Journal of Urban Studies on Space and Place
Vol.8, No 32, Autumn 2024, 139-153 | https://jspr.jdisf.ac.ir/
ISSN: 3060-6985 | EISSN: 3060-7094

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097 مقاله پژوهشی
Received:2024/ 11/ 10 Revised: 2024/ 12/ 01 Accepted: 2024/ 12/ 01

Performance evaluation of two static heating systems in terms of heating energy demand in urban locations (Case study: Isfahan office building)

Sina Malekahmadi
PhD student in Architecture, Architecture Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Hamid Majedi[1]
Professor, Architecture Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
Razihe Labibzadeh
Assistant professor, Architecture Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

The growing emphasis on sustainable development has highlighted the critical need to reduce resource consumption across various sectors, and the building industry is no exception. With buildings significantly contributing to energy consumption and greenhouse gas emissions, strategies that enhance energy efficiency are paramount. One vital aspect of sustainability in the built environment focuses on reducing energy consumption while simultaneously improving the thermal performance of buildings. Among the innovations in this domain, static heating techniques have emerged as effective solutions that leverage renewable energy sources, particularly solar thermal energy.

Static heating systems are ingenious in their design as they integrate seamlessly into building envelopes, offering an innovative means to utilize solar energy. These systems typically employ elements such as thermal mass or specially designed panels on building facades, exploiting the sun's energy for heating purposes. The primary advantage of incorporating such static elements is their ability to resonate with the energy dynamics of the natural environment, thereby improving overall energy efficiency and optimizing indoor thermal comfort.

Research Methodology

In pursuit of the goals set forth by sustainable development, this paper seeks to measure the efficiency and thermal performance of buildings utilizing two specific solar-based systems: greenhouse systems and solar window installations during the cold season. Office buildings, in particular, have gained attention due to their relatively high energy consumption patterns compared to other building types. As workplaces that are often occupied throughout the day,

1. Corresponding Author: hmajedi@srbiau.ac.ir

they demand significant energy for heating, cooling, and lighting. Consequently, even minor improvements in energy efficiency within office buildings can lead to substantial reductions in energy consumption and associated costs.

One specific case study was conducted on the Municipality Building of District 12 of Isfahan, selected for its representative nature among urban office buildings. This building provided an ideal context to examine the impact of static heating solutions under varying scenarios. The two systems studied—greenhouse systems and solar windows—were modeled and simulated using the Afraz Design Builder software, which enables detailed energy consumption predictions based on specific building configurations and local climate conditions.

Result and Discussion

To effectively assess the performance of each system, a comprehensive simulation of the building's energy consumption patterns was carried out, taking into account factors such as orientation, thermal insulation, window-to-wall ratio, and local weather conditions. The aim was to quantify the required heating load during the cold season for each static heating scenario compared to the baseline state of the building, which represented the conventional design without any enhancements aimed at energy efficiency.

The findings from this research have provided valuable insights into the effectiveness of each heating strategy. The first system investigated, the solar window, utilizes advanced glazing technology designed to enhance solar heat gain while minimizing heat loss. The results of the simulation revealed that the incorporation of a triple-glazed solar window dramatically improved thermal performance. Specifically, it was found that the solar window reduced annual heating energy demand by approximately 33.03% compared to the conventional building setup. This significant reduction underscores the potential of modern window technologies to harness solar energy effectively, thereby reducing reliance on conventional heating methods.

On the other hand, the second system, a 1-meter-deep greenhouse, also yielded promising results, albeit to a lesser extent. The greenhouse system functions by extending the thermal mass concept and creating an insulated buffer zone, which can store heat during the day and release it during colder nights. The simulation data indicated that this approach successfully reduced the building's heating energy requirements by 17.39% when compared to the standard design. While this percentage is lower than that achieved with the solar window, it still exemplifies the significant contributions that such passive solar design strategies can make towards enhancing energy efficiency in buildings.

Conclusion

In summary, the analysis concluded that the integration of these static heating systems not only enhances thermal comfort within office settings but also significantly mitigates energy consumption, aligning with the broader objectives of sustainable development. The results clearly demonstrate that the application of a triple-glazed solar window can nearly double the energy savings when compared to a traditional greenhouse system. These findings suggest that prioritizing technologies that significantly boost solar gain and thermal management can lead to transformative improvements in building energy performance.

Moreover, the implications of these results extend beyond individual buildings. When scaled to a larger context, widespread adoption of such sustainable technologies could lead to substantial reductions in energy demand at the urban level, thereby addressing broader challenges

associated with climate change and resource depletion. The importance of implementing these strategies in urban planning and building design cannot be overstated, as cities continue to grow and face mounting pressure to reduce their ecological footprints.
Ultimately, the exploration of static heating techniques highlights a promising pathway towards achieving sustainable, energy-efficient buildings. The research presented in this paper contributes to a growing body of knowledge that seeks to optimize building design for energy performance, demonstrating that thoughtful integration of solar technologies can have profound benefits for both the environment and building occupants. Continued innovation, research, and collaboration among architects, engineers, and policymakers are essential to further advance the implementation of sustainable practices in the construction industry.
Keywords: Sustainable architecture, Energy saving, Building thermal performance, Greenhouse, Solar window, Building energy simulation.

Citation:
Malekahmadi, S., Majedi, H & Labibzadeh, R. (2024). Performance evaluation of two static heating systems in terms of heating energy demand in urban locations (Case study: Isfahan office building). *Journal of Urban Studies on Space and Place,* 8(32), 139-153. https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097
URL: https://jspr.jdisf.ac.ir/article_721469.html?lang=en

Copyrights:
©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.
This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه علمی پژوهشهای فضا و مکان در شهر
دوره ۸ شماره ۳۲، پاییز ۱۴۰۳، ۱۵۳-۱۳۹ | https://jspr.jdisf.ac.ir/
شاپا چاپی: ۶۹۸۵-۳۰۶۰ | شاپا الکترونیکی: ۷۰۹۴-۳۰۶۰

مقاله پژوهشی: DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

ارزیابی عملکرد دو سامانهٔ حرارتی ایستا از نظر تقاضای انرژی گرمایشی در مکان‌های شهری (مورد مطالعه: ساختمان اداری اصفهان)[۱]

سینا ملک احمدی
دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
حمید ماجدی[۲]
استاد، گروه معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
راضیه لبیب زاده
استادیار، گروه معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده
ضرورت کاهش مصرف منابع در توسعهٔ پایدار تأکید شده است. یکی از جنبه‌های پایداری در ساختمان بر کاهش مصرف انرژی یا افزایش بهره‌وری انرژی معطوف می‌شود. تکنیک‌های گرمایش ایستا مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد و عملکرد حرارتی ساختمان را بهبود می‌بخشد. گرمایش ایستا بر پایهٔ استفاده از انرژی حرارتی خورشید استوار است. بدین ترتیب، استفاده از عناصر ایستا در نمای ساختمان، راه‌حل مؤثری برای بهبود محیط حرارتی، کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات تغییرات آب‌وهوایی محسوب می‌شود. هدف از این مقاله، سنجش بازدهی و عملکرد حرارتی ساختمان در دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی در فصل سرما و تعیین سامانهٔ بهینه در یک ساختمان اداری است. ساختمان‌های اداری ازجمله مکان‌های شهری با مصرف بالای انرژی شناخته می‌شوند. به همین جهت، ساختمان شهرداری منطقهٔ دوازده اصفهان به‌عنوان نمونهٔ مطالعاتی مدنظر قرار گرفت و سناریوهای مربوط به هر سامانه پردازش شد. شبیه‌سازی مصرف انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و با استفاده از موتور انرژی‌پلاس انجام گرفته است. از رهگذر محاسبات کمی و شبیه‌سازی رفتار انرژی در ساختمان، بار گرمایشی مورد نیاز در فصل سرما برای هرکدام از سناریوها برآورد شد. نتایج حاکی از این است که استفاده از پنجرهٔ خورشیدی به میزان ۳۳/۰۳ درصد و استفاده از گلخانه به عمق یک متر به میزان ۱۷/۳۹ درصد، انرژی گرمایشی سالیانهٔ ساختمان را در نسبت با حالت معمولی ساختمان (بدون استفاده از سامانه‌های حرارتی ایستا) کاهش می‌دهد. بنابراین استفاده از پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره تقریباً دو برابر استفاده از گلخانه با عمق یک متر، عملکرد حرارتی ساختمان را در فصل سرما بهبود می‌بخشد.

