



eISSN:2980-9673

The Art of Green Management

Homepage: <https://agm.journal.art.ac.ir/>

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigating the Impact of Thermal Insulation on Reducing Building Cooling Load Using Design Builder Software in the Hot and Humid Climate of Abadan

Ali Mardani ^{(1)*} 1. Department of Architecture, Arv.C., Islamic Azad University, Abadan, Iran. (<https://orcid.org/0000-0001-7537-6748>)

Publisher: Iran University of Art

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received:22/09/2024 Revised:21/11/2024 Accepted:01/12/2024 PP. 79-99 Keywords: <i>Thermal Insulation, Building Cooling Load, Energy Saving, Hot and Humid Climate, Design Builder</i>	Introduction: The hot and humid climate of southern Iran, particularly the city of Abadan, is characterized by intense solar radiation, high temperatures, and elevated relative humidity, making it one of the regions with the highest cooling demands in the country. Under such conditions, the building sector accounts for a significant share of total energy consumption, while heat transfer through the building envelope—especially walls and roofs—substantially increases cooling loads. The novelty of this study lies in the quantitative evaluation of the effectiveness of rock wool thermal insulation in reducing the cooling load of a typical residential building in Abadan using dynamic building energy simulation and actual climatic data under real operating conditions. The Purpose of the Research: This study aims to investigate the impact of thermal insulation on reducing the cooling load of residential buildings in the hot and humid climate of Abadan using the Design Builder building energy simulation software. Methodology: A typical two-story residential building with a total floor area of 445.38 m² was modeled based on common regional construction practices. Two simulation scenarios were considered: (1) an uninsulated building and (2) a building insulated with a 5-cm layer of rock wool applied to the walls and roof. Simulations were performed using actual climatic data for Abadan during the peak cooling season (June 5 to September 6, 2025) with an hourly time step. Building operation schedules, cooling system set-point temperatures, and the thermal properties of the building envelope materials, including thermal transmittance (U-value), heat capacity, and material thickness, were incorporated into the model. All parameters remained unchanged between the two scenarios except for the addition of the insulation layer. Findings and Discussion: The simulation results indicated that the total cooling energy demand of the uninsulated building during the study period was approximately 17,017 kWh, whereas the insulated building required only 7,830 kWh. The application of rock wool insulation reduced cooling energy consumption by approximately 54%. Moreover, the insulated model exhibited significantly lower indoor temperature fluctuations, resulting in improved thermal stability and enhanced energy performance under the hot and humid climatic conditions of Abadan. Conclusion: The findings demonstrate that applying a 5-cm rock wool insulation layer to the walls and roof is an effective strategy for reducing cooling energy demand and improving indoor thermal performance in residential buildings located in hot and humid climates. Therefore, rock wool insulation is recommended as an efficient energy-saving measure for residential buildings in Abadan and similar climatic regions. Funding: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



Use your device to scan and
read the article online

ARTICLE INFO	ABSTRACT
	Authors' Contribution: All authors contributed equally to the conception and design of the study, building energy simulation using Design Builder, data analysis and interpretation, and manuscript preparation. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript. Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest. AI Usage Declaration: The author declares that Google Gemini AI was utilized solely for the purposes of enhancing linguistic clarity, editing, and translating certain source texts. All scientific content, theoretical analyses, research findings, and the ultimate responsibility for the integrity of the work rest entirely with the author. Acknowledgments: The authors would like to express their sincere appreciation to all individuals who provided valuable scientific guidance and technical support during the completion of this research.

Highlight

- The cooling performance of rock wool insulation was assessed using Design Builder.
- Cooling energy consumption decreased by 54% after applying rock wool insulation.
- The study provides climate-specific evidence for residential buildings in Abadan.



This paper is an open access and licensed under the [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license

©2024, AGM. All rights reserved.

Cite This Article: Mardani, A. (2024). Investigating the Impact of Thermal Insulation on Reducing Building Cooling Load Using Design Builder Software in the Hot and Humid Climate of Abadan. *Art of Green Management*, 2(3), 79-99. 10.30480/agm.2026.6319.1059



<https://orcid.org/10.30480/agm.2026.6319.1059>



http://agm.journal.art.ac.ir/article_1515.html

*. Corresponding Author (Email: ali.mardani@iau.ac.ir) / (Phone: +986153360112)



بررسی اثر عایق کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی ساختمان مسکونی با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر در اقلیم گرم و مرطوب آبادان

علی مردانی^{(۱)*}۱- گروه معماری، واحد بین المللی اروند، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران. (<https://orcid.org/0000-0001-7537-6748>)

ناشر: دانشگاه هنر ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
مقدمه: اقلیم گرم و مرطوب جنوب ایران، به ویژه شهر آبادان، به دلیل شدت بالای تابش خورشید، دمای زیاد و رطوبت نسبی بالا، از مناطق با بیشترین بار سرمایشی در کشور محسوب می شود. در چنین شرایطی، سهم بخش ساختمان از کل مصرف انرژی بسیار چشمگیر بوده و اتلاف حرارت از طریق جداره های خارجی، به ویژه دیوارها و بامها، عامل مؤثری در افزایش بار سرمایشی است. نوآوری پژوهش حاضر در ارزیابی کمی اثر عایق حرارتی پشم سنگ بر کاهش بار سرمایشی یک ساختمان مسکونی متداول در اقلیم گرم و مرطوب آبادان با استفاده از شبیه سازی دینامیکی انرژی ساختمان و داده های واقعی اقلیمی منطقه است؛ موضوعی که با تمرکز بر شرایط واقعی بهره برداری و دوره اوج بار سرمایشی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. هدف پژوهش: هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر عایق کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی ساختمان ها در اقلیم گرم و مرطوب آبادان با استفاده از نرم افزار شبیه سازی انرژی ساختمان دیزاین بیلدر است. روش شناسی: مدل مورد مطالعه یک ساختمان مسکونی دو طبقه متداول در اقلیم گرم و مرطوب آبادان با زیربنای ۴۴۵،۳۸ مترمربع است که بر اساس شرایط واقعی ساخت و ساز منطقه مدل سازی شد. برای تحلیل عملکرد حرارتی، دو سناریو تعریف گردید: ساختمان بدون عایق حرارتی در جداره های خارجی و ساختمان مجهز به عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر در دیوارها و سقف. داده های اقلیمی مورد استفاده شامل شرایط واقعی آب و هوایی شهر آبادان بود و شبیه سازی در بازه زمانی ۱۵ خرداد تا ۱۵ شهریور ۱۴۰۴، معادل دوره اوج بار سرمایشی منطقه، با گام زمانی یک ساعته انجام شد. همچنین، شرایط بهره برداری ساختمان، دمای تنظیمی سیستم سرمایش و ویژگی های حرارتی مصالح شامل ضریب انتقال حرارت (یو-ولویو)، ظرفیت حرارتی و ضخامت اجزا مطابق مشخصات متداول منطقه در مدل لحاظ شد. در سناریوی عایق کاری، تنها تغییر اعمال شده افزودن لایه عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر در دیوارها و سقف بود و سایر پارامترها ثابت نگه داشته شد تا امکان مقایسه دقیق فراهم شود. یافته ها و بحث: خروجی های شبیه سازی شامل بار سرمایشی کل ساختمان و تغییرات ساعتی دمای داخلی استخراج و تحلیل شد. نتایج نشان داد بار سرمایشی کل ساختمان بدون عایق طی دوره مطالعه حدود ۱۷۰۱۷ کیلووات ساعت و در ساختمان عایق شده حدود ۷۸۳۰ کیلووات ساعت بوده است؛ به عبارت دیگر، استفاده از عایق پشم سنگ موجب کاهش ۵۴ درصدی مصرف انرژی سرمایشی شد. همچنین، نوسانات دمای داخلی در مدل عایق شده به میزان قابل توجهی کاهش یافت که بیانگر بهبود پایداری شرایط حرارتی ساختمان است. نتیجه گیری: بر پایه یافته های پژوهش، استفاده از عایق پشم سنگ به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر بهینه سازی مصرف انرژی، نقش مهمی در کاهش بار سرمایشی و بهبود عملکرد حرارتی ساختمان های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب آبادان دارد. از این رو، به کارگیری این نوع عایق در ساختمان های مناطق دارای شرایط اقلیمی مشابه می تواند به کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره وری انرژی منجر شود.	دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱ صص: ۷۹-۹۹ واژگان کلیدی: عایق کاری حرارتی، بار سرمایشی ساختمان، صرفه جویی انرژی، اقلیم گرم و مرطوب، دیزاین بیلدر 

