change and environmental degradation. Rising energy costs and dependence on fossil fuels have made energy efficiency a priority, especially in developed countries. Since the 1990s, research has focused on reducing building energy use while maintaining occupant comfort. The European Union aims to cut greenhouse gas emissions in the building sector by 60% by 2030, emphasizing energy-efficient solutions. Windows play a crucial role in energy efficiency, as they regulate heat exchange and indoor thermal comfort. Various strategies, such as renewable energy systems, dynamic glazing, and traditional shading, have been explored to reduce thermal transfer. However, dynamic glazing faces challenges such as high costs, wintertime darkness, and production constraints. External shading remains a highly effective method for controlling solar heat gain, blocking excessive sunlight in summer while allowing beneficial solar ingress in winter. Shading devices are classified as fixed or movable. Although automatic shading systems provide adaptability, they are expensive, complex, and prone to performance errors due to climatic variations. In contrast, fixed external shading is cost-effective, easy to implement, and ensures consistent energy savings without user intervention. Given Iran's peak electricity demand from mid-July to mid-September and its ongoing reliance on fossil fuels, energy-saving strategies are crucial. This study investigates the effect of horizontal external shading on reducing the summer energy consumption of an office-commercial building.

## METHODOLOGY

The external shading system analyzed in this study comprised parallel horizontal blades ( $0.2 \times 1$  m) positioned perpendicular to the window surface. Blade spacing was determined based on shadow overlap to ensure complete window coverage. The design was optimized for July 23, the hottest day of the year, with maximum direct sunlight. The study assessed the impact of shading on cooling load reduction and energy savings from July to September. The investigation focused on a 10-story office-commercial building in Tehran with a total area of 600 m<sup>2</sup>. The south-facing façade, spanning 30 meters, features full-length windows on each floor. Each 200-unit floor contains 24 windows on the north and south sides, and 16 on the east and west. The windows are single-glazed with non-insulated metal frames, set within a 10 cm cavity.

Considering Tehran's geographical characteristics and meteorological data, correction coefficients for altitude, window frame type, dew point, dust, and

glass properties were determined as 1.028, 1.17, 1.19, 0.85, and 0.25, respectively. The external shading was specified with a half-bright finish. Additionally, based on meteorological records over the past five years, the average summer temperature of 38.9°C was incorporated into the design parameters. At this stage, the solar heat gain through unshaded windows across different orientations on July 23 was calculated using Carrier HAP (Hourly Analysis Program, Version 5.1). Subsequently, employing Excel 2019 and formula (1), the number of horizontal shading blades and their installation intervals for windows in each geographical direction were calculated based on environmental conditions and the radiation angle during the hours when maximum solar heat gain through the window occurs.

Formula. 1. Length of Overhang  $\times$  Longitudinal shadow coefficient = Length of Shade

At the end of the phase, the Carrier HAP (Hourly Analysis Program, Version 5.1) was used to examine the effectiveness of the proposed external shading in reducing building energy consumption during the summer. The studied building utilized fluorescent lamps for lighting, with an average of two occupants per room. Essential electrical equipment, including computers, printers, phonographs, telephones, and cooling-heating systems, was considered in the Carrier HAP software. The heating system comprised a hot water boiler with a central sensor, distributing heat through radiators, while cooling was provided by gas coolers with a capacity of 9,000 BTU/h.

Occupancy duration in July, August, and September was 25, 26, and 23 days, respectively, from 07:00 to 21:00. The study further evaluated the impact of shading on energy and cost savings by quantifying the reduction in electricity consumption (kWh) and the corresponding costs, based on the electricity tariff rates for general consumption approved by the Iran Power Generation, Transmission, and Distribution Company (TAVANIR).

## RESULTS

Figure 1 illustrates the heat gain from solar radiation through the building's windows on July 23, the hottest day of the year. The results indicate that the highest heat gain occurs at 7:00 AM for eastern windows, 12:00 PM for southern windows, 5:00 PM for western windows, and 6:00 PM for northern windows.

The study found that 15 horizontal shading blades are required for the eastern and western windows, 8 for the northern windows, and 3 for the southern windows. Table 1 details the blade count and spacing corresponding to the maximum solar heat gain on July 23 (see Figure 2).

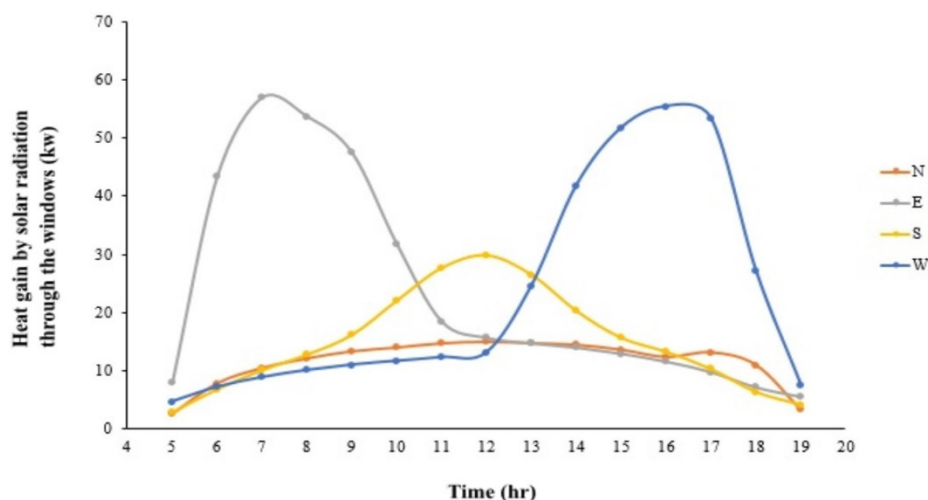


Fig. 1. Heat gain by solar radiation through the windows in 23 July

Table 1. The number of shading blades and their installation intervals for maximum heat gain conditions

| Geographical Orientation of the Window | Time (hr) | Solar Heat Gain Factor (Btu/hr.ft <sup>2</sup> ) | Heat saving coefficient in building materials (lb/ft <sup>2</sup> ) | Azimuth (D°) | Altitude (D°) | Longitudinal shade height for each shade blade (ft) | number of shadings | Installation intervals (ft) |
|----------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Eastern                                | 7:00      | 161                                              | 0.38                                                                | 83           | 24            | 0.27                                                | 15                 | 0.26                        |
| Western                                | 17:00     | 161                                              | 0.51                                                                | 277          | 24            | 0.27                                                | 15                 | 0.26                        |
| South                                  | 12:00     | 69                                               | 0.58                                                                | 180          | 70            | 1.83                                                | 3                  | 1.3                         |
| North                                  | 18:00     | 24                                               | 0.37                                                                | 286          | 12            | 0.55                                                | 8                  | 0.50                        |

\*: Decimal degrees

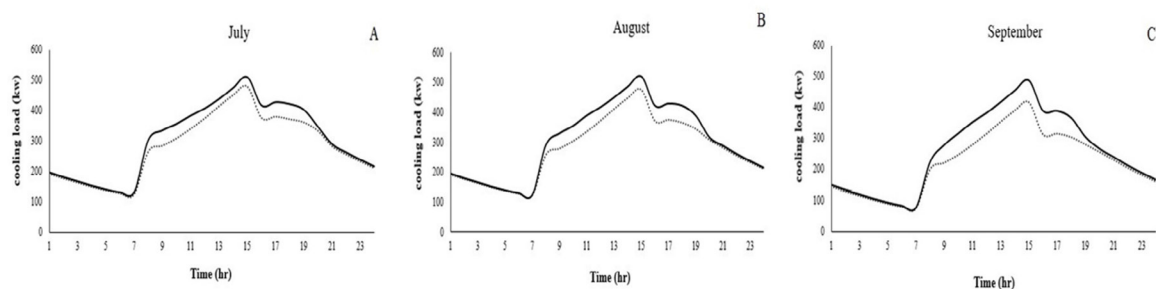


Fig. 2. Comparison of the cooling load for external shading and non-external shading modes in summer (Continuous lines: before design; Dashed lines: after design)

The impact of the designed external shading on the building's cooling load was analyzed using Carrier HAP software. Figure 2 presents the hourly cooling load calculations for all window orientations (east, west, north, and south) over July, August, and September, comparing conditions before and after shading installation.