واژگان کلیدی: معماری پایدار، صرفه‌جویی انرژی، عملکرد حرارتی ساختمان، گلخانه، پنجرهٔ خورشیدی، شبیه‌سازی انرژی ساختمان.

۱. این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول با عنوان: «مدل توسعه‌ای-کاربردی طراحی اقلیمی ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر مبتنی بر الگوهای سامانه‌ی حرارتی ایستا (موردپژوهی: ساختمان‌های اداری میان مرتبه شهر اصفهان)» و راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم است.
۲. ایمیل نویسنده مسئول: hmajedi@srbiau.ac.ir

مقدمه و بیان مسئله

توسعهٔ پایدار برای آیندهٔ سیارهٔ زمین ضروری است. بر اساس تفکر امروز توسعهٔ شهری، شهرها باید تا حد ممکن با محیط طبیعی سازگار باشند و تعادل چرخهٔ طبیعی حیات را حفظ کنند. به عبارت دیگر، باید به‌سوی پایداری گام بردارند و به توسعهٔ پایدار شهر توجه کنند (شفیعی دارافشانی و امیری، ۱۴۰۲: ۱۰۰). شهرنشینی و رشد شهری چالش‌هایی برای کیفیت زندگی مردم به‌همراه داشته است و به‌دنبال آن افزایش تراکم جمعیت در شهرها تقاضای بالایی برای منابع طبیعی و خدمات اکوسیستمی را تحمیل می‌کند. تجمع انسان در محیط‌های شهری باعث ایجاد مشکلاتی در زمینهٔ حمل‌ونقل، بهداشت، انرژی، آموزش، مسکن و اثرات زیست‌محیطی می‌شود (تدین و همکاران، ۱۴۰۲: ۵۴).

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مستقیماً با اهداف توسعهٔ پایدار مطرح‌شده توسط سازمان ملل مرتبط است. سازمان ملل متحد هفده هدف جهانی را به‌عنوان اهداف توسعهٔ پایدار معرفی کرده است (United Nations, 2024).

اهداف توسعهٔ پایدار، ابعاد اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی را پوشش می‌دهد و هرکدام از این اهداف، حوزهٔ خاصی را نشانه می‌گیرد (Regona et al., 2024: 4). اهمیت انرژی پاک و قابل دسترس در هدف هفتم مورد تأکید قرار گرفته است (Mishra et al., 2023). مقصود غایی از این هدف حصول اطمینان از دسترسی همگان به انرژی مقرون‌به‌صرفه، قابل اتکا و پایدار است (Alam et al., 2024: 1).

از سوی دیگر، در دنیای امروز، بحران انرژی به‌عنوان یکی از بحرانی‌ترین چالش‌های جهانی مطرح است. معماری پایدار به‌عنوان یک راه‌حل منطقی برای مقابله با این بحران تلقی می‌شود (Azkorra-Larrinaga et al., 2023: 2).

علاوه‌بر این، با توجه به مصرف بی‌رویهٔ انرژی در عصر حاضر، مشکلات متعددی ازجمله اثرات مخرب زیست‌محیطی، افزایش دمای زمین، اثرات گلخانه‌ای و آلودگی کرهٔ زمین به وجود آمده (Liu et al., 2021)که بر ضرورت دستیابی به راهکارهای متناسب با کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها تأکید می‌کند (Borrallo-Jiménez et al., 2022).

با این وضعیت، تأثیر بخش ساختمان بر گرمایش جهانی به یک موضوع اساسی در سراسر جهان تبدیل شده است؛ زیرا ساختمان‌ها تقریباً چهل درصد از انرژی جهان را مصرف می‌کنند و سی درصد از گازهای گلخانه‌ای را انتشار می‌دهند (Murtyas et al., 2024: 2). تا همین اواخر، اغلب در طراحی ساختمان ملاحظات مربوط به بهره‌وری انرژی نادیده گرفته می‌شد و متعاقباً افزایش هزینه‌های گرمایش و سرمایش را برای ساختمان به‌همراه داشت (Alaoui et al., 2023). به‌طور همزمان، گسترش سریع شهرنشینی موجب رشد قابل توجه در صنعت ساخت‌وساز و افزایش متناظر در تقاضای انرژی شده است (Fakhari et al., 2021). در حال حاضر، انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها ۶/۷ درصد از کل تولید انرژی جهان است (Irshad & Noori, 2022: 595).

با این شرایط و با توجه به عمر طولانی ساختمان‌ها، اتخاذ اقدامات سریع و گسترده به‌منظور افزایش عملکرد انرژی ساختمان ضروری است (Murtyas et al., 2024: 2). طراحی معماری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ساختمان از جنبهٔ پایداری تأثیر می‌گذارد و یکی از ابزارهای دستیابی به معماری پایدار، بهینه‌سازی ساختمان در راستای دستیابی به اهداف پایداری طی فرایند طراحی ساختمان است (Wang et al., 2024: 1). یکی از جنبه‌های مهم در طراحی معماری ساختمان‌های پایدار، تکامل شیوه‌های معماری در پاسخ به چالش‌های زیست‌محیطی است. بهره‌وری مصرف انرژی به‌عنوان یکی از اصول معماری پایدار محسوب می‌شود. بهره‌وری انرژی در معماری پایدار به مفهوم حداکثر رساندن استفاده از منابع طبیعی برای تأمین یا کاهش تقاضای انرژی ساختمان است (Mba et al., 2024: 2).

در کشورهای در حال توسعه و به‌ویژه کشور ایران،

بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، در مقایسه با کشورهای صنعتی بسیار محدود است. در حال حاضر تنها شش درصد از انرژی مورد نیاز کشور از طریق منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود که این میزان، ایران را در ردیف پایین‌ترین طبقه از کشورهای تولیدکننده انرژی‌های نو قرار داده است (امینی و همکاران، ۱۴۰۳: ۶). در سراسر جهان از میان ساختمان‌های با کاربری عمومی، ساختمان‌های اداری بیشترین سهم از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند (Bonjar et al., 2021: 124). ساختمان‌های اداری، از ساختمان‌های پرمصرف انرژی در مقیاس شهری شناخته می‌شوند و با شناسایی میزان مصرف انرژی و ارائهٔ راهکارهای بهینه‌سازی، افزایش کارایی و اصلاح الگوی مصرف آن، می‌توان با کاهش میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر را فراهم کرد (Joe et al., 2022).

از موارد مهم در فضاهای اداری که هم متأثر از پوشش معماری و هم تنظیمات داخلی ساختمان قرار می‌گیرد، مصرف انرژی ساختمان‌های اداری است. تقاضای گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و سایه‌اندازی، بخشی از این عوامل است (Vandenbogaerde et al., 2023). ایجاد روابط بهینه بین ساختمان‌ها و انرژی خورشیدی و تأمین گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها توسط آن، از عوامل شکل‌گیری معماری فضاها در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان‌هاست (Zareba et al., 2022). با توجه به تأثیر قابل توجه نما و پوستهٔ ساختمان در حفظ انرژی، استفاده از سامانه‌های حرارتی ایستا[1] به‌عنوان راه‌حل معماری پایدار برجسته می‌شود (Azkorra-Larrinaga et al., 2023: 2). فناوری حرارتی خورشیدی به‌عنوان یکی از روش‌های بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر انرژی، اهمیت بالایی در حوزهٔ ساختمان دارد (Meng et al., 2019) و به‌مثابهٔ روشی کارآمد از نظر هزینه و منابع قابل دسترس برای ایجاد هماهنگی میان اقلیم و معماری و مردم محسوب می‌شود (Gupta & Tiwari, 2016).