نکات برجسته:

- ارزیابی عملکرد عایق پشم‌سنگ با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی انرژی ساختمان انجام شد.
- عایق پشم‌سنگ مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را ۵۴ درصد کاهش داد.
- عایق کاری حرارتی پایداری شرایط حرارتی ساختمان را در اقلیم گرم و مرطوب بهبود بخشید.

ارجاع به این مقاله: مردانی، علی. (۱۴۰۵). بررسی اثر عایق کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی ساختمان مسکونی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر در اقلیم گرم و مرطوب آبادان. هنر مدیریت سبز، ۲ (۳)، ۷-۷۹. 10.30480/agm.2026.6319.1059



<https://orcid.org/10.30480/agm.2026.6319.1059>



http://agm.journal.art.ac.ir/article_1515.html



این مقاله به صورت دسترسی باز و با مجوز [Creative Commons CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) قابل استفاده است.

©2024, UST. All rights reserved.

* نویسنده مسئول (رایانامه: ali.mardani@iau.ac.ir) / (تلفن: 0616153360112)

۱- مقدمه

مصرف انرژی در بخش ساختمان یکی از چالش‌های اصلی کشورهای در حال توسعه به شمار می‌آید؛ به گونه‌ای که بیش از ۴۰ درصد انرژی مصرفی جهان به این بخش اختصاص دارد (Esfandiari et al., 2021). در ایران نیز سهم ساختمان‌ها از مصرف نهایی انرژی قابل توجه است (ضوابط صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰) و این موضوع در اقلیم‌های گرم و مرطوب، به دلیل بار سرمایشی بالا، اهمیت بیشتری می‌یابد. شهر آبادان در جنوب غربی کشور، با دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد در تابستان و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد، نمونه‌ای شاخص از این اقلیم است (Beck et al., 2018). چنین شرایطی موجب می‌شود بخش قابل‌توجهی از انرژی ساختمان‌ها صرف سیستم‌های سرمایشی و تهویه مطبوع شود، درحالی‌که اتلاف حرارت از طریق جداره‌های خارجی سهم عمده‌ای در افزایش این بار دارد. یکی از مؤثرترین راهکارهای کاهش این اتلاف، عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها است که ضمن کاهش انتقال حرارت ناخواسته، باعث کاهش بار سیستم‌های سرمایشی، افزایش بهره‌وری انرژی و بهبود آسایش ساکنان می‌شود (Papadopoulos, 2005; Asdrubali et al., 2015). با وجود پژوهش‌های متعدد در حوزه بهینه‌سازی حرارتی ساختمان، مطالعات متمرکز بر اقلیم‌های خاص جنوب ایران، به‌ویژه آبادان، اندک است. اغلب پژوهش‌های پیشین به صورت کلی به تأثیر عایق‌ها پرداخته‌اند، اما تأثیر شرایط اقلیمی بسیار گرم و مرطوب و مصالح بومی منطقه بر کارایی واقعی عایق کمتر بررسی شده است. به‌عنوان نمونه، گوپتا و دب در مطالعه‌ای مروری بر طراحی پوسته ساختمان‌های کم‌مصرف در اقلیم‌های گرمسیری، عایق‌کاری مناسب را از مؤثرترین عوامل کاهش بار سرمایشی معرفی کرده‌اند (Gupta & Deb, 2023). الناباوی و صابر نیز با شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر^۱ نشان دادند که افزودن ۵۰ میلی‌متر عایق ای پی اس^۲ موجب کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی بار سرمایشی می‌شود. (Elnabawi & Saber, 2024). نتایج مشابهی در مطالعات داخلی نیز گزارش شده است؛ از جمله پژوهش مهدی‌نژاد و همکاران در اقلیم بوشهر که کاهش ۳۸ درصدی بار سرمایشی را در اثر بهبود طراحی نما نشان داد (مهدی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، شاه‌حسینی و کارگر در شهر گرمسار دریافتند که عایق‌کاری سقف و دیوار دو جداره می‌تواند به‌طور چشم‌گیری مصرف انرژی را کاهش دهد (شاه‌حسینی & کارگر، ۱۳۹۸). شعبانیان و همکاران خود در مقاله «سنجش اثر کاربرد پلی‌استایرن در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد» به تعیین میزان تأثیر استفاده از پلی‌استایرن در کاهش بار حرارتی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد پرداختند و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و سنجش اعتبار آن با نمونه‌های واقعی در طول مدت پژوهش نشان داد که استفاده از پلی‌استایرن در پوسته خارجی ساختمان تا ۴۳ درصد کاهش بار سرمایشی و ۲۷ درصد کاهش بار گرمایشی براساس شرایط هریک از نمونه‌ها در طی ماه‌های مختلف سال را به دنبال دارد. اثر ترکیبی بارهای سرمایش و گرمایش در مجموع نشان از کاهش بار حرارتی ساختمان به طور کلی در طول یک سال دارد. این کاهش برای واحدهای نمونه اول ۲۵/۹ درصد معادل ۳۴۸۲۰/۹ کیلو وات ساعت و برای واحدهای نمونه دوم ۲۲/۶ درصد معادل ۳۰۶۴۸/۳ کیلو وات ساعت در طی یک سال است (شعبانیان و همکاران، ۱۴۰۰).

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عایق‌کاری حرارتی یکی از مؤثرترین راهکارهای کاهش مصرف انرژی و بار سرمایشی ساختمان‌ها در اقلیم‌های مختلف است. با این حال، بخش عمده پژوهش‌های انجام‌شده بر اقلیم‌های معتدل، سرد یا گرم و خشک متمرکز بوده‌اند و مطالعات محدودی به ارزیابی عملکرد عایق‌های حرارتی در اقلیم بسیار گرم و مرطوب جنوب ایران پرداخته‌اند. همچنین در بسیاری از تحقیقات، تأثیر عایق‌کاری در شرایط عمومی اقلیمی بررسی شده و نقش شرایط واقعی بهره‌برداری ساختمان، ویژگی‌های ساخت‌وساز محلی و داده‌های اقلیمی اختصاصی مناطق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از عایق‌کاری به نوع عایق، مشخصات ساختمان و شرایط اقلیمی وابستگی قابل توجهی دارد؛ بنابراین تعمیم نتایج حاصل از سایر مناطق به شهر آبادان با اقلیم خاص گرم و مرطوب آن با عدم قطعیت همراه است. بر این اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر یک ساختمان مسکونی متداول در شهر آبادان و با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی انرژی و داده‌های اقلیمی واقعی منطقه، به دنبال ارزیابی کمی اثر عایق پشم‌سنگ بر کاهش بار سرمایشی و بهبود عملکرد حرارتی ساختمان است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر عایق‌کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی در اقلیم گرم و مرطوب آبادان طراحی شده است. پرسش‌های اصلی تحقیق عبارت‌اند از:

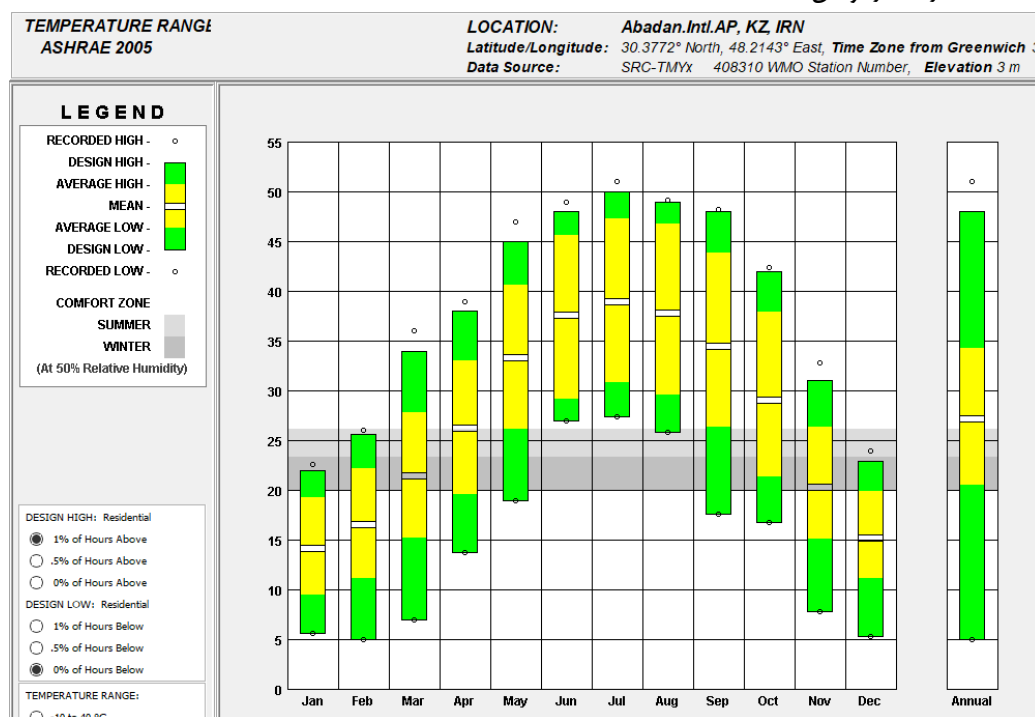
- استفاده از مصالح عایق حرارتی (مانند پشم‌سنگ) تا چه میزان می‌تواند مصرف انرژی سرمایشی را نسبت به ساختمان‌های بدون عایق کاهش دهد؟

- کدام یک از بخش‌های پوسته ساختمان (دیوار، سقف یا کف) بیشترین سهم را در اتلاف حرارت پیش از عایق‌کاری دارد؟

۲- روش پژوهش

۲-۱- معرفی اقلیم مورد مطالعه

شهر آبادان در جنوب غربی ایران و در محدوده جغرافیایی 20° و 30° دقیقه عرض شمالی و 48° و 49° دقیقه طول شرقی قرار دارد. همجواری این شهر با رودخانه‌های اروندرود و بهمنشیر و مجاورت با خلیج فارس سبب ایجاد اقلیم به شدت گرم و مرطوب شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، آبادان در گروه بیابانی گرم با رطوبت بالا^۳ قرار دارد (Beck et al., 2018). میانگین دمای سالیانه شهر حدود 25.6°C درجه سانتی‌گراد است، در حالی که در تابستان دما تا بیش از 50°C سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. رطوبت نسبی هوا در اکثر ایام سال بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در نوسان است. داده‌های آب‌وهوایی استخراج‌شده از فایل اقلیمی^۴ آبادان (مرجع انرژی ایران، ۱۳۹۹) نشان می‌دهند که میانگین شدت تابش مستقیم خورشید در تابستان به بیش از 700 W/m^2 می‌رسد و انرژی تابشی سالیانه منطقه حدود $2,000 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yr}$ برآورد می‌شود. به‌طور میانگین، ۶۵ درصد از کل مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در آبادان مربوط به بخش سرمایش است (Farajzadeh et al., 2021). این ویژگی‌ها ضرورت بررسی اثر عایق‌کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی در این اقلیم را توجیه می‌کند. دوره گرمایش در این منطقه طولانی بوده و از اواخر فروردین تا اوایل مهرماه ادامه دارد (تصویر ۱). رطوبت نسبی در اکثر ایام سال بالاست و به‌طور میانگین بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در نوسان است.



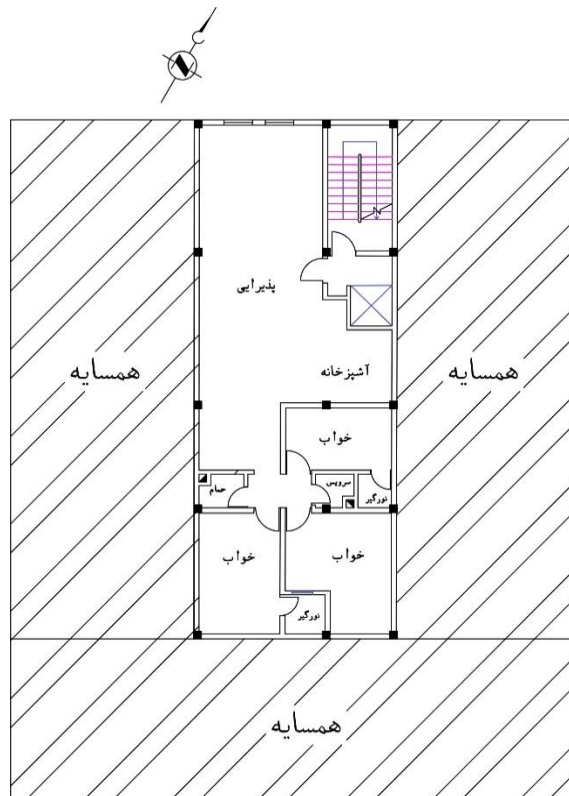
تصویر ۱- میانگین یک‌ساله دمای هوای آبادان (برگرفته از نرم افزار Climate Consultant ورژن ۶)

۲-۱- نرم‌افزار و ابزار مدل‌سازی

در این پژوهش از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۷ به‌عنوان رابط گرافیکی پیشرفته موتور انرژی پلاس^۵ استفاده شد. این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی دقیق بارهای سرمایشی و گرمایشی، تحلیل رفتار حرارتی پوسته‌ی ساختمان، تهویه، و کنترل شرایط آسایش حرارتی را دارد (Crawley et al., 2001). ورودی‌های اقلیمی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشید بر اساس فایل استاندارد اقلیمی مربوط به ایستگاه هواشناسی آبادان وارد نرم‌افزار شدند (مرجع انرژی ایران، ۱۳۹۹). شبیه‌سازی‌ها با گام زمانی یک‌ساعته انجام گرفت تا تغییرات لحظه‌ای بار سرمایشی و رفتار حرارتی ساختمان قابل تحلیل باشد.