Fig. 2. Comparison of the cooling load for external shading and non-external shading modes in summer (Continuous lines: before design; Dashed lines: after design)

As illustrated in Figure 2, cooling load demand

remains unchanged between 8:00 PM and 7:00 AM due to the absence of solar radiation. The increase at 7:00 AM results from solar gains through the eastern windows and internal heat sources. The sharp decline between 3:00–4:00 PM corresponds to the closure of administrative units and reduced equipment use, lowering cooling demand. Table 2 presents the building's average cooling load during daylight hours (7:00 AM–9:00 PM) under shaded and unshaded conditions across July, August, and September. The results indicate that external shading reduces the cooling load by 12% over the three-month period.

**Table 2.** Estimation of the efficiency of the external shading on reducing the building's cooling load in during 7:00 to 21:00 hr

|                                                         | Average building's cooling load in July (W/h) |              |                | Average building's cooling load in August (W/h) |              |                | Average building's cooling load in September (W/h) |              |                |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|----------------|-------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------------------------------------------|--------------|----------------|
|                                                         | Before design                                 | After design | Reduction rate | Before design                                   | After design | Reduction rate | Before design                                      | After design | Reduction rate |
|                                                         | 384629.9                                      | 349123.2     | 35506.7        | 386288.5                                        | 342500.5     | 43788.1        | 344906.6                                           | 288445.3     | 56461.3        |
| Effect of external shading on reducing cooling load (%) | 9.23                                          |              |                | 11.33                                           |              |                | 16.37                                              |              |                |

The results of the cost savings calculations—based on the step-by-step electricity consumption method provided by the Iran Electricity Distribution Company in 2024—indicate that, given the reduction rate, the estimated savings in electricity consumption over the three-month summer period amount to approximately US\$108.

## DISCUSSION

This study designed horizontal external shading with parallel blades positioned perpendicular to the window surface and examined its impact on reducing summer energy consumption in an office-commercial building. The study found that eastern windows had the highest impact on cooling load increase, with western, southern, and northern windows contributing 97%, 64%, and 49.1% of this impact, respectively. This highlights the minimal influence of north-facing windows on cooling demand. Since the sun predominantly follows a southern path in the Northern Hemisphere, northern façades mainly receive diffuse sunlight, resulting in lower solar heat gains.

This finding is consistent with previous research, including Karimi *et al.* (2023), which attributes the reduced cooling load of northern windows to their limited direct solar exposure. Consequently, the design of external shading devices for north-facing windows is of lesser importance, as supported by other studies noting their minimal impact on energy performance in north-facing buildings. However, Al-Hawail *et al.* (2019) emphasize that the necessity of shading north-facing windows depends on the building's location. In tropical and arid climates, full shading on all façades is essential to minimize heat gain year-round, making north-facing windows equally important. Similarly, Kabanshi *et al.* (2023) found that in Northern Hemisphere cities, north-facing windows experience the lowest cooling demand due to reduced solar exposure. Conversely, in the Southern Hemisphere, south-facing windows receive less solar radiation, leading to the lowest annual energy demand, as observed in cities like Harare. This underscores the need to prioritize shading for south-facing windows in Southern Hemisphere regions.

The study identified the optimal shading configuration as 15 blades for eastern and western windows, 8 for northern, and 3 for southern.

Variations in blade count resulted from differences in solar altitude and azimuth during peak radiation periods. East-facing windows required more blades due to lower solar altitude, while south-facing windows, exposed to nearly overhead sunlight, needed fewer. These findings emphasize the necessity of incorporating solar geometry into shading design to enhance energy efficiency.

The evaluation of external shading efficiency during July, August, and September showed a 12% reduction in cooling load, leading to approximately US\$108 in electricity savings over the summer. Although seemingly modest, these savings become substantial on a national scale and over extended periods. These results emphasize the role of optimized shading design in improving energy efficiency and reducing cooling demand in buildings.

## CONCLUSION

Windows significantly impact building energy consumption, making their optimization through manufacturing, control, or coating essential for energy savings. Additionally, strategic window design enhances daylight utilization, views, aesthetics, and urban architecture. Therefore, the proper placement of shading devices is crucial for maximizing energy efficiency.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their sincere gratitude to the Occupational Health Research Center at Iran University of Medical Sciences for providing financial support for this study (Grant Number: IR.IUMS.REC.1403.220).

## DECLARATION OF INTEREST

The authors declare that they have no financial or personal interests, whether direct or indirect, that could be perceived as a conflict of interest in relation to this research.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Athena Rafieepour and Mohammad Javad Jafari: Conceptualization, guidance, and supervision of the research

Athena Rafieepour, Hassan Iravani, and Mohammad Javad Afshari: Model design and implementation

Hamidreza Jafari: Literature review

Athena Rafieepour, Mohammad Javad Afshari, and  
Hamidreza Jafari: Manuscript writing

Saber Moradi Hanifi and Iraj Alimohammadi:  
Conceptual review

#### OPEN ACCESS

©2025 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a

credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

#### ETHICAL CONSIDERATION

The study protocol was reviewed and approved by the Ethics Committee of Iran University of Medical Sciences (IUMS) under the ethics code IR.IUMS.REC.1403.220.

#### CODE OF ETHICS

IR.IUMS.REC.1403.220.

---

#### How to cite this article:

Athena Rafieepour, Hasan Iravani, Hamidreza Jafari Nodoushan, Mohammad Javad Jafari, Iraj Alimohammadi, Saber Moradi Hanifi, Mohammad Javad Afshari. The Influences of Horizontal External Window Shading on Energy Savings in the Office Building. Iran Occupational Health. 2025 (01 Sep);22:14.

**\*This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**





## بررسی تأثیر طراحی سایبان های افقی در قسمت بیرونی پنجره بر صرفه جویی در مصرف انرژی یک ساختمان اداری

**آتنا رفیعی پور:** مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**حسن ایرونی:** گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی، دانشکده بهداشت دامغان، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.  
**حمیدرضا جعفری ندوشن:** کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.  
**محمد جواد جعفری:** گروه بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.  
**ایرج علیمحمدی:** مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**صابر مرادی حنیفی:** مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**محمد جواد افشاری:** (\* نویسنده مسئول) مرکز تحقیقات آلودگی هوا، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
mohammad.j.afshari13@gmail.com

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

سایبان  
آسایش حرارتی  
صرفه جویی در مصرف انرژی  
بار سرمایشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۶

**زمینه و هدف:** بیش از ۴۰ درصد از انرژی مصرفی جهان به ساختمان‌ها اختصاص دارد که سهم قابل توجهی در تولید دی‌اکسید کربن ایفا می‌کند. پنجره‌ها نقش مهمی در تبادل حرارتی بین محیط‌های داخلی و خارجی ایفا می‌کنند و سایبان‌های خارجی می‌توانند تأثیر قابل توجهی در انتقال حرارت ساختمان‌ها داشته باشند. این مطالعه تأثیر سایبان خارجی افقی بر صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها را بررسی می‌کند.