با استفاده از سامانه‌های حرارتی ایستا می‌توان بهره‌وری انرژی را به حداکثر رساند و مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به میزان قابل توجهی کاهش داد (Irshad & Noori, 2022). سامانه‌های حرارتی ایستا هم در فصول گرم برای کاهش تقاضای انرژی سرمایشی و هم در فصول سرد برای کاهش تقاضای انرژی گرمایشی به کار می‌روند. گرمایش ایستا بر پایهٔ استفاده از انرژی حرارتی خورشید و سرمایش ایستا بر پایهٔ استفاده از کاهنده‌های گرمایی مختلف استوار هستند (DeKey & Brown, 2016).

در فصول سرد اقلیم‌های مختلف، شرایط محیط باید توسط معمار در نظر گرفته شود تا نیاز به انرژی گرمایشی با استفاده از روش‌های مختلف کاهش یابد. کاهش نیاز به انرژی گرمایشی با استفاده از گرمایش طبیعی حاصل از انرژی خورشیدی رخ می‌دهد (Omar, 2020). به این منظور، روش‌های مختلفی در جذب انرژی حرارتی خورشیدی و در قالب سامانه‌های ایستا عمل می‌کنند. ازجمله پنجره‌های خورشیدی[2] (Chan et al., 2022)، احداث دیوار ترومب[3] (Wang et al., 2020)، گلخانه[4]، اتاق بهرهٔ مستقیم (Si et al., 2020) به‌عنوان یک ساختار محفظهٔ شفاف دولایه با مقاومت حرارتی قابل‌تغییر (Gong et al., 2022)، بهره‌گیری از سیستم جامع دیوار آتش تأثیرگذار بر تغییرات دمای داخلی و کاهش بار حرارتی کلی ساختمان که از طریق همرفت گرما و به‌عنوان عایق در زمستان عمل می‌کند (Yang & Chen, 2021)، بهره‌گیری از تجهیزات یکپارچهٔ جمع‌آوری و ذخیره‌سازی گرما بر اساس کلکتور ایستا و لولهٔ خلاء و تغییر فاز مواد (Zhou, 2021) و... که به‌عنوان سامانه‌های ایستای خورشیدی بر صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی برای انواع ساختمان تأثیرگذارند.

سامانه‌های حرارتی ایستا برای اقلیم‌های گرم و خشک پاسخ‌ده هستند؛ زیرا اقلیم‌هایی نظیر اقلیم گرم و خشک از میزان تابش سالیانهٔ آفتاب فراوانی بهره‌مندند (کنگازیان و میرممتاز، ۱۴۰۰: ۲۸).

هدف از این مقاله، سنجش بازدهی و عملکرد حرارتی ساختمان در دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی در فصل سرما و تعیین سامانهٔ بهینه است. برای نیل

به هـدف پژوهش ضمن کنـدوکاو در ادبیات موضوع، سامانه‌های حرارتی ایستا و دو نمونه از انواع رایج و قابل کاربرد این سـامانه‌ها در اقلیم گرم و خشک مشتمل بر گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی تشریح شد. برآورد تقاضای انـرژی در محیط‌های نرم‌افزاری مختلـف امکان‌پذیر است. ازاین‌رو، پژوهشـگران از دیزاین بیلدر[5] به‌منظور شبیه‌سـازی رفتار انرژی اسـتفاده کردند. گفتنی است که داده‌هـای اقلیمی مـورد نیاز از نرم‌افـزار کلایمت کانسـالتنت[6] اخذ شـد و به‌عنوان متغیرهای ورودی به دیزاین بیلدر داده شد. در گام بعدی، سناریوهای مربوط به دو سامانهٔ منتخب سـاخته‌وپرداخته شد و ساختمان شهرداری منطقهٔ دوازده اصفهان به‌عنوان نمونهٔ مطالعاتی مدنظر قرار گرفت. در ادامه، به بررسـی مصرف انرژی در نمای بدون سـامانهٔ ایسـتا و همچنین شبیه‌سـازی تقاضای انرژی در هرکدام از سـناریوها پرداخته شد و از این رهگذر امکان مقایسهٔ عملکرد حرارتی ساختمان برای فصل سرما در هرکدام از سناریوها حاصل شد. در نهایت، مؤثرترین سامانهٔ ایسـتا از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشـی و ارتقای بهره‌وری انرژی در ساختمان شهرداری منطقه دوازده اصفهان تعیین شد.

مبانی نظری

سامانه‌های حرارتی ایستا:

سامانهٔ حرارتی ایسـتا، سیستمی است که در آن عناصر اصلی ساختمان، انرژی خورشید را جمع‌آوری، ذخیره و دوباره توزیع می‌کنند (DeKey & Brown, 2016). گرمایش خورشیدی ایستا نوعی طراحی زیست‌اقلیمی است که نه‌تنها باعث کاهش مصرف انرژی ساختمان، بلکـه به کاهش هزینه‌های مربوط بـه لوازم گرمایش و تعمیر آن‌هـا منجر می‌شـود (Cui, 2018). رایج‌ترین فناوری‌های حرارتی ایسـتا شامل سـامانه‌های پنجرهٔ خورشـیدی، گلخانه و دیوار ترومب اسـت (Chen et al., 2023).

گلخانه:

گلخانـه از عناصـر کلاسـیك معماری اسـت و یک سامانهٔ گرمایش خورشـیدی به شمار می‌آید (Barrio-Amorós et al., 2015). گلخانـه به‌عنوان اسـتراتژی خورشیدی ایسـتا و منبع گرما در سیستم تهویه استفاده می‌شـود. این نوع اسـتراتژی تهویهٔ طبیعـی برای گرم کردن هوای داخلی اسـتفاده می‌شود (Conceição et al., 2022). گلخانهٔ خورشـیدی تأثیر بسزایی بر کنترل مصرف انرژی سـاختمان‌ها دارد (Suárez López et al., 2020). اثر گلخانه‌ای به‌صورت یک شـیر فلکه با جریان یک‌طرفه گرما عمل می‌کند. این اثر امکان ورود انرژی خورشـیدی با طول موج کوتاه را میسر می‌سازد و توأمان مانع از فرار گرما می‌شـود. آن‌گاه جرم حرارتی داخل سـاختمان این گرما را جذب می‌کند تا هم مانع برافروختگی ساختمان به‌هنگام روز شود و هم آن را برای استفاده در شب ذخیره کند (Thomsen et al., 2015). در واقع گلخانهٔ خورشـیدی، یک کلکتور خورشـیدی اسـت که قسـمتی از نیازهای حرارتی فضای مجاور را تأمین می‌کنـد و به دیگر عملکردهای سـاختمانی نیز پاسخگوست (Givoni, 1998).

پنجرهٔ خورشیدی:

سـاختار مطلـوب پنجره‌ها به کاهش بار گرمایشـی و سرمایشـی سـاختمان کمک می‌کنـد و ورود بیش از حد گرمـا را از نمای جنوبی سـاختمان کنترل می‌کند (Mohammad & Ghosh, 2023). زیرا در تابسـتان بیش از هفتاد درصـد گرما از طریق پنجـره به فضای داخل ساختمان منتقل می‌شـود. در زمستان، پنجره‌ها باعث از دست دادن سی درصد گرما می‌شود. بنابراین، تنظیم نور خورشـید و تابش گرمای منتقل‌شده از طریق پنجره‌ها مصرف انرژی گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع را کاهش و درعین‌حال بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد (Zhou et al., 2021). طراحـی پنجـرهٔ کارآمـد در مصرف انرژی به‌طور گسـترده بر کاهش مصرف انرژی در فصل سرد تأثیر دارد (Kaasalainen et al., 2020).