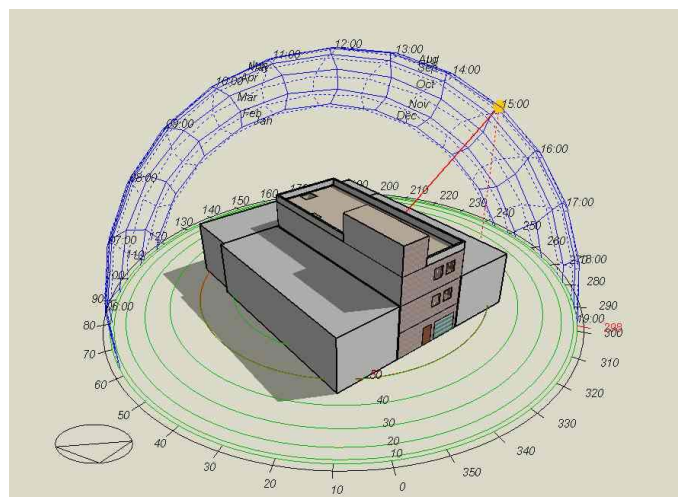
۳- مشخصات هندسی و شرایط محیطی ساختمان نمونه

ساختمان مورد مطالعه یک واحد مسکونی دو طبقه روی پیلوت با زیربنای کل حدود ۴۴۵,۳۸ متر مربع در نظر گرفته شد. دلایل استفاده از این نوع پلان فراوانی طراحی معماری آن در نقشه های مصوب دفتر نمایندگی نظام مهندسی ساختمان در آبادان انتخاب شده است. جهت بازدهی بهتر و خروجی دقیق تر نتایج نرم افزار نوع ساختمان آپارتمانی از نوع پیلوت دار برای محاسبه بیشتر تمام جداره ها انتخاب شد. با توجه به اینکه ساختمان های آپارتمانی دارای پلان های تیپ هستند با حذف طبقات مشابه به دو طبقه روی پیلوت اکتفا شده است. ضمن اینکه دو طبقه در دو شرایط کاملاً متفاوت با بیشترین هم جداره همسایه و بی جداره با همسایه جهت به دست آوردن نتایج بهتر انتخاب شده است. پلان تیپ شامل فضاهای نشیمن، آشپزخانه، اتاق خواب ها و سرویس و حمام بوده و هر طبقه مساحتی معادل ۲۲۲,۶۹ متر مربع دارد. ارتفاع طبقات ۳ متر در نظر گرفته شد. ملک نسبت به جهت شمال دارای ۳۰ درجه انحراف به سمت شمال غربی است (تصویر ۲).



تصویر ۲- پلان تیپ طبقات

برای هر طبقه، بارهای داخلی شامل حضور افراد (متوسط ۰,۱ نفر بر مترمربع)، روشنایی ۱۰ وات بر مترمربع و تجهیزات برقی ۱۵ وات بر مترمربع تعریف شد. دمای تنظیم شده سیستم سرمایشی بر روی ۲۴ درجه سانتی گراد قرار گرفت و نرخ تهویه مکانیکی مطابق با استاندارد اشاره ۶ تنظیم شد. برای ورود شرایط آب و هوایی، فایل اقلیمی مربوط به ایستگاه آبادان از سایت های معتبر داخلی استفاده شد. این فایل شامل اطلاعات ساعتی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و شدت تابش خورشید است (مرجع انرژی ایران، ۱۳۹۹). جهت گرفتن نتایج بهتر از هدر رفت انرژی ساختمان از سه طرف تا طبقه اول دارای همسایه و طبقه دوم بدون همسایه و تمام جداره ها در مجاورت هوای آزاد قرار دارد (تصویر ۳).



تصویر ۳- قرارگیری ساختمان نسبت به شرایط تابشی

۴- مشخصات لایه ها و جداره های مدل ها

در این مطالعه، شرایط مرزی مدل بر اساس داده های اقلیمی آبادان و شرایط واقعی ساختمان های مسکونی در منطقه تنظیم شد. تبادل حرارت از طریق جداره ها، سقف، کف و پنجره ها مطابق معادلات انتقال حرارت هدایتی، جابه جایی و تشعشعی در موتور انرژی پلاس محاسبه شد. فرض شد که تمام جداره ها در معرض شرایط واقعی بیرونی بوده و تبادل حرارتی بین فضاهای داخلی و محیط بیرونی به طور کامل شبیه سازی می شود. برای ارزیابی نقش عایق کاری، دو سناریو اصلی تعریف شد.

۴-۱- سناریوی اول: ساختمان غیرعایق

در این حالت، مصالح مطابق با ساخت و ساز متداول منطقه تعریف شدند. دیوارها شامل آجر سفال با ضخامت ۱۵ سانتی متر و ملات ماسه-سیمان و نازک کاری های مختص هر فضا بودند که هیچ گونه عایق حرارتی نداشتند. بام نیز از نوع بتن مسلح با ضخامت ۳۰ سانتی متر بدون عایق در نظر گرفته شد. پنجره ها از شیشه دو جداره با قاب یو پی وی سی با یک سانتی متر هوا بین شیشه ها فرض شدند (جدول ۱).

جدول ۱ - وضعیت لایه های جداره های ساختمان عایق نشده

نام جداره	محل قرارگیری	جزئیات و ترتیب قرارگیری مصالح با ضخامت (متر)
دیوار	فضای کنترل شده داخل و کنترل نشده (باکس پله-نورگیر شفت آسانسور)	فضای کنترل شده دیوار بلوک سفالی پلاستر ماسه سیمان سرامیک فضای کنترل نشده پلاستر ماسه سیمان دیوار بلوک سفالی
	فضای آزاد	فضای کنترل شده پلاستر ماسه سیمان دیوار بلوک سفالی فضای آزاد پلاستر ماسه سیمان دیوار بلوک سفالی

فضای کنترل شده اصلی	فضای کنترل شده داخل و نمای اصلی	
فضای کنترل شده خیس	فضای کنترل شده داخل و فضای خیس	
فضای کنترل شده خارج	فضای کنترل شده داخل و هوای آزاد	سقف

۵-۲- سناریوی دوم: سناریوی ساختمان عایق شده

در این مدل، به منظور بهبود عملکرد حرارتی، یک لایه عایق حرارتی به جداره‌های خارجی و بام اضافه شد. برای جداره‌ها از پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی‌متر استفاده شد. این انتخاب بر اساس توصیه‌های مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران و همچنین مطالعات مشابه در اقلیم‌های گرم و مرطوب انجام گرفت (Shahsavari & Akbari, 2018). پنجره‌ها نیز در این سناریو از نوع دوجداره با قاب یوپی وی سی تعریف شدند که موجب کاهش قابل توجه ضریب انتقال حرارت و نفوذپذیری هوا می‌شوند. مقادیر مشخصه‌های حرارتی مصالح (مانند گرمای ویژه و چگالی و ضریب هدایت حرارتی) بر اساس استانداردهای اشره و داده‌های مصالح موجود در پایگاه نرم‌افزار وارد شد. این مشخصات تضمین می‌کند که نتایج شبیه‌سازی به شرایط واقعی نزدیک باشند (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات مصالح

مصالح	ضخامت (میلی متر)	ضریب هدایت گرمایی ^۷ (وات/متر-کیلوگرم)	چگالی ^۸ (کیلوگرم/مترمکعب)	دمای مخصوص ^۹ (ژول/کیلوگرم-کلوین)
پلاستر گچ	۱۰	۰٫۳۲	۱۲۰۰	۸۳۷
پلاستر سیمان	۲۰	۰٫۷۲	۱۸۶۰	۸۰۰
بلوک سیمانی دیوار	۲۰۰	۰٫۵۱	۱۴۰۰	۱۰۰۰
سنگ تراورتن	۱۰	۱٫۶	۲۷۱۰	۱۰۹۰
سرامیک لعابی	۸	۱٫۲	۸۵۰	۲۳۵۰

۸۴۰	۳۳۰۰	۱,۷	۵۰	بتون شیب بندی
۶۱۷	۱۱۵۳	۰,۳۷	۳۰۰	سقف تیرچه یونولیت
۱۷۰۰	۱۰۰۰	۰,۵	۵	ایزوگام
۱۰۰۵	۱,۲	۰,۰۲۵	۱۰۰	هوا
۸۴۰	۵۰	۰,۰۳۵	۵۰	پشم سنگ
۸۴۰	۹۵۰	۰,۱۶	۱۲	کناف گچی
۱۰۵۰	۲۴۰۰	۰,۵	۱۰۰	بتن کف
۹۰۰	۲۱۰۰	۰,۴	۵۰	بتن مگر