**روش بررسی:** در این مطالعه، سایبان خارجی به صورت تیغه‌های افقی عمود بر سطح پنجره‌ها برای یک ساختمان اداری - تجاری ۱۰ طبقه در تهران طراحی و مدلسازی شد. تیغه‌ها به گونه‌ای طراحی شدند که سایه ایجادشده توسط آن‌ها سطح پنجره‌ها را به‌طور کامل پوشش دهد. تمرکز طراحی بر روز اول مرداد، به‌عنوان گرم‌ترین روز سال با بیشترین میزان تابش مستقیم خورشید بر سطح پنجره‌ها، قرار داشت. تأثیر سایبان خارجی طراحی شده بر بار سرمایشی ساختمان مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Carrier HAP مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج این مطالعه نشان داد که برای پنجره‌های شرقی و غربی، ۱۵ تیغه افقی سایه‌انداز، برای پنجره‌های شمالی ۸ تیغه و برای پنجره‌های جنوبی ۳ تیغه مورد نیاز است. همچنین مطابق نتایج، پنجره‌های شرقی و غربی بیشترین تأثیر را بر بار سرمایشی ساختمان در صبح و بعد از ظهر دارند. استفاده از سایبان پیشنهادی باعث کاهش بار سرمایشی به میزان ۹/۲۳٪، ۱۱/۳۳٪ و ۱۶/۳۷٪ در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور شد. کاهش در هزینه برق مصرفی به دنبال کاهش بار سرمایشی ناشی از نصب تیغه‌های سایبان بر روی پنجره‌های ساختمان مورد مطالعه معادل ۱۰۸ دلار (سال ۱۴۰۳) برآورد شد.

**نتیجه گیری:** استفاده از سایبان در قسمت بیرونی پنجره‌ها عملکرد مطلوبی را از نظر صرفه‌جویی در انرژی، آسایش حرارتی و بهبود جنبه‌های زیبایی‌شناختی ارائه می‌دهند. انجام تحقیقات مشابه بر روی اشکال مختلف سازه‌های سایبان در این زمینه سودمند به نظر می‌رسد.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت کننده:** مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشگاه علوم پزشکی ایران.

شیوه استناد به این مقاله:

Athena Rafieepour, Hasan Irvani, Hamidreza Jafari Nodoushan, Mohammad Javad Jafari, Iraj Alimohammadi, Saber Moradi Hanifi, Mohammad Javad Afshari. The Influences of Horizontal External Window Shading on Energy Savings in the Office Building. Iran Occupational Health. 2025 (01 Sep);22:14.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

## مقدمه

ساختمان‌ها بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در سیستم‌های اقتصادی هستند و حدود یک‌سوم از کل انرژی و نیمی از برق جهانی را به خود اختصاص می‌دهند. این بخش مسئول تقریباً یک‌سوم از تولید جهانی دی‌اکسید کربن است (۱-۴). از سوی دیگر، مصرف انرژی منجر به گرمایش جهانی شده که می‌تواند باعث اختلال در اقلیم، تخریب اکوسیستم‌ها و به خطر افتادن محیط‌زیست انسانی شود (۵). افزایش قیمت انرژی‌های مصرفی، وابستگی آن‌ها به سوخت‌های فسیلی و کاهش دسترسی به این منابع از دیگر عواملی است که موضوع کاهش مصرف انرژی و تلاش برای کاهش تولید دی‌اکسید کربن را به یکی از اولویت‌های اصلی کشورهای توسعه‌یافته تبدیل کرده است (۶، ۷).

بر این اساس، از سال ۱۹۹۰، محققان در راستای مقابله با گرمایش جهانی، به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها بوده‌اند (۸). در حالی که تصمیم‌گیری در خصوص طراحی ساختمان‌ها به‌منظور بهبود بهره‌وری انرژی و ایجاد آسایش حرارتی برای ساکنان فرآیندی پیچیده است (۹، ۱۰)، اتحادیه اروپا در دستورالعمل بازنگری شده عملکرد انرژی ساختمان‌ها، کاهش حداقل ۶۰ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش ساختمان تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۵ را پیشنهاد کرده است. دستیابی به این هدف مستلزم حداقل‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها است (۱۱). بااین‌حال، باید توجه داشت که کاهش مصرف انرژی نباید بر آسایش حرارتی ساکنان ساختمان تأثیر منفی بگذارد؛ ازاین‌رو، تأمین آسایش حرارتی در کنار بهره‌گیری از فناوری‌های موجود برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، اهمیت ویژه‌ای دارد (۱۲). در این راستا، بررسی سهم هر یک از اجزای ساختمان در میزان تقاضای انرژی ضروری به نظر می‌رسد (۸، ۱۳، ۱۴).

امروزه شیشه یکی از مهم‌ترین اجزای سازه‌های مدرن ساختمانی محسوب می‌شود که علاوه بر نقش زیباسازی نما، در تهویه، تأمین نور طبیعی و ایجاد چشم‌انداز مطلوب مؤثر است (۱۵). بااین‌حال، تأثیر پنجره‌ها بر مصرف انرژی قابل چشم‌پوشی نیست؛ چراکه بخش قابل‌توجهی از تبادل حرارت ساختمان از طریق پنجره‌ها انجام می‌شود (۸) که این امر می‌تواند بر آسایش ساکنان تأثیرگذار باشد. ازاین‌رو، طراحی پنجره‌ها نقش اساسی در معماری ساختمان ایفا می‌کند (۱۶). تاکنون روش‌های مختلفی برای کاهش تبادل حرارتی از طریق پنجره‌ها

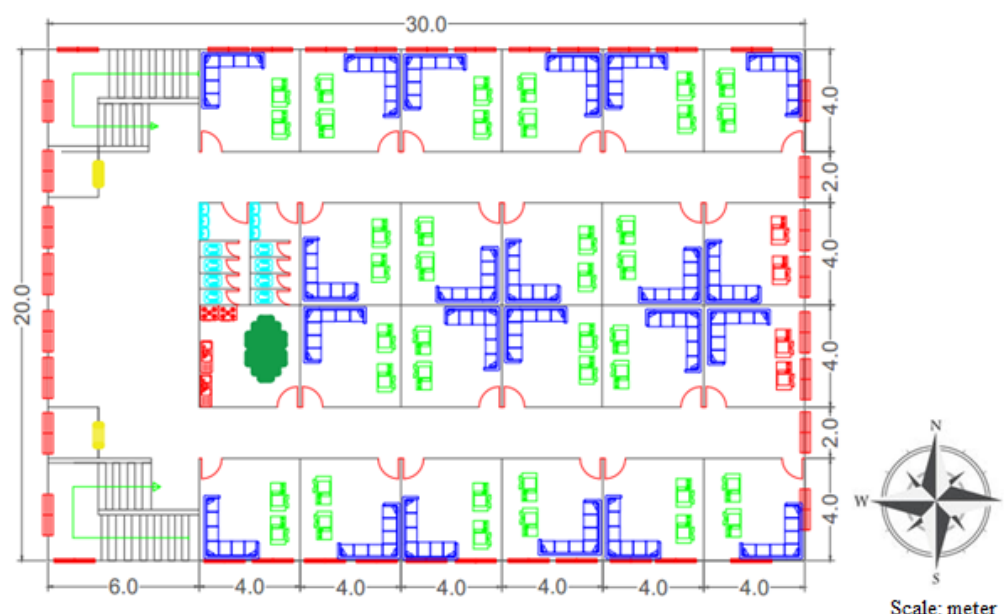
به کار گرفته شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، شیشه‌های رنگی دینامیک که در برابر نور یا حرارت تغییر رنگ می‌دهند، و روش‌های سنتی سایه‌اندازی اشاره کرد (۸، ۱۶).

برخی مطالعات به محدودیت‌های سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر اشاره کرده و معتقدند که سیاست‌های موجود در خصوص استفاده از این فناوری‌ها دارای کاستی‌هایی است (۱۷، ۱۸). همچنین، استفاده از شیشه‌های رنگی دینامیک با چالش‌هایی مانند تیرگی بیش‌ازحد در زمستان، هزینه تولید بالا و محدودیت در تولید ابعاد بزرگ مواجه است (۱۹). در نتیجه، استفاده از سایه‌اندازی خارجی همچنان به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در کنترل دریافت انرژی خورشیدی مطرح است. این روش در تابستان به‌طور مؤثری مواجهه با نور مستقیم خورشید را در داخل ساختمان کنترل می‌کند و در عین حال، امکان ورود نور خورشید در زمستان را فراهم می‌آورد. السعدی و الجبری نیز نشان داده‌اند که سایه‌اندازی می‌تواند در کاهش مصرف سالانه برق موردنیاز برای تأمین نیازهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها مؤثر باشد (۲۰).