پیشینهٔ پژوهش

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سامانه‌های حرارتی ایسـتا به بهره‌وری انرژی در سـاختمان منتج می‌شود. مطالعهٔ سـوبچیک حاکی از این اسـت کـه احداث سـاختمان با تکنیک‌های حرارتی ایستا، سرمایه‌گذاری سـبز تلقی می‌شود و مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی

ملموسی را با خود به ارمغان می‌آورد. به‌علاوه، طراحی و احداث ساختمان‌های ایستا به مصرف کمتر سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند. با توجه به کاهش منابع فسیلی به‌موازات افزایش تقاضا برای انرژی، کاهش وابستگی ساختمان به سوخت‌های فسیلی، اهمیت دوچندان می‌یابد (Sobczyk & Sobczyk, 2019).

ویگنولا و همکاران به‌کارگیری استراتژی‌های ایستا را در ساختمان برای آب‌وهوای گرم و خشک قاهره مطالعه کردند. نتایج شبیه‌سازی دال بر این بود که عملکرد ساختمان‌ها از نقطه‌نظر آسایش حرارتی و مصرف انرژی با استفاده از استراتژی‌های ایستا بهبود یافته است (Vignola, 2019).

کنسیسائو و همکاران عملکرد انرژی یک گلخانهٔ خورشیدی را در ساختمان به‌عنوان منبع گرما در شرایط زمستانی شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان داد که با استفاده از سامانهٔ گلخانه و راهبردهای تهویه، فضاهای ساختمان ضمن کاهش مصرف انرژی، آسایش حرارتی را تجربه می‌کنند(Conceição et al., 2022) . مونوز-لیسا و همکاران نشان دادند که عملکرد گلخانه در ساختمان، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد و به پایداری شهری می‌انجامد (Mu˜noz-Liesa et al., 2022).

ایهم و همکاران در مطالعهٔ خود نتیجه گرفتند که انتخاب شیشه‌های مناسب برای ساختمان در میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان تأثیر بسزایی دارد (Ihm et al., 2012). هاگلند در پژوهش خود تأکید کرده است که استفاده از شیشهٔ پنجره با کارایی بیشتر، یک ابزار مهم در راستای صرفه‌جویی در مصرف انرژی قلمداد می‌شود (Haglund, 2010). سرگزی و همکاران انتقال حرارت توسط تشعشع، جابه‌جایی و هدایت را برای پنجره‌های معمولی با شیشه‌های تک‌لایه و پنجره‌های دوجداره بررسی کردند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از پنجره‌های دوجداره، چهل و دو درصد از اتلاف انرژی کاهش می‌یابد (سرگزی و همکاران، ۱۳۹۴).

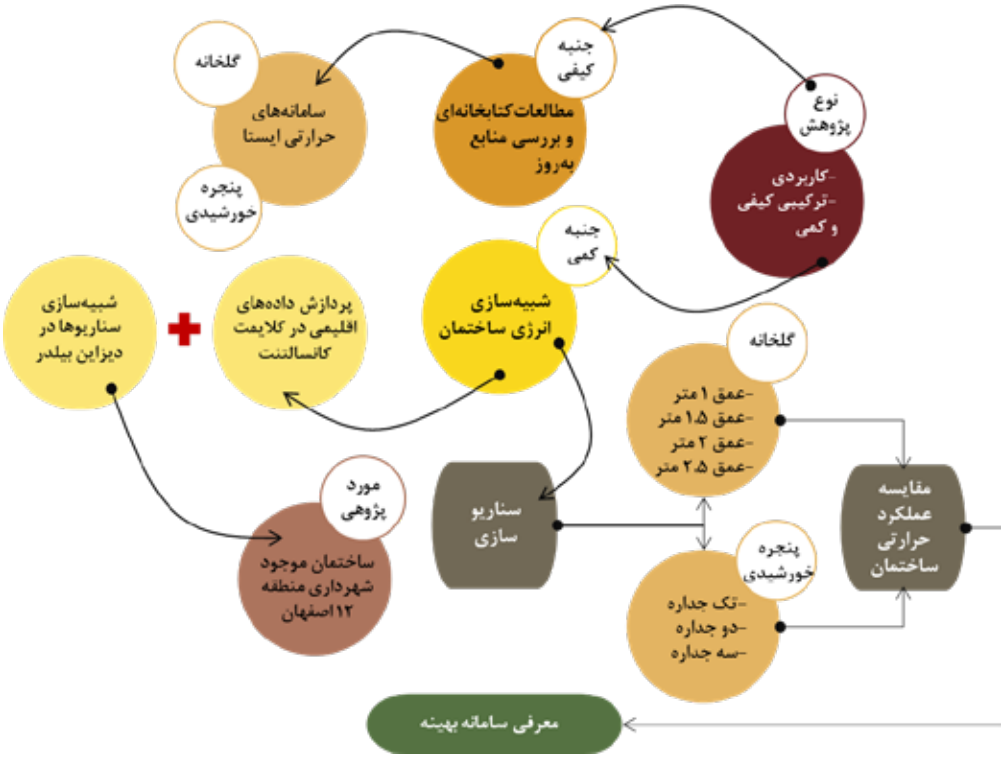
پیله‌چی‌ها و همکاران در پژوهش خود تصریح کردند که پوسته‌های ساختمان عامل اصلی در هدررفت انرژی است و نقش پنجره‌ها در این پوسته‌ها بسیار مهم است. بنابراین، انتخاب پنجرهٔ مناسب نقش مهمی در جلوگیری از هدررفت انرژی این بخش ایفا می‌کند. همچنین اشاره شده است که در میان جبهه‌های قرارگیری ساختمان، جبههٔ جنوبی به‌دلیل تابش مستمر خورشید حداقل نیمی از جداره‌های اصلی ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهد. ازاین‌رو، بر معرفی بهترین حالت پنجره در جبههٔ جنوبی تمرکز شده است. نتایج حاکی از آن است که بهترین حالت پنجره در جهت جنوب مربوط به پنجرهٔ دوجداره با شیشهٔ رفلکس است که دارای هشت میلی‌متر فاصلهٔ هوایی پرشده از گاز زنون است و نسبت به پنجرهٔ مرجع حدود ۱۵ درصد کاهش مصرف انرژی به‌همراه دارد و بهینه‌ترین کارایی انرژی را به ارمغان می‌آورد (پیله‌چی‌ها و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۲).

روش پژوهش

این پژوهش کاربردی و از نوع ترکیب روش‌های کیفی و کمی است. از جنبهٔ کیفی، مضامین مرتبط با سامانه‌های حرارتی ایستا و تأثیر آن بر عملکرد حرارتی ساختمان با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای بررسی شده است. از جنبهٔ کمی، شبیه‌سازی مصرف انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخهٔ ۷/۰/۱ و با استفاده از موتور انرژی پلاس[۷] انجام گرفته است.

با توجه به اهمیت ویژگی‌های اقلیمی در شبیه‌سازی انرژی، داده‌های اقلیمی اصفهان با نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت نسخهٔ ۶/۰ گردآوری شد و نتایج آن طی فرایند شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر بارگذاری شد. داده‌های اقلیمی مورد استفاده در محاسبات انرژی از ایستگاه فرودگاه شهید بهشتی اصفهان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی اخذ شد. در زمان انجام محاسبات، آخرین داده‌های اقلیمی قابل دسترس و مستند مربوط به میانگین ده سال گذشته در سال ۲۰۲۲ انتشار یافته بود.

به‌منظور بررسی وضعیت مصرف انرژی گرمایشی در فصل سرد بر مبنای دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی، مدل اولیه از فضای اداری در نرم‌افزار



شکل شمارهٔ (۱): فرایند انجام پژوهش

دیزاین بیلدر پردازش شـده اسـت. علاوه‌بر این، چهار سناریو برای سامانهٔ گلخانه و سـه سناریو برای سامانهٔ پنجرهٔ خورشیدی تدوین شد. «گلخانه با عمق ۱ متر»، «گلخانه با عمق ۱٫۵ متـر»، «گلخانه با عمق دو متر» و «گلخانه بـا عمق ۲٫۵ متر» سـناریوهای مربوط به سـامانهٔ گلخانه را تشـکیل می‌دهند. به‌علاوه، «پنجرهٔ خورشـیدی تک‌جداره»، «پنجرهٔ خورشیدی دوجداره» و «پنجرهٔ خورشیدی سـه‌جداره» سناریوهای مربوط به سامانهٔ پنجرهٔ خورشیدی محسوب می‌شوند.