در این پژوهش برای ارتقای عملکرد حرارتی جداره‌های ساختمان، از پشم سنگ به‌عنوان لایه عایق حرارتی استفاده شد. این لایه بعد از اجرای دیوار سفالی و قبل از لایه‌های نازک کاری داخلی قرار می‌گیرد. پشم سنگ نوعی عایق معدنی است که از ذوب سنگ بازالت در دمای حدود ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و سپس الیاف‌سازی آن تولید می‌شود. این الیاف به‌صورت لایه‌ای فشرده شده و دارای مقادیر بالایی از حفره‌های هوای ساکن هستند که نقش اصلی در کاهش هدایت حرارتی ایفا می‌کنند (Papadopoulos, 2005). ویژگی‌های کلیدی پشم سنگ که آن را برای استفاده در اقلیم گرم و مرطوب آبادان مناسب ساخته است عبارت‌اند از:

- ضریب هدایت حرارتی پایین: ضریب هدایت حرارتی پشم سنگ در محدوده $0.035-0.045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ قرار دارد. این مقدار نشان می‌دهد که این ماده توانایی بالایی در کاهش انتقال حرارت از جداره‌ها به داخل ساختمان دارد.
- مقاومت حرارتی بالا: به‌دلیل ساختار الیافی و تخلخل زیاد، پشم سنگ مقاومت حرارتی بالایی در ضخامت‌های کم ایجاد می‌کند. در این تحقیق، لایه‌ای به ضخامت ۵ سانتی‌متر برای جداره‌های خارجی در نظر گرفته شد که مقاومت حرارتی معادل $1.1-1.3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ فراهم می‌کند.
- پایداری در شرایط رطوبتی: با وجود رطوبت نسبی بالای آبادان (اغلب بین ۵۰ تا ۷۰ درصد)، پشم سنگ به‌دلیل ماهیت معدنی و پوشش‌های ضد آب، مقاومت مناسبی در برابر جذب رطوبت و کاهش عملکرد حرارتی از خود نشان می‌دهد (Asdrubali et al., 2015).
- خواص ایمنی و زیست‌محیطی: پشم سنگ غیرقابل اشتعال بوده و تا دمای بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد بدون تغییر ساختار باقی می‌ماند. علاوه بر این، به‌دلیل منشأ معدنی، از منظر پایداری محیطی نسبت به عایق‌های پلیمری مانند پلی‌استایرن یا پلی‌یورتان برتری دارد.
- کاربرد در اقلیم‌های گرم و مرطوب: مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از عایق‌های معدنی مانند پشم سنگ در اقلیم‌های گرم و مرطوب می‌تواند مصرف انرژی سرمایشی را تا ۴۰ درصد کاهش دهد (Asdrubali et al., 2015).

۵- دوره‌ی شبیه‌سازی

- به‌منظور بررسی دقیق عملکرد ساختمان در شرایط واقعی اقلیم، شبیه‌سازی‌ها در بازه‌ی زمانی نیمه‌ی خرداد تا نیمه‌ی شهریور ۱۴۰۴ انجام شد. انتخاب این دوره زمانی بر اساس دو دلیل اصلی صورت گرفت:
- نمایندگی از دوره اوج بار سرمایشی: داده‌های اقلیمی نشان می‌دهند که بیشترین شدت تابش خورشیدی و بالاترین میانگین دما در آبادان در فاصله خرداد تا شهریور رخ می‌دهد. به‌طور متوسط، در این بازه دمای هوا بین ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است و رطوبت نسبی نیز اغلب بالاتر از ۶۰ درصد گزارش می‌شود (EnergyPlus Weather Data, 2024).
 - ارتباط با الگوی واقعی مصرف انرژی: بررسی مصرف انرژی خانگی در خوزستان نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد بار سرمایشی سالیانه در همین بازه متمرکز است (Farajzadeh et al., 2021). بنابراین، تحلیل این دوره‌ی زمانی به‌خوبی می‌تواند نمایانگر اثر عایق‌کاری بر کاهش مصرف انرژی سرمایشی باشد. در نرم‌افزار دیزاین بیلدر بازه‌ی زمانی شبیه‌سازی از ۱۵ ژوئن تا ۱۵ سپتامبر ۲۰۲۵ (مصادف با نیمه‌ی خرداد تا نیمه‌ی شهریور ۱۴۰۴) تعریف شد. شبیه‌سازی‌ها با گام زمانی یک‌ساعته^{۱۰} انجام شدند تا تغییرات لحظه‌ای بار سرمایشی و رفتار حرارتی ساختمان قابل بررسی باشد.

۶- تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

نتایج خروجی نرم‌افزار شامل مقادیر بار سرمایشی، انرژی الکتریکی مصرفی، توزیع مصرف در کاربری‌ها، و تراز حرارتی جداره‌ها استخراج و در قالب جداول و نمودارها تحلیل شدند. همچنین برای ارزیابی دقت مدل، نتایج با مقادیر گزارش شده در مطالعات مشابه مقایسه شد (Ebadati et al., 2021; Sadati et al., 2023). به‌منظور سنجش پایداری عملکرد مدل، اختلاف بین دو سناریو از طریق نسبت کاهش مصرف انرژی^{۱۱} بر حسب درصد محاسبه شد. این شاخص از رابطه‌ی زیر به‌دست آمد:

$$100 \times (E_{\text{base}} - E_{\text{insulated}}) / E_{\text{base}} = ESR$$

که در آن E_{base} بیانگر مصرف انرژی در ساختمان غیرعایق و $E_{\text{insulated}}$ مصرف انرژی در ساختمان عایق شده است. به‌منظور ارزیابی اثر عایق کاری حرارتی در کاهش بار سرمایشی ساختمان، دو سناریو مورد شبیه‌سازی قرار گرفت: الف) ساختمان بدون عایق (سناریوی پایه و ب) ساختمان با عایق پشم‌سنگ در جداره‌های خارجی. بازه‌ی زمانی تحلیل شامل نیمه‌ی خرداد تا نیمه‌ی شهریور ۱۴۰۴ است که به‌عنوان گرم‌ترین ماه‌های سال در اقلیم آبادان شناخته می‌شود. نتایج به‌صورت جداول و نمودارهای خروجی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر ارائه و تحلیل شده است.

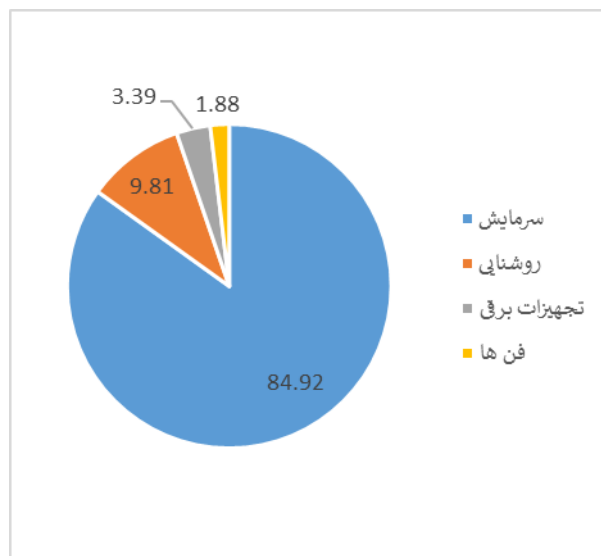
۶-۱- سناریو اول: ساختمان بدون عایق

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و مطابق با جدول ۳، میزان کل انرژی مصرفی دو طبقه ساختمان نمونه طی بازه سه ماهه مورد مطالعه (نیمه‌ی خرداد تا نیمه‌ی شهریور ۱۴۰۴) برابر با ۱۹۱۶۳.۵۱ کیلووات ساعت برآورد شد. از این مقدار، ۱۷۰۱۷.۹۴ کیلووات ساعت مربوط به مصرف انرژی الکتریکی و ۲۱۴۵.۵۸ کیلووات ساعت مربوط به مصرف گاز طبیعی بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که سهم غالب در الگوی مصرف انرژی ساختمان به انرژی الکتریکی اختصاص دارد و مصرف گاز طبیعی سهم نسبتاً اندکی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- آمار کلی مصرف انرژی ساختمان بدون عایق