به‌طورکلی تجهیزات سایه‌انداز برای پنجره‌ها به دو دسته ثابت و متحرک تقسیم می‌شوند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از سایبان‌های خودکار ممکن است به دلیل تغییرات سریع شرایط جوی، منجر به بروز خطا در عملکرد آن‌ها شود که می‌تواند کارایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۲۱). علاوه بر این، سایبان‌های خودکار دارای هزینه‌های اولیه و نگهداری بالاتری بوده و به طراحی تخصصی نیاز دارند.

در مقابل، سایه‌اندازهای خارجی ثابت به دلیل هزینه کمتر، سادگی در طراحی و اجرا، و عدم نیاز به کنترل دستی، گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه‌تر محسوب می‌شوند. این نوع سایه‌اندازها امکان کاهش مصرف انرژی را حتی در مواقعی که ساکنان در ساختمان حضور ندارند، فراهم می‌کنند.

بر اساس گزارش سازمان بهره‌وری انرژی ایران، اوج مصرف برق کشور از اواسط تیر تا اواسط شهریورماه رخ می‌دهد (۲۲). همچنین، آژانس انرژی ایالات متحده اعلام کرده است که در سال ۲۰۲۲، رکورد بالاترین میزان مصرف برق به ثبت رسیده است. با اینکه استفاده از سوخت‌های فسیلی در سال‌های اخیر محدود شده است، اما همچنان حدود ۶۰ درصد از تولید برق در بسیاری از



شکل ۱. پلان ساختمان مورد مطالعه

#### مورد بررسی قرار گرفت.

ساختمان مورد مطالعه، یک ساختمان اداری-تجاری ۱۰ طبقه با مساحت کلی ۶۰۰ مترمربع در شهر تهران است. این ساختمان شامل ۲۰۰ واحد بوده و نمای جنوبی آن که ۳۰ متر طول دارد، رو به جنوب قرار گرفته است. در هر طبقه، پنجره‌ها در سراسر اضلاع ساختمان امتداد یافته‌اند و هر پنجره دارای ابعاد  $1 \times 1/2$  متر است (شکل ۱). بر این اساس، در هر طبقه، ضلع‌های شمالی و جنوبی هرکدام شامل ۲۴ پنجره و ضلع‌های شرقی و غربی هرکدام شامل ۱۶ پنجره هستند. این پنجره‌ها تک‌جداره، دارای قاب فلزی بدون عایق بوده و درون یک حفره ۱۰ سانتی‌متری در سازه ساختمان قرار گرفته‌اند. در این مرحله، میزان گرمای دریافتی از تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های بدون سایبان در جهات مختلف طی روز ۲۳ جولای، با استفاده از نرم‌افزار Carrier HAP (نسخه ۵.۱) برآورد شد. سپس، ساعاتی از روز که بیشترین انتقال حرارت خورشیدی از طریق پنجره‌ها رخ می‌دهد، شناسایی شد. در ادامه، زاویه ارتفاع خورشید (Altitude) و زاویه سمت خورشید (Azimuth) در همین ساعات تعیین گردید. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار Excel 2019 و فرمول‌های (۱) و (۲)، تعداد تیغه‌های سایبان افقی و فواصل نصب آن‌ها به گونه‌ای محاسبه شد که هم‌پوشانی سایه‌های حاصل از تیغه‌ها، پوشش کامل سطح پنجره‌ها را برای هر جهت جغرافیایی فراهم کند (۲۷).

کشورها، از جمله کشورهای توسعه‌یافته، به سوخت‌های فسیلی وابسته است (۲۳-۲۵). از سوی دیگر، بر اساس ترازنامه هیدروکربوری کشور، میزان مصرف برق صنعتی ایران طی یک دوره ده‌ساله به طور چشمگیری افزایش یافته است، به طوری که نرخ رشد سالانه مصرف برق در بخش صنعت ۶۹/۸ درصد و در بخش خانگی ۶۴/۲ درصد گزارش شده است. این آمارها لزوم کاهش مصرف برق در فصول گرم سال را برجسته می‌کند (۲۶).

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سایبان‌های افقی در قسمت بیرونی پنجره‌ها بر کاهش مصرف انرژی یک ساختمان اداری-تجاری طی فصل تابستان انجام شده است.

#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ساختار سایبان خارجی به صورت تیغه‌های افقی موازی و عمود بر سطح پنجره، با ابعاد  $1 \times 0/2$  متر در نظر گرفته شد. فاصله بین این تیغه‌ها بر اساس طول سایه آن‌ها محاسبه گردید، به گونه‌ای که هم‌پوشانی سایه‌های ایجادشده توسط تیغه‌ها به طور کامل سطح پنجره‌ها را بپوشاند. طراحی سایبه‌انداز خارجی برای ۲۳ جولای (۱ مرداد)، به عنوان گرم‌ترین روز سال با بیشترین میزان تابش مستقیم خورشید بر سطح پنجره، انجام شد. سپس، تأثیر این سایبه‌انداز بر کاهش تقاضای بار سرمایشی ساختمان و میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در بازه زمانی تیر تا شهریور

جدول ۱. شاخص جغرافیایی در منطقه مورد مطالعه

| شهر                                           | تهران  |
|-----------------------------------------------|--------|
| عرض جغرافیایی (درجه)                          | ۳۵/۷   |
| طول جغرافیایی (درجه)                          | ۵۱/۴   |
| ارتفاع از سطح دریا (متر)                      | ۱۲۱۹/۸ |
| میانگین دمای خشک در تابستان (°C)              | ۳۸/۹   |
| میانگین دمای مرطوب در تابستان (°C)            | ۲۳/۹   |
| انتقال حرارت از خاک (W/m <sup>2</sup> . °K)   | ۱/۳۸۵  |
| انتقال حرارت از پنجره (W/m <sup>2</sup> . °K) | ۵/۶۷   |
| میانگین بازتاب از سطح زمین                    | ۰/۱۵   |
| تعداد کل پنجره های ساختمان                    | ۸۰۰    |
| درجه شفافیت آسمان                             | ۰/۸۵   |

ابزاری برای طراحی سیستم های تهویه مطبوع و تحلیل عملکرد انرژی است که می تواند میزان مصرف سالانه انرژی سیستم های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) را برآورد کند (۲۸).

سیستم روشنایی ساختمان مورد مطالعه شامل یک جفت لامپ فلورسنت بود. به طور میانگین، در هر اتاق دو نفر حضور داشتند. از میان تجهیزات الکتریکی مصرفی، علاوه بر سیستم روشنایی، تجهیزات دیگری نیز مورد استفاده قرار می گرفت که به دلیل تنوع آنها، فهرست کردن تمامی موارد دشوار بود. بنابراین، در نرم افزار Carrier HAP تنها تجهیزات الکتریکی ضروری از جمله رایانه ها، چاپگرها، دستگاه های فکس، تلفن ها و سیستم های سرمایشی- گرمایشی لحاظ شدند. سیستم گرمایشی شامل یک دیگ آب گرم مجهز به حسگر مرکزی بود و در اتاق ها از رادیاتورها به عنوان مبدل حرارتی استفاده شده است. سیستم های سرمایشی به صورت کولرهای گازی با ظرفیت سرمایشی حدود ۹۰۰۰ BTU/h طراحی گردیدند. مدت زمان حضور افراد در ساختمان مورد مطالعه طی ماه های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۲۵، ۲۶ و ۲۳ روز (از ساعت ۷:۰۰ تا ۲۱:۰۰) در نظر گرفته شد.