پیش‌فرض‌های شبیه‌سـازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر به شرح زیر است:

– نوع مصالـح در جداره‌های خارجی نمـا: آجرنما با ضخامت ده سـانتی‌متر، عایق پلی استایرن با ضخامت هشت سانتی‌متر، دیوار آجری با ضخامت ده سانتی‌متر و اندود گچ داخلی با ضخامت دو سانتی‌متر؛

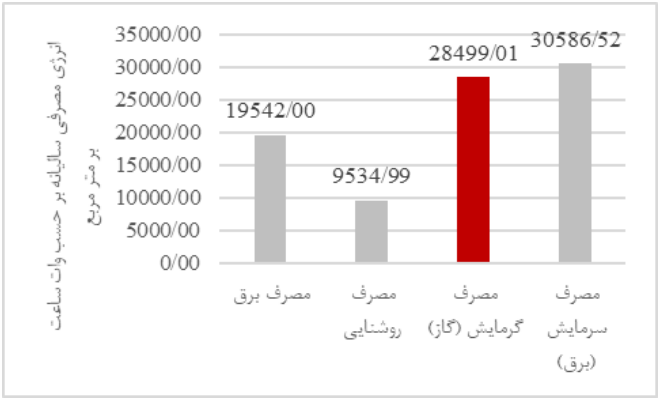
– انتقـال حـرارت همرفتی: ۲٫۱۵ وات بـر متر مربع کلوین؛

– انتقـال حرارت از طریق تشعشـع: ۵٫۵ وات بر متر مربع کلوین؛

– مقاومت سطح: ۰٫۱۳ متر مربع کلوین بر وات.

در ایـن پژوهش، سـاختمان شـهرداری منطقه دوازده واقع در شـهر اصفهان برای شبیه‌سـازی در نظر گرفته شده است. این سـاختمان با زیربنای ۲۲۵۰ متر مربع و در سه طبقه ساخته شـده است. فرض شده است که قوانین ساختمان نظام مهندسی اصفهان، استانداردهای طراحـی مندرج در مقـررات ملی سـاختمان ازجمله مبحث نوزده و ضوابط ابلاغ‌شـده از سـوی وزارت راه و شهرسـازی در فرایند اجرای سـاختمان رعایت شده اسـت. در نتیجه عناصـر مرتبط با مصـرف انرژی در سـاختمان ازجمله سیسـتم‌های گرمایشـی از کارایی

شکل شمارهٔ (۲): مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر



نمودار شمارهٔ (۱): مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان شهرداری منطقه دوازده اصفهان در حالت معمولی (بدون سامانهٔ حرارتی ایستا) بر حسب Wh/m^2

لازم برخوردار است و اتلاف انرژی در ساختمان رخ نمی‌دهد. در شکل شمارهٔ (۱) فرایند انجام پژوهش مشخص شده است.

بحث و ارائهٔ یافته‌ها

در این مبحث، ابتدا مصرف انرژی ساختمان در حالت معمولی بررسی شد. آنگاه مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان با دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی شبیه‌سازی شد. در نهایت عملکرد حرارتی منتج از به‌کارگیری دو سامانهٔ مذکور با یکدیگر مقایسه شد. در شکل شمارهٔ (۲)، مدل‌سازی اولیه از فضای اداری، مدل‌سازی گلخانه و همچنین متغیرهای به‌کاررفته در مدل‌سازی پنجرهٔ خورشیدی نشان داده شده است.

بررسی مصرف انرژی ساختمان در حالت معمولی: در نمودار شمارهٔ (۱)، مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان در حالت معمولی (بدون استفاده از سامانهٔ حرارتی ایستا) بررسی شده است. میزان مصرف انرژی گرمایشی در فصل زمستان برابر با ۲۸۴۹۹/۰۱ وات ساعت بر متر مربع برآورد شده که قابل توجه است.

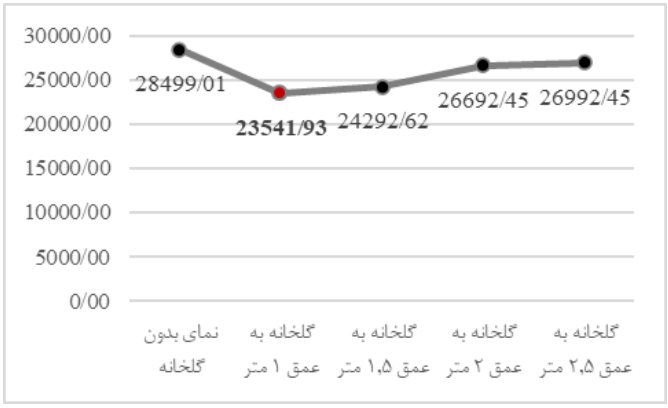
نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان با سامانهٔ گلخانه: مصرف انرژی سالیانه در ساختمان شهرداری منطقه دوازده اصفهان با سامانهٔ گلخانه به تفکیک چهار سناریو در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شده است. بدین ترتیب که عمق گلخانه در دیوار جنوبی از ساختمان شهرداری منطقه دوازده در چهار سناریو

نمودار شمارهٔ (۲): نتایج شبیه‌سازی سامانهٔ گلخانه

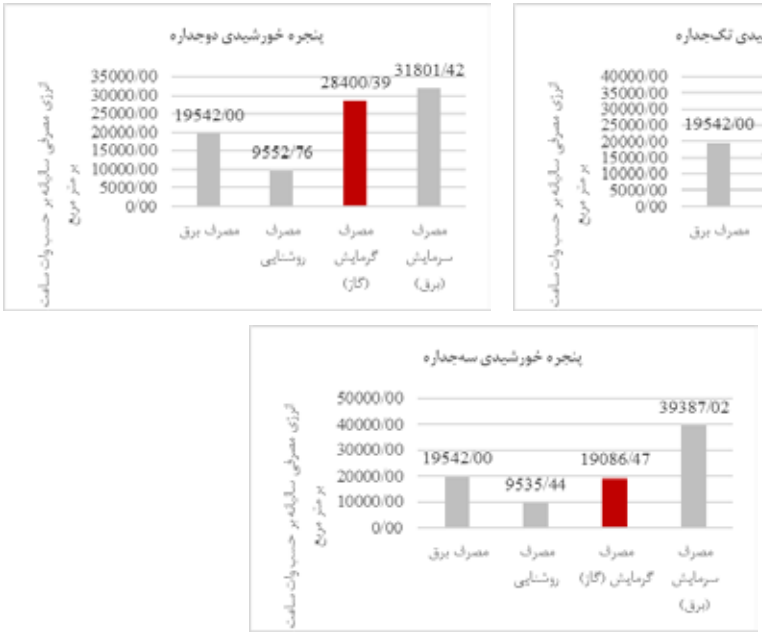
شـــامل «۱ متر»، «۱٫۵ متر»، «۲ متر» و «۲٫۵ متر» متغیر بوده اســـت. در محاسبات انجام‌شده، پنجره‌ها از نوع متحرک اســـت. همچنین پنجره‌ها، به‌منظور کاهش اثرات منفی ناشـــی از تابش خورشـــید در فصل گرما، باز می‌شوند. نتایج شبیه‌ســـازی مصرف انرژی سالیانهٔ ســـاختمان با سامانهٔ گلخانه به تفکیک هر چهار سناریو در نمودار شمارهٔ (۲) نشان داده شده است.