گزارش: خلاصه‌ی عملکرد سالانه مصرف انرژی ساختمان			
زمان ثبت گزارش: از ۱۵ خرداد تا ۱۵ شهریور ۱۴۰۴			
داده‌ها در مدت ۲۲۳۲ ساعت جمع‌آوری شده‌اند.			
شاخص	انرژی کل (کیلووات ساعت) ^{۱۲}	انرژی به ازای کل مساحت ساختمان (کیلووات ساعت بر مترمربع) ^{۱۳}	انرژی به ازای مساحت تهویه‌شده ساختمان (کیلووات ساعت بر مترمربع) ^{۱۴}
کل انرژی مصرفی در محل ساختمان	۱۹۱۶۳.۵۱	۸۶.۰۶	۹۳.۲۲
انرژی خالص مصرفی در محل	۱۹۱۶۳.۵۱	۸۶.۰۶	۹۳.۲۲
کل انرژی منبع (با در نظر گرفتن تلفات تولید و انتقال انرژی)	۵۶۲۲۱.۶۱	۲۵۲.۴۷	۲۷۳.۵۰
انرژی خالص منبع	۵۶۲۲۱.۶۱	۲۵۲.۴۷	۲۷۳.۵۰

بر اساس داده‌های ارائه‌شده در جدول ۴، توزیع مصرف انرژی الکتریکی در کاربری‌های مختلف ساختمان نشان می‌دهد که بیشترین سهم مربوط به سیستم سرمایش با ۸۴.۹۲ درصد بوده است. پس از آن، روشنایی مصنوعی با ۹.۸۱ درصد، تجهیزات برقی با ۳.۳۹ درصد و در نهایت فن‌ها با ۱.۸۸ درصد از کل انرژی الکتریکی مصرفی قرار دارند (تصویر ۴). این تحلیل به‌خوبی بیانگر آن است که در ساختمان غیرعایق، بار سرمایشی به‌عنوان عامل اصلی مصرف انرژی مطرح می‌شود و بیش از چهار پنجم انرژی الکتریکی صرف عملکرد سیستم‌های سرمایشی می‌شود. این یافته با توجه به شرایط اقلیمی آبادان، یعنی دمای هوای بسیار بالا همراه با رطوبت نسبی زیاد در فصل تابستان، کاملاً قابل انتظار است. به‌بیان‌دیگر، اتلاف حرارت از جداره‌های غیرعایق موجب انتقال مداوم گرما به فضای داخلی شده و نیاز سیستم سرمایشی به مصرف انرژی بیشتر را افزایش داده است.



تصویر ۴- سهم مصرف انرژی

جدول ۴- میزان مصرف انرژی

مصارف نهایی		
شاخص ها	برق (کیلووات ساعت)	گاز (کیلووات ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
سرمایش	۱۴۴۵۲,۳۷	۰۰,۰۰
روشنایی داخلی	۱۶۶۹,۹۴	۰۰,۰۰
روشنایی خارجی	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
تجهیزات داخلی	۵۷۶,۲۸	۲۱۴۵,۵۸
تجهیزات خارجی	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
فن ها/هواسازهای گردش	۳۱۹,۳۴	۰۰,۰۰
پمپ ها	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
دفع حرارت	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
رطوبت زنی	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
بازیابی حرارت	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
سامانه های آب	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
تولید سرمایش	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
ژنراتورها	۰۰,۰۰	۰۰,۰۰
جمع کل مصارف نهایی	۱۷۰۱۷,۹۴	۲۱۴۱۵,۵۸

بر اساس جدول ۵ استخراج شده از نرم افزار دیزاین بیلدر، میزان مصرف انرژی در دو طبقه ساختمان غیرعایق دارای تفاوت محسوسی است. در طبقه اول، مقدار کل انرژی الکتریکی مصرفی طی دوره سه ماهه معادل ۹۹۰۴,۹۳ کیلووات ساعت ثبت شده است. سهم سرمایش در این طبقه بیش از سایر کاربری ها مشاهده شد و پس از آن روشنایی و تجهیزات برقی در رتبه های بعدی قرار گرفتند.

جدول ۵- میزان مصرف انرژی طبقه اول

مصارف نهایی	
شاخص	برق (کیلووات ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰

۷۵۱۶,۷۳	سرمایش
۱۶۶۹,۹۴	روشنایی داخلی
۰۰,۰۰	روشنایی خارجی
۵۷۶,۲۸	تجهیزات داخلی
۰۰,۰۰	تجهیزات خارجی
۱۴۱,۴۸	فن‌ها/هواسازهای گردشی
۰۰,۰۰	پمپ‌ها
۰۰,۰۰	دفع حرارت
۰۰,۰۰	رطوبت‌زنی
۰۰,۰۰	بازیابی حرارت
۰۰,۰۰	سامانه‌های آب
۰۰,۰۰	تولید سرمایش
۰۰,۰۰	ژنراتورها
۹۹۰۴,۴۳	جمع کل مصارف نهایی

در مقابل، در طبقه‌ی دوم، میزان مصرف انرژی کل برابر با ۱۱۵۰۰,۶۳ کیلووات ساعت برآورد شد (جدول ۶). مشابه طبقه‌ی اول، بیشترین سهم به انرژی الکتریکی مربوط بوده اما شدت بار سرمایشی در این طبقه نسبت به طبقه‌ی اول افزایش یافته است. علت اصلی این موضوع، قرارگیری طبقه‌ی دوم در تماس مستقیم با بام و دریافت بار حرارتی بیشتر از طریق تابش خورشید است. بدین ترتیب، بار سرمایشی طبقه‌ی دوم نسبت به طبقه‌ی اول افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. براساس نتایج شبیه‌سازی، میزان کل انرژی الکتریکی مصرفی ساختمان در دوره‌ی سه‌ماهه گرم سال هر دو طبقه برابر ۲۱۴۰۶,۰۶ کیلووات ساعت^{۱۵} است.