در بخش پایانی مطالعه، میزان صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه های ناشی از به کارگیری سایبان طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، میزان کاهش مصرف برق (بر حسب کیلووات ساعت) و صرفه جویی هزینه ای متناظر، بر اساس نرخ تعرفه برق برای مصارف عمومی که توسط شرکت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر) در سال ۱۴۰۳ تصویب شده است، محاسبه گردید (۲۹).

$$LS = LO \cdot LSC \quad (1)$$

$$LSC = \frac{\tan \alpha}{\cos(\Phi - \Psi)} \quad (2)$$

که در آن:

LS (Length of Shade) طول سایه عمودی حاصل

از سایبان

LO (Length of Overhang): فاصله افقی از دیوار یا

سطح خارجی ساختمان تا لبه بیرونی سایبان

LSC (Longitudinal shadow coefficient):

ضریب سایه طولی

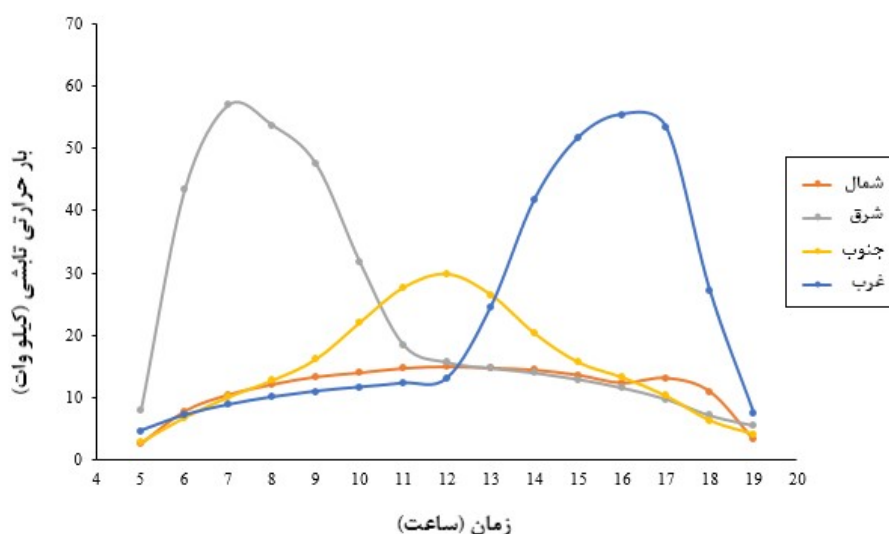
$\alpha$ : زاویه ارتفاع خورشید (Altitude)

$\Phi$ : زاویه سمت خورشید (Azimuth)

$\Psi$ : جهت جغرافیایی سطح پنجره (Plane Azimuth)

با توجه به موقعیت جغرافیایی تهران و اطلاعات سازمان هواشناسی، ضرایب اصلاحی مرتبط با ارتفاع از سطح دریا، نوع قاب پنجره، نقطه شب، میزان گرد و غبار و نوع شیشه به ترتیب ۰/۲۸، ۱/۱۷، ۱/۱۹، ۰/۸۵ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شدند. رنگ سایبان خارجی نیز به صورت نیمه روشن در نظر گرفته شد. بر اساس داده های سازمان هواشناسی در پنج سال گذشته، میانگین دمای تابستان در تهران حدود ۳۸.۹ درجه سانتی گراد بوده است که در ملاحظات طراحی مدنظر قرار گرفت (جدول ۱). کلیه مقادیر ذکر شده، جهت انجام محاسبات مربوط به بار حرارتی ساختمان در نرم افزار Carrier HAP لحاظ شدند.

در پایان این مرحله، نرم افزار Carrier HAP همچنین برای ارزیابی میزان اثربخشی سایه انداز خارجی پیشنهادی در کاهش مصرف انرژی ساختمان در فصل تابستان مورد استفاده قرار گرفت. نرم افزار Carrier HAP



شکل ۲. بار حرارتی تابشی دریافت شده از طریق پنجره ها در ۲۳ جولای

جدول ۲. تعداد تیغه‌های سایبان خارجی و فواصل نصب آنها برای بهره‌مندی از حالت تمام سایه بر روی سطح پنجره

| جهت‌گیری<br>جغرافیایی<br>پنجره | زمان<br>(hr) | ضریب افزایش<br>حرارت خورشیدی<br>(Btu/hr.ft <sup>2</sup> ) | ضریب ذخیره حرارت<br>در مصالح ساختمانی<br>(lb/ft <sup>2</sup> ) | زاویه سمت<br>خورشید<br>(Azimuth) | زاویه ارتفاع<br>خورشید<br>(Altitude) | ارتفاع سایه برای<br>هر تیغه سایبان<br>(ft) | تعداد تیغه<br>ها | فواصل نصب<br>(ft) |
|--------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|-------------------|
| شرقی                           | ۷:۰۰         | ۱۶۱                                                       | ۰/۳۸                                                           | ۸۳                               | ۲۳                                   | ۰/۲۷                                       | ۱۵               | ۰/۲۶              |
| غربی                           | ۱۷:۰۰        | ۱۶۱                                                       | ۰/۵۱                                                           | ۲۷۷                              | ۲۳                                   | ۰/۲۷                                       | ۱۵               | ۰/۲۶              |
| جنوب                           | ۱۲:۰۰        | ۶۹                                                        | ۰/۵۸                                                           | ۱۸۰                              | ۷۰                                   | ۱/۸                                        | ۳                | ۱/۳               |
| شمال                           | ۱۸:۰۰        | ۲۴                                                        | ۰/۳۷                                                           | ۲۸۶                              | ۱۳                                   | ۰/۵۵                                       | ۸                | ۰/۵۰              |

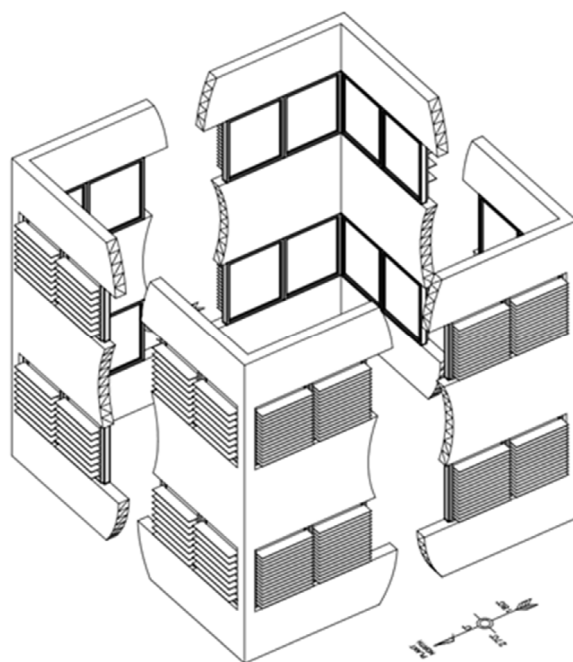
## نتایج

جذب حرارت در تمام جهات به هم نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر، با گذر ساعات اولیه شب، به دلیل کاهش تابش از سطوح داغ اطراف ساختمان، میزان گرمای دریافتی از طریق پنجره‌ها کاهش یافته و نزدیک به صبح به کمترین مقدار خود می‌رسد.

نتایج این مطالعه نشان داد که برای پنجره‌های شرقی و غربی، ۱۵ تیغه افقی سایه‌انداز، برای پنجره‌های شمالی ۸ تیغه و برای پنجره‌های جنوبی ۳ تیغه مورد نیاز است (شکل ۳). تعداد تیغه‌های سایبان افقی و فواصل نصب آنها در جدول ۲ ارائه شده است که بر اساس ساعات اوج دریافت بار حرارتی از طریق پنجره‌ها (شکل ۲)، در تاریخ ۲۳ جولای محاسبه شده است.