در نمودار شـــمارهٔ (۳) بار گرمایش مورد نیاز ساختمان شهرداری منطقه دوازده شـــهرداری اصفهان در حالت معمولی (نمای بدون گلخانه) و چهار سناریوی یادشده مقایسه شده اســـت. مداقه در این نمودار نشان می‌دهد که کمترین بار گرمایش ســـالیانهٔ مورد نیـــاز مربوط به سناریوی گلخانه با عمق یک متر با ۲۳۵۴۱٫۹۳ وات ســـاعت بر متر مربع است. اســـتفاده از گلخانه با عمق یـــک متر در نمای جنوبی ســـاختمان، انرژی مورد نیاز برای گرمایش سالیانه را در مقایسه با نمای بدون گلخانه به میزان ۱۷٫۳۹ درصد کاهش می‌دهد. به‌طور مشابه، گلخانه بـــا عمق ۱٫۵ متر ۱۴٫۷۶ درصـــد، گلخانه به عمـــق دو متر ۶٫۳۴ درصد و گلخانه به عمق ۲٫۵ متر ۵٫۲۹ درصد انرژی مورد نیاز برای گرمایش سالیانه را در مقایسه با نمای بدون گلخانه کاهش می‌دهد.

نتایج شبیه‌ســـازی مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان با سامانهٔ پنجرهٔ خورشـــیدی: مصرف انرژی سالیانه در ساختمان شهرداری منطقه دوازده اصفهان با سامانهٔ پنجرهٔ خورشـــیدی به تفکیک ســـه ســـناریو در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌ســـازی شده است. پنجرهٔ تک‌جداره، دوجداره و ســـه‌جداره ســـناریوهای مربوط به ســـامانهٔ پنجره خورشـــیدی را تشـــکیل می‌دهند. در محاسبات انجام‌شـــده، ارتفاع قرارگیری پنجرهٔ خورشیدی به‌دلیل نیاز به نور در ارتفاع ۱۱۰ ســـانتی‌متری از ســـطح زمین است. درصد مســـاحت پنجرهٔ خورشیدی به مساحت



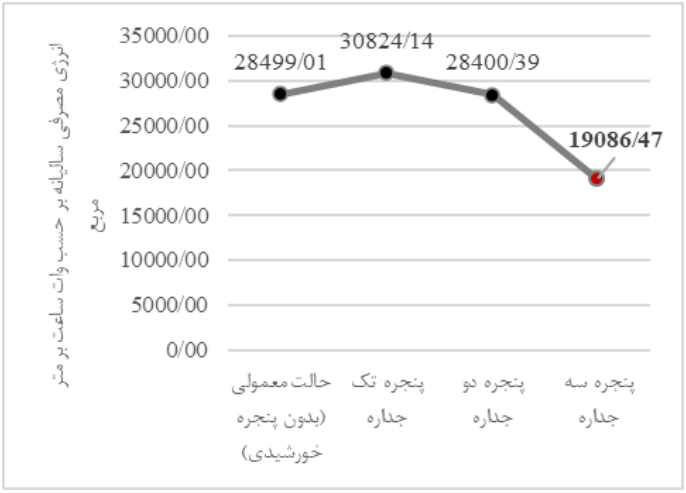
نمودار شمارهٔ (۳): مقایسهٔ تطبیقی نتایج شبیه‌سازی مربوط به سناریوهای سامانهٔ گلخانه از نظر بار گرمایش بر حسب Wh/m^2



نمودار شمارهٔ (۴): نتایج شبیه‌سازی با سامانهٔ پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره

کل دیوار، حداکثر سی درصد در نظر گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی سالیانهٔ ساختمان با سامانهٔ پنجره خورشیدی به تفکیک هر سه سناریو در نمودار شمارهٔ (۴) نشان داده شده است.

در نمودار شمارهٔ (۵)، بار گرمایش مورد نیاز ساختمان شهرداری منطقه دوازده شهرداری اصفهان در حالت معمولی (نمای بدون پنجرهٔ خورشیدی) و سه سناریوی یادشده مقایسه شده است. مداقه در این نمودار نشان می‌دهد که کمترین بار گرمایش سالیانهٔ مورد نیاز مربوط به سناریوی پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره



نمودار شمارهٔ (۵): مقایسهٔ تطبیقی نتایج شبیه‌سازی مربوط به سناریوهای سامانهٔ پنجرهٔ خورشیدی از نظر بار گرمایش بر حسب Wh/m^2

با ۱۹۰۸۶/۴۷ وات ساعت بر متر مربع است. استفاده از پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره، انرژی مورد نیاز برای گرمایش سالیانه را در مقایسه با نمای بدون پنجرهٔ خورشیدی به میزان ۳۳/۰۳ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین افزایش جداره‌های ساختمان و استفاده از پنجرهٔ سه‌جداره خورشیدی به میزان قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی در ساختمان منتج شده است.

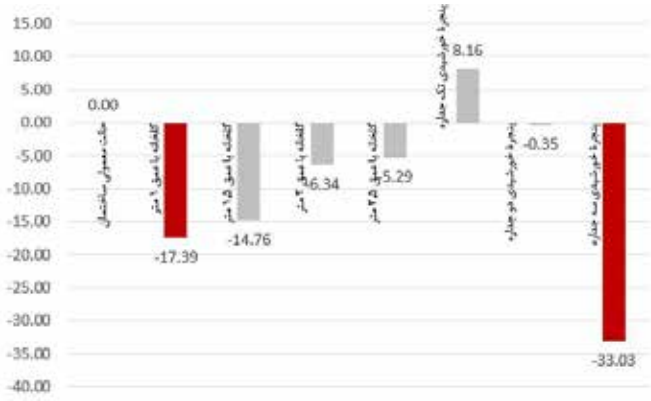
مقایسهٔ عملکرد حرارتی ساختمان در دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی: مقایسهٔ عملکرد حرارتی ساختمان در دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی در جدول شمارهٔ (۱) منعکس شده است. کندوکاو در این جدول نشان می‌دهد که از میان چهار سناریوی مربوط به سامانهٔ گلخانه، به‌کارگیری «گلخانه با عمق ۱ متر» بیشترین کاهش بار گرمایش سالیانه (۱۷/۳۹ درصد) را در مقایسه با حالت معمولی ساختمان به‌همراه داشته است. به‌طور مشابه، از میان سه سناریوی مربوط به پنجرهٔ خورشیدی، به‌کارگیری «پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره» بیشترین کاهش بار گرمایش سالیانه (۳۳/۰۳ درصد) را در مقایسه با حالت معمولی ساختمان به ارمغان می‌آورد. این در حالی است که سایر سناریوهای مربوط به سامانهٔ گلخانه شامل «گلخانه با عمق ۱/۵ متر»، «گلخانه با عمق ۲ متر» و «گلخانه با عمق ۲/۵ متر» در مقایسه با سایر سناریوهای مربوط به سامانهٔ پنجرهٔ خورشیدی شامل «پنجرهٔ خورشیدی دوجداره» و «پنجرهٔ خورشیدی تک‌جداره» عملکرد بهتری دارد.

نتیجه‌گیری

ساختمان‌های اداری ازجمله ساختمان‌های پرمصرف انرژی در جهان شناخته می‌شوند و مصرف انرژی در آن‌ها به عوامل متعددی ازجمله متغیرهای آب‌وهوایی وابسته است. ظرفیت ساختاری نهفته در سامانه‌های حرارتی ایستا شامل گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی در اقلیم گرم و خشک پاسخ‌دهی است. از رهگذر به‌کارگیری سامانه‌های یادشده، عملکرد حرارتی ساختمان ارتقا می‌یابد و متعاقباً به بهره‌وری انرژی گرمایشی در فصل سرما می‌انجامد. شناسایی سامانهٔ بهینه، مستلزم شبیه‌سازی رفتار انرژی در محیط‌های نرم‌افزاری است تا میزان مصرف انرژی گرمایشی سالیانه در ساختمان با توجه به متغیرهای آب‌وهوایی محاسبه شود. بنابراین،

جدول شمارهٔ (۱): مقایسهٔ عملکرد حرارتی ساختمان در دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی

نوع سامانه	سناریو	بار گرمایش سالیانه	رتبه	تغییرات نسبت به حالت معمولی (درصد)
حالت معمولی ساختمان	-	۲۸۴۹۹٫۰۱	۷	۰٫۰۰
گلخانه	گلخانه با عمق ۱ متر	۲۳۵۴۱٫۹۳	۲	۱۷٫۳۹-
	گلخانه با عمق ۱٫۵ متر	۲۴۲۹۲٫۶۲	۳	۱۴٫۷۶-
	گلخانه با عمق ۲ متر	۲۶۶۹۲٫۴۵	۴	۶٫۳۴-
	گلخانه با عمق ۲٫۵ متر	۲۶۹۹۲٫۴۵	۵	۵٫۲۹-
پنجرهٔ خورشیدی	پنجرهٔ خورشیدی تک‌جداره	۳۰۸۲۴٫۱۴	۸	۸٫۱۶
	پنجرهٔ خورشیدی دوجداره	۲۸۴۰۰٫۳۹	۶	۰٫۳۵-
	پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره	۱۹۰۸۶٫۴۷	۱	۳۳٫۰۳-



نمودار شمارهٔ (۶): میزان تغییرات بار گرمایش سالیانهٔ مورد نیاز در مقایسه با حالت معمولی ساختمان (بدون سامانهٔ حرارتی ایستا) بر حسب درصد

این پژوهش درصدد برآمد تا با شبیه‌سازی رفتار انرژی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر در شرایط آب‌وهوایی اصفهان برای ساختمان اداری شهرداری منطقه دوازده، از میان دو سامانهٔ گلخانه و پنجرهٔ خورشیدی، سامانهٔ بهینه را در فصل سرما شناسایی کند. نتایج حاکی از این است که پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره در مقایسه با پنجرهٔ خورشیدی دوجداره و پنجرهٔ خورشیدی تک‌جداره از نظر صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی در فصل سرما عملکرد بهتری دارد. به‌طور مشابه، گلخانه با عمق یک متر در مقایسه با گلخانه با عمق‌های ۱٫۵ متر، دو متر و ۲٫۵ متر به میزان بیشتری نیاز به انرژی گرمایشی در فصل سرما را می‌کاهد. چنان‌که استفاده از پنجرهٔ خورشیدی به میزان ۳۳٫۰۳ درصد و استفاده از گلخانه به عمق یک متر به میزان ۱۷٫۳۹ درصد، انرژی گرمایشی سالیانهٔ ساختمان را در نسبت با حالت معمولی ساختمان (بدون استفاده از سامانه‌های حرارتی ایستا) کاهش می‌دهد. در نهایت با توجه به نمودار شمارهٔ (۶) استفاده از پنجرهٔ خورشیدی سه‌جداره تقریباً دو برابر استفاده از گلخانه با عمق یک متر، عملکرد حرارتی ساختمان را در فصل سرما بهبود می‌بخشد.

به‌منظـــور خنثی کـــردن تأثیرات منفی ناشـــی از جذب انرژی خورشـــید در فصـــل گرما باید از ســـامانه‌های حرارتی ایســـتا، صرفاً در فصول ســـرد، اســـتفاده کرد. افزون بر آن اســـتفاده از راه‌حل‌هـــا و تمهیدات معماری در ســـاختمان توأم با اســـتفاده از ســـامانه‌های حرارتی ایســـتا، اثرات نامطلوب مربوط به تابش خورشـــید در فصول گـــرم را کنترل می‌کند. ازجملـــه این تمهیدات و ســـازوکارها می‌توان به سایه‌اندازی، بهره‌مندی از کوران طبیعی شمالی-جنوبی، به‌کارگیری عایق‌های حرارتی و استفاده از سایه‌بان در طراحی معماری اشاره کرد.

پی‌نوشت‌ها

1. Passive thermal systems
2. Solar window
3. Trombe wall
4. Greenhouse
5. Design Builder
6. Climate Consultant
7. Energy Plus

منابع

۱. امینی، مرضیه؛ داوری، سیده الهام؛ رضائی عارفی، محســـن و مولایی قلیچی، محمد. (۱۴۰۳). ارزیابی اثرات ابعاد برنامه‌ریزی شهری بر ساختمان‌های پایدار با اســـتفاده از روش پویایی سیســـتم (مـــورد مطالعه: شهرســـتان قائنات). نشـــریهٔ علمی پژوهش‌های فضا و مکان در شهر، ۶ (۳۰)، ۲۹-۵.
https://doi.org/10.22034/jspr. 2024. 2037448. 1078

۲. پیله‌چی‌ها، پیمان، بیات، محســـن، و قاسمی نسب، مریم. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر کارایی انـــرژی پنجره‌های دوجـــداره در اقلیم گرم و خشـــک (مطالعهٔ موردی: جبههٔ جنوبی ساختمان اداری در شهر تهران). هویت شهر، ۱۵(۴۷)، ۵-۱۴.
https://sid.ir/paper/951410/fa

۳. تدیـــن، بهاره؛ صفـــری، زهرا و منصـــوری، فهیمه. (۱۴۰۲). ارزیابـــی پایـــداری بافت تاریخـــی مبتنی بر رویکرد شهر هوشمند (مورد مطالعه: محلهٔ سنبلستان). فصلنامـــهٔ پژوهش‌های فضا و مکان در شـــهر، (۲۸)، ۷۲-۵۳.
https://doi.org/10.22034/jspr. 2024. 2027363. 1063

۴. سرگزی، دانیال، عابدی، محمدحسین، و صیدزایی، نرگـــس. (۱۳۹۴). بهینه‌ســـازی مصـــرف انـــرژی در ســـاختمان (مطالعهٔ موردی: پنجرهٔ دوجداره). کنفرانس بین‌المللـــی پژوهـــای نویـــن در عمـــران، معماری و شهرسازی. 855123https://sid.ir/paper/

۵. شفیعی دارافشـــانی، علی و امیری، محدثه سادات. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی توسعهٔ پایدار کلان‌شهر اصفهان با تأکید بر رویکرد شـــهر ســـبز با مطالعهٔ تطبیقی شهر فرایبورگ و اصفهان. فصلنامهٔ پژوهش‌های فضا و مکان در شهر، (۲۶)، ۱۱۶-۹۹.
https://doi.org/10.22034/jspr. 2024. 2012790. 1049

۶. کنگازیان، علـــی و میرممتاز، ســـید محمدمهدی. (۱۴۰۰). دســـتیابی بـــه آســـایش بصـــری بهینـــه در ساختمان‌های اداری با اســـتفاده از مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم (نمونهٔ موردی: شهر اصفهان). فصلنامهٔ پژوهش‌های فضا و مکان در شهر، (۲۱)، ۳۸-۲۷.
https://doi.org/10.22034/jspr.2022.701770

7. Alam, Md. S., Dinçer, H., Kisswani, K. M., Khan, M. A. I., Yüksel, S., & Alsharif, M. (2024). Analysis of green energy-oriented sustainable development goals for emerging economies. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 10(3), 1-14.

8. Alaoui, A. L., Amrani, A-i., Merrouni, A. A., Salhi, J-E., Boulerhcha, O., Daoudia, A., Hassouani, Y., Chaabelasri, E., & Halimi, M. (2023). Thermal and energy efficiency study of passive heating and cooling systems in Morocco's cold desert climate. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 6, 1-17.

J., Lúcio, M. M., & Awbi, H. (2022). Energy performance of a solar greenhouse as heat source in ventilation systems. E3S Web of Conferences 356, 1-4.

16· Cui, M. (2018). A feasibility study of Trombe wall design in the cold region. International Conference on Indoor Air Quality Ventilation & Energy Conservation in Buildings, China.

17· DeKey, M., & Brown, G. Z. (2016). SUN, WIND & LIGHT: Architectural Design Strategies. JOHN WILEY & SONS, INC.

18· Fakhari, I., Behzadi, A., Gholamian, E. Ahmadi, P., & Arabkoohsar, A. (2021). Comparative double and integer optimization of low-grade heat recovery from PEM fuel cells employing an organic Rankine cycle with zeotropic mixtures. Energy Conversion and Management, 228, 1-18.