جدول ۶- میزان مصرف انرژی طبقه‌ی دوم

مصارف نهایی	
شاخص	برق (کیلووات‌ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰
سرمایش	۹۰۲۸,۹۰
روشنایی داخلی	۱۶۶۹,۹۴
روشنایی خارجی	۰۰,۰۰
تجهیزات داخلی	۵۷۶,۲۸
تجهیزات خارجی	۰۰,۰۰
فن‌ها/هواسازهای گردشی	۲۲۵,۵۱
پمپ‌ها	۰۰,۰۰
دفع حرارت	۰۰,۰۰
رطوبت‌زنی	۰۰,۰۰
بازیابی حرارت	۰۰,۰۰
سامانه‌های آب	۰۰,۰۰
تولید سرمایش	۰۰,۰۰
ژنراتورها	۰۰,۰۰
جمع کل مصارف نهایی	۱۱۵۰۰,۶۳

این مقدار معادل میانگین ماهانه حدود ۳۵۶۷,۶۷ کیلووات ساعت است. مطابق با دستورالعمل شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان، الگوی مصرف برق خانگی در مناطق گرمسیر هم‌چون آبادان ۲۵۰۰ کیلووات ساعت در ماه تعریف شده است. مقایسه‌ی داده‌های شبیه‌سازی با این الگو نشان می‌دهد که ساختمان غیرعایق مورد مطالعه تقریباً ۴۳ درصد بیش از الگوی مصرف مجاز ماهانه انرژی الکتریکی مصرف می‌کند. این اختلاف قابل توجه به‌خوبی بیانگر نقش جداره‌های غیرعایق در افزایش بار سرمایشی ساختمان است. در واقع، به‌دلیل انتقال شدید حرارت از محیط بیرونی به فضای داخلی، سیستم‌های سرمایشی ناچار به فعالیت



مستمر در تمام ساعات شبانه‌روز هستند که این موضوع موجب افزایش مصرف انرژی الکتریکی به سطحی فراتر از الگوی محلی می‌شود. از منظر برنامه‌ریزی انرژی، مصرف بیش از دو برابر الگوی تعیین‌شده نه تنها بار اقتصادی زیادی بر خانوار تحمیل می‌کند، بلکه به‌طور مستقیم فشار مضاعفی بر شبکه برق محلی و استانی در ساعات اوج مصرف وارد می‌نماید.

۶-۲- سناریو دوم: ساختمان عایق

در سناریوی دوم، ساختمان مورد مطالعه با عایق پشم‌سنگ در جداره‌های خارجی شبیه‌سازی شد تا اثر عایق‌کاری حرارتی بر مصرف انرژی و بار سرمایشی بررسی شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، کل انرژی مصرفی ساختمان طی سه‌ماه گرم سال کاهش قابل توجهی داشته است. میزان مصرف انرژی الکتریکی ساختمان عایق طی این دوره معادل ۱۲۸۴۱,۰۲ کیلووات ساعت بوده که نسبت به سناریوی غیرعایق کاهش قابل توجه ۲۴,۵۵٪ را نشان می‌دهد (جدول ۷).

جدول ۷- آمار کلی مصرف انرژی ساختمان عایق

گزارش: خلاصه عملکرد سالانه مصرف انرژی ساختمان زمان ثبت گزارش: از ۱۵ خرداد تا ۱۵ شهریور ۱۴۰۴ داده‌ها در مدت ۲۲۳۲ ساعت جمع‌آوری شده‌اند.			
شاخص	انرژی کل (کیلووات‌ساعت) ^{۱۲}	انرژی به ازای کل مساحت ساختمان (کیلووات ساعت بر مترمربع) ^{۱۳}	انرژی به ازای مساحت تهویه‌شده ساختمان (کیلووات ساعت بر مترمربع) ^{۱۴}
کل انرژی مصرفی در محل ساختمان	۱۲۸۴۱,۰۲	۵۹,۳۸	۶۴,۳۱
انرژی خالص مصرفی در محل	۱۲۸۴۱,۰۲	۵۹,۳۸	۶۴,۳۱
کل انرژی منبع (با در نظر گرفتن تلفات تولید و انتقال انرژی)	۳۶۱۲۹,۵۳	۱۶۷,۰۸	۱۸۰,۹۵
انرژی خالص منبع	۳۶۱۲۹,۵۳	۱۶۷,۰۸	۱۸۰,۹۵

براساس جدول ۸ بیشترین سهم مصرف برای سرمایش ۷۸,۲۶٪ پس از آن روشنایی با ۱۵,۱۵٪ و برای تجهیزات برقی ۵,۰۸٪ و در نهایت برای فن‌ها ۱,۵۶٪ از کل انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند.

جدول ۸- سهم مصرف انرژی در ساختمان

مصارف نهایی	
شاخص	برق (کیلووات ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰
سرمایش	۸۳۳۹,۶۷
روشنایی داخلی	۱۶۱۵,۲۰
روشنایی خارجی	۰۰,۰۰
تجهیزات داخلی	۵۴۱,۶۸
تجهیزات خارجی	۰۰,۰۰
فن‌ها/هواسازهای گردشی	۱۶۵,۸۹
پمپ‌ها	۰۰,۰۰
دفع حرارت	۰۰,۰۰
رطوبت‌زنی	۰۰,۰۰
بازیابی حرارت	۰۰,۰۰
سامانه‌های آب	۰۰,۰۰
تولید سرمایش	۰۰,۰۰
ژنراتورها	۰۰,۰۰
جمع کل مصارف نهایی	۱۰۶۶۲,۴۴

بر اساس جداول ۹ و ۱۰ استخراج‌شده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، میزان مصرف انرژی در دو طبقه‌ی ساختمان عایق دارای تفاوت بسیار کمی است. در طبقه‌ی اول، مقدار کل انرژی الکتریکی مصرفی طی دوره‌ی سه ماهه معادل ۷۷۷۹,۲۹ کیلو وات ساعت

ثبت شده است. سهم سرمایش در این طبقه بیش از سایر کاربری‌ها مشاهده شد و پس از آن روشنایی و تجهیزات برقی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در طبقه‌ی دوم، میزان مصرف انرژی کل برابر با ۷۰۵۱,۲۷ کیلووات ساعت برآورد شد.

جدول ۹- میزان مصرف انرژی طبقه‌ی اول

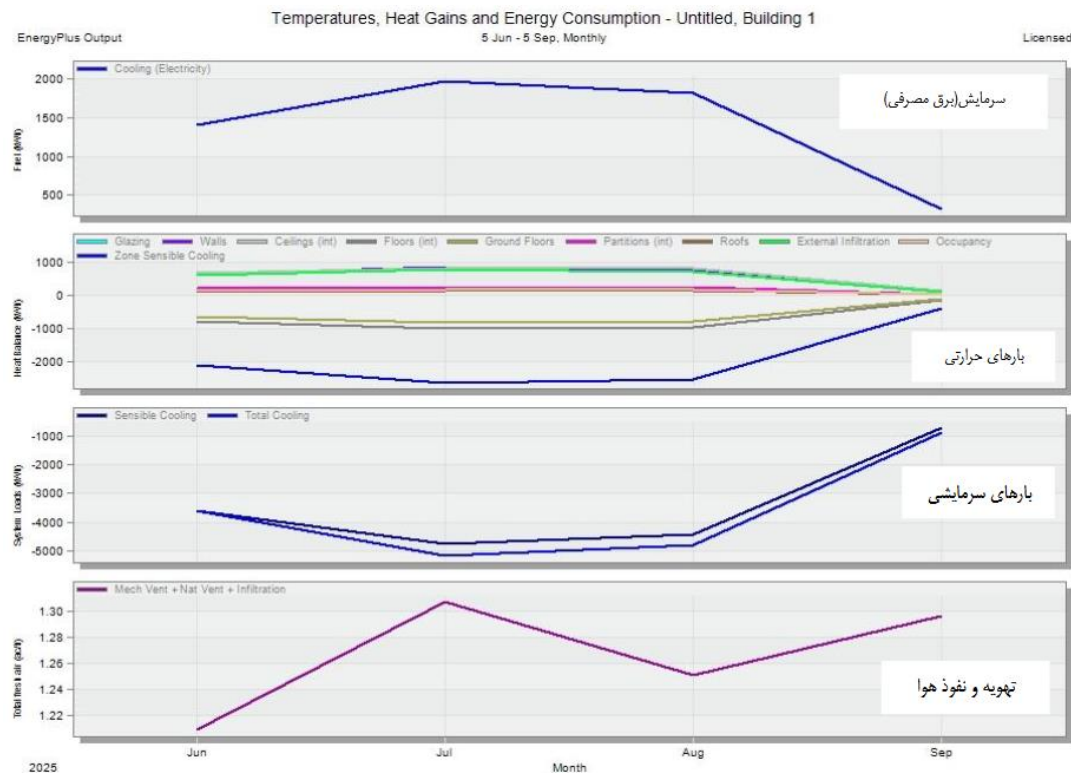
مصارف نهایی	
شاخص	برق (کیلووات ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰
سرمایش	۵۵۲۵,۳۲
روشنایی داخلی	۱۶۱۵,۲۰
روشنایی خارجی	۰۰,۰۰
تجهیزات داخلی	۵۴۱,۶۸
تجهیزات خارجی	۰۰,۰۰
فن‌ها/هواسازهای گردش	۹۷,۰۳
پمپ‌ها	۰۰,۰۰
دفع حرارت	۰۰,۰۰
رطوبت‌زنی	۰۰,۰۰
بازیابی حرارت	۰۰,۰۰
سامانه‌های آب	۰۰,۰۰
تولید سرمایش	۰۰,۰۰
ژنراتورها	۰۰,۰۰
جمع کل مصارف نهایی	۷۷۷۹,۲۲