تأثیر سایبان خارجی طراحی شده بر بار سرمایشی ساختمان مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Carrier HAP مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسبات حاصل از تحلیل ساعتی بار سرمایشی ساختمان، ناشی از تمامی پنجره‌های شرقی، غربی، شمالی و جنوبی، در سه ماه تیر، مرداد و شهریور، در دو حالت بدون سایبان و با

شکل ۲ میزان گرمای دریافتی از تابش خورشیدی از طریق پنجره‌های جنوبی، شمالی، شرقی و غربی ساختمان را در تاریخ ۲۳ جولای (۱ مرداد)، به عنوان گرم‌ترین روز سال، نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، بیشترین میزان گرمای دریافتی از تابش خورشیدی به ترتیب در ساعت ۷ صبح برای پنجره‌های شرقی، ۱۲ ظهر برای پنجره‌های جنوبی، ۵ بعدازظهر برای پنجره‌های غربی و ۶ بعدازظهر برای پنجره‌های شمالی برآورد شد. بر اساس این نمودار، میزان تأثیر هر یک از پنجره‌ها در جهات جغرافیایی مختلف بر بار سرمایشی کل ساختمان قابل برآورد است. پنجره‌های شرقی بیشترین تأثیر را داشته و با ضریب ۱۰۰٪ بیان می‌شوند. سهم پنجره‌های غربی، جنوبی و شمالی نسبت به پنجره‌های شرقی به ترتیب ۹۷٪، ۶۴٪ و ۴۹/۱٪ است. همچنین، این نمودار نشان می‌دهد که میزان گرمای ورودی ناشی از تابش خورشیدی در ساعات مختلف روز بسته به جهت جغرافیایی متغیر است و پس از غروب خورشید، میزان



شکل ۳. شماتیک سایبان های نصب شده بر روی پنجره (شمالی/غربی)

مشابه مربوط بوده که منجر به کاهش بار سرمایشی ساختمان می شود.

جدول ۳ میانگین تقاضای بار سرمایشی ساختمان طی ساعات روز (۷:۰۰ تا ۲۱:۰۰) را در دو حالت بدون سایبان و با سایبان خارجی، به تفکیک برای سه ماه تیر، مرداد و شهریور نشان می دهد. نتایج این جدول نشان می دهند که اثربخشی سایه انداز خارجی در کاهش تقاضای بار سرمایشی ساختمان در مجموع این سه ماه برابر با ۱۲ درصد بوده است.

نتایج محاسبات مربوط به صرفه جویی هزینه ای (بر اساس نرخ تعرفه برق ارائه شده توسط شرکت توزیع نیروی برق ایران در سال ۱۴۰۳) نشان می دهد که کاهش مصرف برق در دوره ی سه ماهه ی تابستان به صرفه جویی تقریبی ۱۰۸ دلار آمریکا منجر می شود.

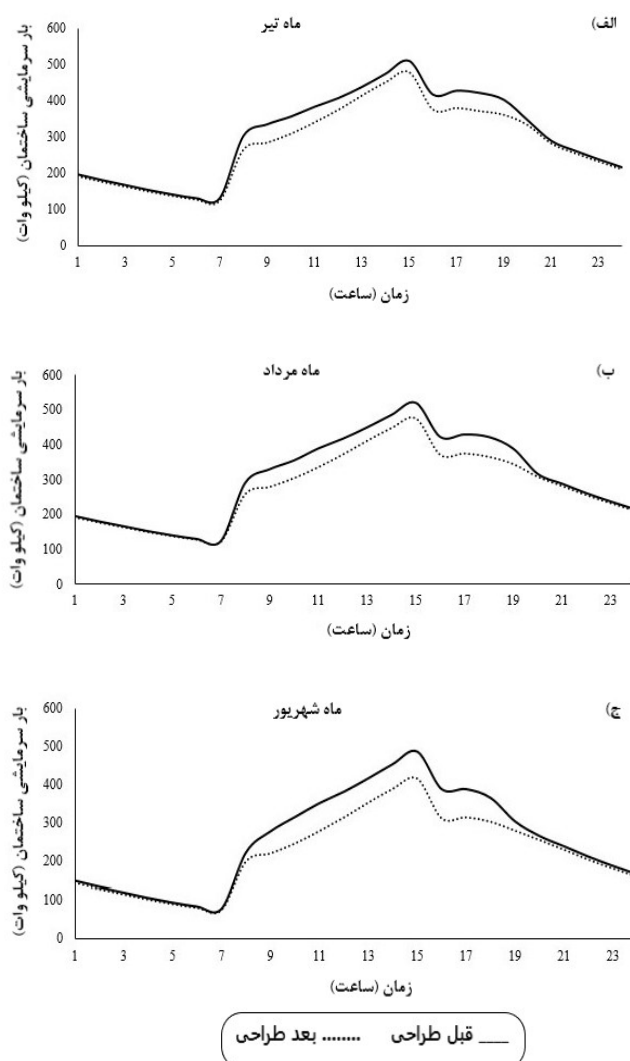
### بحث

این مطالعه با هدف طراحی سایبان های افقی به شکل تیغه های عمودی و با پوشش دهی کامل سایه در قسمت بیرونی پنجره ها و بررسی تاثیر آن ها بر کاهش مصرف انرژی در یک ساختمان اداری-تجاری در فصل تابستان انجام شد.

نتایج مطالعه نشان داد که پنجره های شرقی بیشترین تاثیر را در افزایش بار سرمایشی ساختمان دارند، درحالی که سهم نسبی پنجره های غربی، جنوبی

سایبان خارجی، در شکل ۴ ارائه شده است. بر اساس شکل ۴، بیشینه تقاضای بار سرمایشی ساختمان در تمامی ماه های مورد مطالعه (تیر، مرداد و شهریور) در ساعت ۱۵:۰۰ مشاهده شده است. نتایج همچنین نشان می دهند که به دلیل تغییر زاویه تابش خورشید، میزان تابش بر سطح پنجره ها از ساعت ۷:۰۰ صبح تا ۱۵:۰۰ روند افزایشی داشته و پس از آن کاهش می یابد.

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، میزان تقاضای بار سرمایشی ساختمان در بازه ی زمانی ۲۰:۰۰ تا ۷:۰۰ (از غروب تا طلوع خورشید) در هر دو حالت بدون سایه اندازی و با سایه اندازی خارجی مشابه است که علت آن عدم تابش مستقیم نور خورشید بر سطح پنجره ها طی این ساعات است. در این بازه زمانی، نمودارهای هر دو حالت بر یکدیگر منطبق هستند. به نظر می رسد افزایش تقاضای بار سرمایشی که در ساعت ۷:۰۰ صبح مشاهده می شود، ناشی از تابش نور خورشید بر پنجره های شرقی باشد. علاوه بر این، با آغاز فعالیت کارکنان، بار سرمایشی ناشی از حضور افراد، سیستم های روشنایی و سایر تجهیزات الکتریکی به بار سرمایشی ساختمان افزوده می شود. از سوی دیگر، کاهش شدید تقاضای بار سرمایشی که در بازه زمانی ۱۵:۰۰ تا ۱۶:۰۰ مشاهده می شود، به اتمام ساعات کاری واحدهای اداری و کاهش استفاده از تجهیزات روشنایی و سایر عوامل



شکل ۴. بار سرمایشی ساختمان در حالت قبل و بعد از نصب سایبان خارجی در فصل تابستان (تیر-مرداد-شهریور)

جدول ۳. برآورد کارایی سایبان خارجی در کاهش بار سرمایشی ساختمان در ساعات ۷:۰۰ الی ۲۱:۰۰

| میانگین بار سرمایی در شهریور ماه (W/h) |            |            | میانگین بار سرمایی در مرداد ماه (W/h) |            |            | میانگین بار سرمایی در تیر ماه (W/h) |            |            |
|----------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|------------|------------|
| میزان کاهش                             | بعد از نصب | قبل از نصب | میزان کاهش                            | بعد از نصب | قبل از نصب | میزان کاهش                          | بعد از نصب | قبل از نصب |
| ۵۶۴۶۱.۳                                | ۲۸۸۴۴۵.۳   | ۳۴۴۹۰۶.۶   | ۴۳۷۸۸.۱۲                              | ۳۴۲۵۰۰.۵   | ۳۸۶۲۸۸.۵   | ۳۵۵۰۶۶۶                             | ۳۴۹۱۲۳.۲   | ۳۸۴۶۲۹.۹   |

دریافت می‌کنند که منجر به کاهش میزان دریافت انرژی خورشیدی می‌شود. این یافته با مطالعات علمی پیشین هم‌خوانی دارد. پژوهش‌های پیشین، از جمله مطالعه‌ی کریمی و همکاران (۲۰۲۳)، نشان داده‌اند که دلیل کاهش بار سرمایشی پنجره‌های شمالی، قرارگیری محدود آن‌ها در معرض تابش مستقیم خورشید در طول

و شمالی به ترتیب ۹۷٪، ۶۴٪ و ۴۹٪/۱ در مقایسه با پنجره‌های شرقی است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر بار سرمایشی ناشی از پنجره‌های رو به شمال حداقل است. از آنجاکه مسیر حرکت خورشید عمدتاً در نیمکره جنوبی است، نماهای شمالی در نیمکره شمالی عمدتاً نور خورشید را به صورت پراکنده و غیرمستقیم

روز است (۳۰). این کاهش دریافت انرژی خورشیدی، اهمیت طراحی سایبان برای پنجره های رو به شمال را کمتر می کند. همچنین، سایر مطالعات نیز تأثیر کم سایبان ها در خانه های رو به شمال را مورد تأیید قرار داده اند.