19· Givoni, B. (1998). Climate Considerations in Building ad Urban Design. NY, Van Nostrand Reinhold, 1-480.

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

21· Gupta, N., & Tiwari, G. N. (2016). Review of passive heating/cooling systems of buildings. Energy Science and Engineering, 4(5), 305-333.

22· Haglund, K. L. (2010). Decision-making methodology & selection tools for high-performance window systems in U.S. climates. Proceedings of the 2nd Building Enclosure Science & Technology Conference, USA: Portland, 1-13.

9· Azkorra-Larrinaga, Z., Romero-Antón, N., Martín-Escudero, K., Lopez-Ruiz, G., & Giraldo-Soto, C. (2023). Evaluation of the thermal performance of two passive façade system solutions for sustainable development. Sustainability, 15, 1-23.

10· Barrio-Amorós, C. L., Chacón-Ortiz, A., & Rojas- Runjaic, F. J. M. (2015). First report of the salamanders Bolitoglossa leandrae and B. tamaense (Urodela, Plethodontidae) for Venezuela. Amphibian and Reptile Conservation, 9(2), 95-99.

11. Bonjar, M. R. G., Horvath, K. R., Baranyai, B., & Kistelegdi, I. (2021). Passive system optimization in office buildings using a reference testbed building. Pollack Periodica, 16, 124-129.

12. Borrallo-Jiménez, M., LopezDeAsiain, M., Esquivias, P. M., Delgado-Trujillo, D. (2022). Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain. Energy and Buildings, 254, 1-17.

13· Chan, T. N., Ha, P. T. H., & Phuong, N. T. K. (2022). Method of calculating solar heat transmitted through shaded windows for OTTV in consideration of diffuse radiation diminished. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 22(2), 945-960.

14· Chen, Y., Chen, Z., Wang, D., Liu, Y., Zhang, Y., Liu, Y., Zhao, Y., Gao, M., & Fan, J. (2023). Co-optimization of passive building and active solar heating system based on the objective of minimum carbon emissions. Energy, 275.

15· Conceição, E., Conceição, M. I., Gomes,

23· Ihm, P., Park, L., Krarti, M., & Seo, D. (2012). Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea. Energy Policy, 44, 1–9.
24· Irshad A. S., & Noori, A. G. (2022). Evaluating the effects of passive cooling and heating techniques on building energy consumption in Kandahar using CLTD method. Materials Today: Proceedings, 57, 595-602.
25· Joe, J., Min, S., Oh, S., Jung, B., Kim, Y. M., Kim, D. W., Lee, S. E., & Yi, D. H. (2022). Development of simplified building energy prediction model to support policy-making in South Korea-case study for office buildings. Sustainability, 14, 1-13.
26· Kaasalainen, T., Mäkinen, A., Lehtinen, T., Moisio, M. & Vinha, J. (2020). Architectural window design and energy efficiency: Impacts on heating, cooling and lighting needs in Finnish climates. Journal of Building Engineering, 27.
27· Li, L., & Zhou, J. (2021). Research and Application of Solar Energy Heating System for Individual Household in Western Sichuan Plateau. E3S Web of Conferences 261, 1-5.
28· Liu, M., Huang, X., Chen, Z., Zhang, L., Qin, Y., Liu, L., Zhang, S., Zhang, M., Lv, X., & Zhang, Y. (2021). The transmission mechanism of household lifestyle to energy consumption from the input-output subsystem perspective: China as an example. Ecological Indicators, 122, 1-21.
29· Mba, E. M., Okeke, F. O., Igwe, A. E., Ozigbo, G. A., Oforji, P. I., & Ozigbo, I. W. (2024). Evolving trends and challenges in sustainable architectural design; a practice perspective. Heliyon, 10(20), 1-18.
30· Meng, X., Feng R., & Yang, Y. (2019). Research Status and Development Trend of Solar Heating Technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 300, 1-19.
31· Mishra, M., Desul, S., Santos, C. A. G., Mishra, S. K., Kamal, A. H. M., Goswami, S., Kalumba, A. M., Biswal, R., da Silva, R. M., Dos Santos, C. A.C., & Baral, K. (2023). A bibliometric analysis of sustainable development goals (SDGs): a review of progress, challenges, and opportunities.Environment Development and Sustainability, 26(5), 1-43.
32· Mohammad, A. K. & Ghosh, A. (2023). Exploring energy consumption for less energy-hungry building in UK using advanced aerogel window. Solar Energy, 253, 389-400.
33· Mu˜noz-Liesa, J., Royapoor, M., Cuerva, E., Gass´o-Domingo, S., Gabarrell, X., & Josa, A. (2022). Building-integrated greenhouses raise energy co-benefits through active ventilation systems. Building and Environment, 208, 1-12.
34· Murtyas, S., Qian, R., Matsuo, T., Tuck, N. W., Zaki, S. A., & Hagishima, A. (2024). Thermal comfort in a two-storey malaysian terrace house: Are passive cooling methods sufficient in present and future climates?. Journal of Building Engineering, 96, 1-17.
35· Omar, O. (2020). Near zero-energy buildings in Lebanon: the use of emerging technologies and passive architecture. Sustainability, 12, 1-13.
36· Regona, M., Yigitcanlar, T., Hon, G., & Teo, M. (2024). Artificial intelligence and sustainable development goals: Systematic literature review of the construction industry.

tion of informal apartment blocks in Cairo. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1-8.
44· Wang, D., Hu, L., Du, H., Liu, Y., Huang, J., Xu, Y., & Liu, J. (2020). Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 124.
45· Wang, X., Teigland, R., & Hollberg, A. (2024). Identifying influential architectural design variables for early-stage building sustainability optimization. Building and Environment, 252, 1-19.
46· Yang, S., Dewancker B., & Chen, S. (2021). Study on the passive heating system of a heated cooking wall in dwellings: A case study of Traditional dwellings in Southern Shaanxi. Sustainability, 18, 1-31.
47· Zareba, A., Krzemi´nska, A., Kozik, R., Adynkiewicz-Piragas, M., & Kristiánová, K. (2022). Passive and active solar sstems in eco-architecture and eco-urban planning. Sustainability, 12, 1-13.
48· Zhou, Y., Fan, F., Liu, Y., Zhao S., Xu, Q., Wang, S., Luo, D., & Long, Yi. (2021). Unconventional smart windows: Materials, structures and designs. Nano Energy, 90.
Sustainable Cities and Society, 108, 1-23.
37· Si, P., Lv, Y., Rong, X., Shi, L., Yan, J., & Wang, X. (2020).An innovative building envelope with variable thermal performance for passive heating systems. Applied Energy, 269.
38· Sobczyk W., & Sobczyk, E. J. (2019). Thermal comfort in a passive solar building. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1-7.
39· Suárez López, M. J., Castro, S. S., Manso, A. N., & Marigorta, E.B. (2020). Heat collection in an attached sunspace. Renewable Energy, 145, 2144–2150.
40· Thomsen, K. E., Rose, J., Morck, O., Jensen, S. O., & Ostergaard, I. (2015). Energy consumption in an old residential building before and after deep energy renovation. Energy Procedia, 78, 2358-2365.
41· United Nations. 2024. The Sustainable Development Goals Report, 1-51.
42· Vandenbogaerde, L., Verbeke, S., & Audenaert, A. (2023). Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings. Journal of Building Engineering, 76(8).
43· Vignola, G. (2019). Passive strategies for buildings in hot and dry climates: Optimisa-

نحوه ارجاع به این مقاله:
ملک احمدی، سینا، ماجدی، حمید و لبیب‌زاده، راضیه. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد دو سامانهٔ حرارتی ایستا از نظر تقاضای انرژی گرمایشی در مکان‌های شهری (مورد مطالعه: ساختمان اداری اصفهان)، ۸(۳۲)، ۱۵۳-۱۳۹. https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2049587.1097
URL: https://jspr.jdisf.ac.ir/article_721469.html

Copyrights:
©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.
This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).