با این حال، Alhuwayil و همکاران (۲۰۱۹) معتقدند که اهمیت استفاده از سایبان برای پنجره های شمالی به موقعیت جغرافیایی ساختمان بستگی دارد (۳۱). به عنوان مثال، در مناطق گرمسیری و خشک، پوشش سایه در تمام جهات ساختمان برای کاهش دریافت گرمای خورشیدی در طول سال ضروری است (۳۲). همچنین، یافته های Kabanshi و همکاران (۲۰۲۳) نشان می دهد که کمترین میزان تقاضای بار سرمایشی مربوط به پنجره های شمالی در شهرهای واقع شده در نیمکره شمالی است. در حالی که در نیمکره جنوبی، پنجره های جنوبی نسبت به سایر جهات، تابش خورشیدی و گرمای تابشی کمتری دریافت می کنند که منجر به کاهش مصرف انرژی در شهرهایی مانند هراره در زیمبابوه می شود. این یافته اهمیت سایبان برای پنجره های جنوبی در کشورهای نیمکره جنوبی را برجسته می کند (۳۳).

بررسی میزان کارایی سایبان های خارجی در ماه های تیر، مرداد و شهریور نشان داد که استفاده از سایبان ها موجب کاهش ۱۲ درصدی بار سرمایشی شده و این میزان کاهش مصرف انرژی، طی یک دوره سه ماهه تابستانی، منجر به صرفه جویی ۱۰۸ دلاری در هزینه ها (مطابق با تعرفه انرژی برق مصرفی مصوب سال ۱۴۰۳) می گردد؛ که در مقیاس ملی و در بازه زمانی طولانی تر، رقم بسیار قابل توجهی خواهد بود.

### محدودیت ها و پیشنهادات

اگرچه این مقاله تأیید می کند که سایبان های افقی در قسمت بیرونی پنجره ها سبب کاهش بار سرمایشی ساختمان و صرفه جویی در مصرف برق می گردند، با این حال، تمام نتایج به دست آمده مبتنی بر مدل سازی بوده است. لذا بررسی تجربی و میدانی اثر سایبان ها بر کاهش مصرف واقعی برق و هزینه های مرتبط با آن در ساختمان های واقعی می تواند به اعتبارسنجی نتایج عددی و درک دقیق تر از عملکرد واقعی این راهکار در شرایط اقلیمی مختلف منجر شود.

### نتیجه گیری

نتایج این پژوهش بر اثربخشی طراحی هدفمند سایبان ها در بهبود بهره وری انرژی و کاهش بار سرمایشی ساختمان ها تأکید دارد. پنجره ها نقش مهمی در افزایش مصرف انرژی ساختمان ها ایفا می کنند. بنابراین، اقداماتی مانند بهینه سازی در فرآیند ساخت، کنترل یا پوشش دهی آن ها می تواند در صرفه جویی انرژی به ویژه با توجه به افزایش گرمایش زمین مؤثر باشد. علاوه بر این، طراحی ساختمان با هدف استفاده بهینه از پنجره ها، می تواند موجب بهره گیری مطلوب تر از نور

بر اساس پژوهش سودبخش و همکاران (۲۰۲۲)، ساختمان هایی که با زاویه آزمون صفر درجه و با پنجره های شمالی و جنوبی طراحی می شوند، کمترین میزان مصرف انرژی را دارند (۹۷/۹۸ کیلووات ساعت بر مترمربع). این در حالی است که هنگامی که پنجره ها در جهات شرقی و غربی قرار دارند، به دلیل زاویه ی کم خورشید، میزان تابش خورشیدی دریافتی افزایش می یابد (۱۰۹/۰۳ کیلووات ساعت بر مترمربع) (۳۴). این نتایج با یافته های پژوهش حاضر در زمینه تأثیر جهت جغرافیایی پنجره بر بار حرارتی ناشی از تابش خورشید مطابقت دارد.

بر اساس نتایج این پژوهش، پیکربندی بهینه سایبان شامل ۱۵ تیغه برای پنجره های شرقی و غربی، ۸ تیغه برای پنجره های شمالی و ۳ تیغه برای پنجره های جنوبی بود. تعداد تیغه های سایبان برای هر جهت پنجره (شرق، غرب، شمال و جنوب) به دلیل تأثیرات ترکیبی زاویه سمت خورشیدی (Solar azimuth angle) و زاویه ارتفاع خورشید (Solar altitude angle) در ساعات اوج بار تابشی متفاوت بود. موقعیت خورشید نسبت به پنجره، شامل زوایای ذکر شده، میزان تابش خورشید به نمای

بر اساس نتایج این پژوهش، پیکربندی بهینه سایبان شامل ۱۵ تیغه برای پنجره های شرقی و غربی، ۸ تیغه برای پنجره های شمالی و ۳ تیغه برای پنجره های جنوبی بود. تعداد تیغه های سایبان برای هر جهت پنجره (شرق، غرب، شمال و جنوب) به دلیل تأثیرات ترکیبی زاویه سمت خورشیدی (Solar azimuth angle) و زاویه ارتفاع خورشید (Solar altitude angle) در ساعات اوج بار تابشی متفاوت بود. موقعیت خورشید نسبت به پنجره، شامل زوایای ذکر شده، میزان تابش خورشید به نمای

بر اساس نتایج این پژوهش، پیکربندی بهینه سایبان شامل ۱۵ تیغه برای پنجره های شرقی و غربی، ۸ تیغه برای پنجره های شمالی و ۳ تیغه برای پنجره های جنوبی بود. تعداد تیغه های سایبان برای هر جهت پنجره (شرق، غرب، شمال و جنوب) به دلیل تأثیرات ترکیبی زاویه سمت خورشیدی (Solar azimuth angle) و زاویه ارتفاع خورشید (Solar altitude angle) در ساعات اوج بار تابشی متفاوت بود. موقعیت خورشید نسبت به پنجره، شامل زوایای ذکر شده، میزان تابش خورشید به نمای

## کد اخلاق

IR.IUMS.REC.1403.220

## مشارکت نویسندگان

آتنا رفیعی پور و محمد جواد جعفری: ایده پردازی، هدایت و نظارت بر تحقیق  
آتنا رفیعی پور، حسن ایروانی و محمد جواد افشاری: طراحی و اجرای مدل  
حمیدرضا جعفری: مطالعه پیشینه پژوهش  
آتنا رفیعی پور، محمد جواد افشاری و حمیدرضا جعفری: نوشتن مقاله  
صابر مرادی حنیفی و ایرج علیمحمدی: بررسی مفاهیم

## دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2025: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازه استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوه دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفاده فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.

به‌منظور مشاهده مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

خورشید، بهبود و گسترش دید، ارتقای زیبایی‌شناسی و تقویت معماری شهری شود. از این‌رو، تمرکز پژوهشگران، طراحان و مالکان ساختمان بر جایگذاری صحیح ابزارهای سایه‌انداز بر روی پنجره‌ها، به‌منظور به حداکثر رساندن صرفه‌جویی انرژی، امری ضروری است. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی، نقش انواع سایبان‌های خارجی بر مدیریت مصرف انرژی و کاهش ردپای کربنی مورد توجه قرار گیرد.

## سپاس‌گزاری

این مطالعه مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران با کد طرح ۲۸۲۲۹ بوده است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از تمامی افرادی که در این پژوهش شرکت داشتند نهایت قدردانی و تشکر را به عمل آورند.

## حمایت مالی

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران انجام گرفته است.

## تعارض در منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه منافع مالی یا شخصی، به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم که بتواند به‌عنوان تضاد منافع در ارتباط با این پژوهش تلقی شود، ندارند.

## ملاحظات اخلاقی

پروپوزال این پژوهش، توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1403.220 مورد تأیید قرار گرفته است.

## REFERENCES

1. IEA. Global CO<sub>2</sub> emissions from buildings, including embodied emissions from new construction, 2022 [Internet]. 2023 [cited 2023 February 13]. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-buildings-including-embodied-emissions-from-new-construction-2022>, IEA. Licence: CC BY 4.0.
2. IEA. Energy consumption in buildings by fuel in the Net Zero Scenario, 2010-2030 [Internet]. 2023 [cited 2023 February 14]. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-consumption-in-buildings-by-fuel-in-the-net-zero-scenario-2010-2030-2>, IEA. Licence: CC BY 4.0.
3. IEA. The Critical Role of Buildings [Internet]. 2019 [cited 2023 February 14]. Available from: <https://www.iea.org/reports/the-critical-role-of-buildings>, Licence: CC BY 4.0.
4. Ashrae. 1997. ASHRAE Handbook 1997: Fundamentals. SI Edition: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
5. Shivanna KR. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2022;88(2):160-71. DOI:10.1007/s43538-022-00073-6.
6. Jackson RB, Friedlingstein P, Andrew RM, Canadell JG, Le Qur C, Peters GP. Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health. *Environmental Research Letters*. 2019;14(12):121001.
7. Ahmed AA, Assadi M, Kalantar A, Sapińska-Śliwa A, Śliwa T, Ahmed N, et al. Evaluating the techno-economic impact of decarbonizing buildings by using borehole heat exchangers in comparison to fuel-based systems. *Energy for Sustainable Development*. 2023;76:101262. DOI:10.1016/j.esd.2023.
8. Chen Z WX. Analysis and Evaluation of Holistic Energy Saving for Modern Buildings. 2015;9(2):219-30. DOI:10.14257/ijsh.2015.9.2.20.
9. Yitmen I, Almusaed A, Y€ F. ANP model for evaluating the performance of adaptive façade systems in complex commercial buildings. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021;ahead-of-print. DOI: 10.1108/ECAM-07-2020-0559.
10. Suzuki EH, Lofrano FC, Kurokawa FA, Prado RTA, Leite BCC. Decision-making process for thermal comfort and energy efficiency optimization coupling smart-window and natural ventilation in the warm and hot climates. *Energy and Buildings*. 2022;266:112110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.
11. European Parliament, Council of the European Union. Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) [Internet]. 2023 [cited 2023 February 13]. Available from: <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>.
12. He Y, Chen W, Wang Z, Zhang H. Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity. *Energy and Buildings*. 2019;194:140-62. DOI:10.1016/j.enbuild.2019.04.015.
13. Vanhoutteghem L, Skarning GCJ, Hviid CA, Svendsen S. Impact of façade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*. 2015;102:149-56. DOI:10.1016/j.enbuild.2015.05.018.
14. Hafez FS, Sa'di B, Safa-Gamal M, Taufiq-Yap YH, Alrifay M, Seyedmahmoudian M, et al. Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. *Energy Strategy Reviews*. 2023;45:101013. DOI:10.1016/j.esr.2022.
15. Liu M, Wittchen KB, Heiselberg PK. Control strategies for intelligent glazed façade and their influence on energy and comfort performance of office buildings in Denmark. *Applied Energy*. 2015;145:43-51. DOI:10.1016/j.apenergy.2015.02.003.
16. Hee W, Alghoul M, Bakhtyar B, Elayeb O, Shameri M, Alrubaih M, et al. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;42:323-43. DOI:10.1016/j.rser.2014.09.020.
17. Maradin D. Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2021;11(3):176-83. DOI:10.32479/ijee.11027.
18. Peidong Z, Yanli Y, jin S, Yonghong Z, Lisheng W, Xinrong L. Opportunities and challenges for renewable energy policy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009;13(2):439-49. DOI:10.1016/j.rser.2007.11.005.
19. Hosseini SM, Mohammadi M, Rosemann ALP, Schröder TWA. Quantitative investigation through climate-based daylight metrics of visual comfort due to colorful glass and orosi windows in Iranian architecture. *Journal of Daylighting*. 2018 Dec;5(2):21-33. DOI:10.15627/jd.2018.5.
20. Al-Saadi SN, Al-Jabri KS. Optimization of envelope design for housing in hot climates using a genetic algorithm (GA) computational approach. *Journal of Building Engineering*. 2020;32:101712. DOI:10.1016/j.job.2020.
21. Franco IM. Efficacy of light shelves: passive, dynamic,

- and automatic devices related to light and thermal behavior. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings X, proceedings of ASHRAE THERM X, Clearwater, FL. 2007. Available from: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2007%20B10%20papers/155\\_Franci.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2007%20B10%20papers/155_Franci.pdf).
22. Iran Energy Efficiency Organization. 2019. "electricity consumption." Accessed October 30, 2023.. Available from: <http://www.saba.org.ir>.
  23. Independent Statistics and Analysis U.S Energy Information Administration. What is U.S. electricity generation by energy source? [Internet]. 2024 [cited 2023 February 17]. Available from: <http://www.eia.gov>.
  24. International Energy Agency (IEA). (2023, July 11). Electricity - Energy System. <https://www.iea.org/energy-system/electricity>. Retrieved May 31, 2024, from <https://www.iea.org>.
  25. U.S. Energy Information Administration (EIA). (2023, October 19). Use of Electricity. <https://www.eia.gov/consumption/> Retrieved May 31, 2024.
  26. Iranian Fuel Conservation Company. 2018. "National energy balance sheet of 2016." Accessed October 21, 2023. <https://ifco.ir/images/99/energy99/tarazname96naft.pdf>.
  27. Tabatabaei M. 2001. Calculations of Building Facilities 7th ed. Tehran Rozbahan.
  28. Carrier. 2022. "Software for system design engineers by system design engineers." Accessed february 17, 2023. <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/>.
  29. Tavanir. 2023. "IRAN Power Generation Transmission and Distribution Company." Accessed October 23, 2023. <https://www.tavanir.org.ir/>.
  30. Karimi M, Tomoyuki C, Lee M. Optimization of window area in buildings from the viewpoint of energy efficiency - Kabul, Afghanistan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023;1196:012010. DOI:10.1088/1755-1315/1196/1/.
  31. Alhuwayil WK, Abdul Mujeebu M, Algarny AMM. Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate. Energy. 2019;169:1166-74. DOI:10.016/j.energy.2018.12.069.
  32. Wati E, Meukam P, Nematchoua MK. Influence of external shading on optimum insulation thickness of building walls in a tropical region. Applied Thermal Engineering. 2015;90:754-62. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2015.07.052.
  33. Kabanshi A, Choonya G, Ameen A, Liu W, Mulenga E. Windows of Opportunities: Orientation, Sizing and PV-Shading of the Glazed Area to Reduce Cooling Energy Demand in Sub-Sahara Africa. Energies [Internet]. 2023; 16(9):[DOI:10.3390/en16093834 p.].
  34. Kimia Soudbakhsh, Mahrokh Etminan, Mohammad Hakimazari and Seyedehmamak Salavatian. Impacts of window factors and building orientation on energy consumption in residential buildings of humid temperate climatic zone in Iran. Journal of Construction in Developing Countries. 2022;27(2): 235–262. DOI:10.21315/jcdc-04-21-0061.