مشابه طبقه‌ی اول، بیشترین سهم به انرژی الکتریکی مربوط بوده اما شدت بار سرمایشی در این طبقه نسبت به طبقه‌ی اول کاهش یافته است. علت اصلی این موضوع عایق‌کاری تمامی جداره‌های طبقه‌ی دوم نسبت به طبقه‌ی اول است که برخی جداره‌ها مانند جداره‌های کنار درز انقطاع عایق نشده است.

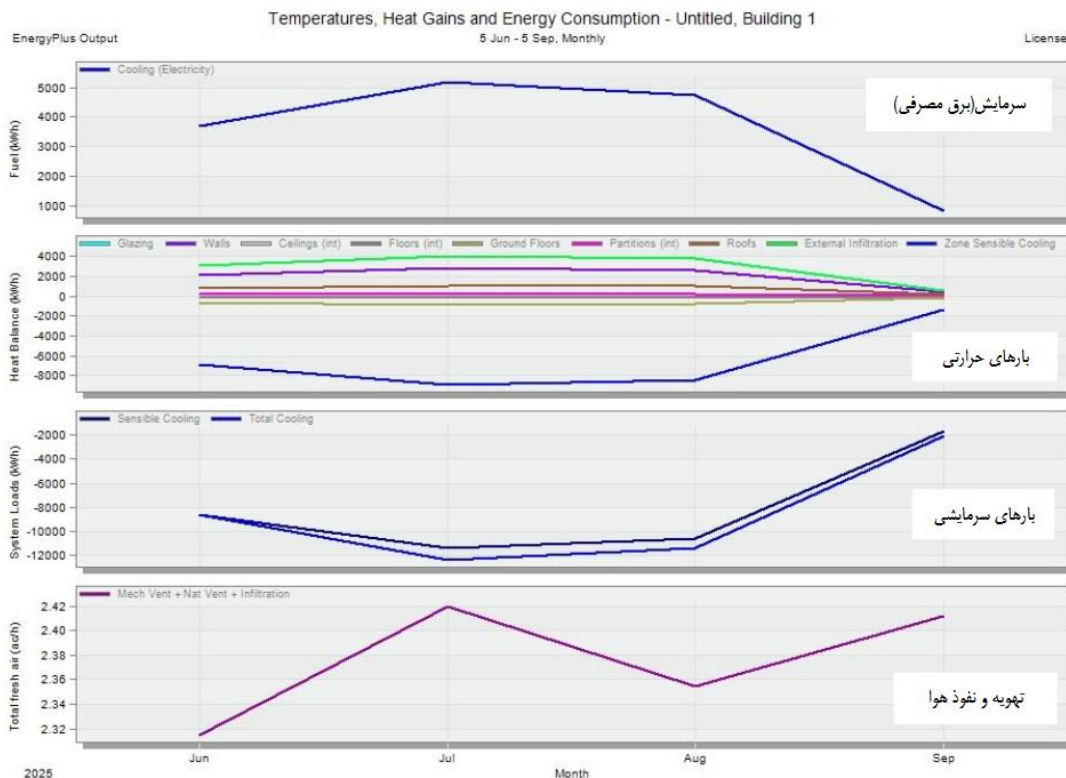
جدول ۱۰- میزان مصرف انرژی طبقه‌ی دوم

مصارف نهایی	
شاخص	برق (کیلووات ساعت)
گرمایش	۰۰,۰۰
سرمایش	۴۷۸۶,۳۵
روشنایی داخلی	۱۶۱۵,۲۰
روشنایی خارجی	۰۰,۰۰
تجهیزات داخلی	۵۴۱,۶۸۸
تجهیزات خارجی	۰۰,۰۰
فن‌ها/هواسازهای گردش	۱۰۸,۰۳
پمپ‌ها	۰۰,۰۰
دفع حرارت	۰۰,۰۰
رطوبت‌زنی	۰۰,۰۰
بازیابی حرارت	۰۰,۰۰
سامانه‌های آب	۰۰,۰۰
تولید سرمایش	۰۰,۰۰
ژنراتورها	۰۰,۰۰
جمع کل مصارف نهایی	۷۰۵۱,۲۷

به منظور درک بهتر تفاوت عملکرد حرارتی ساختمان در دو سناریوی عایق و غیرعایق، خروجی‌های شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین بیلدر به صورت نمودارهای گرافیکی استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. این نمودارها امکان تحلیل دقیق تغییرات بار سرمایشی، شرایط دمای داخلی، توازن حرارتی جداره‌ها، بار سرمایشی سیستم و میزان نفوذ هوا را در بازه‌ی زمانی نیمه‌ی خرداد تا نیمه‌ی شهریور فراهم می‌سازند. مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از این تصویر ۵ و ۶ نشان می‌دهد که استفاده از عایق حرارتی علاوه بر کاهش چشم‌گیر مصرف انرژی، موجب پایداری بیشتر در شرایط حرارتی داخلی و بهبود شاخص‌های آسایش حرارتی می‌شود. در ادامه، هر یک از گراف‌ها به تفکیک ارائه و تحلیل می‌شوند.



تصویر ۵- سرمایش (kWh)، بارهای حرارتی^۶ (W) و سرمایشی^۷ (W)، تهویه و نفوذ هوا^۸ (ACH) در ساختمان عایق شده



تصویر ۶- سرمایش (kWh)، بارهای حرارتی^{۱۶} (W) و سرمایشی^{۱۷} (W)، تهویه و نفوذ هوا^{۱۸} (ACH) در ساختمان عایق نشده

این گراف‌ها نشان می‌دهند که عایق‌کاری جداره‌های خارجی تأثیر چشم‌گیری بر کاهش مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان مورد مطالعه داشته است. در نمودار مصرف برق سرمایشی، مقدار مصرف در ساختمان غیرعایق در بازه‌ی ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلووات ساعت در ماه ثبت شده، درحالی‌که در ساختمان عایق این مقدار تنها بین ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات ساعت نوسان داشته است. این اختلاف بیانگر کاهش حدود ۶۰ درصدی مصرف انرژی سرمایشی در اثر اجرای عایق‌کاری است. در بخش تعادل حرارتی، داده‌ها نشان می‌دهد که در ساختمان غیرعایق انتقال حرارت از جداره‌ها به‌ویژه سقف و دیوارها سهم بالایی در بار سرمایشی داشته، درحالی‌که در ساختمان عایق‌شده این مؤلفه‌ها تقریباً به صفر نزدیک شده‌اند. این موضوع بیانگر نقش اساسی مقاومت حرارتی ناشی از عایق‌کاری در جلوگیری از ورود گرمای ناخواسته به فضاهای داخلی است. مقایسه‌ی بار سرمایشی سیستم^{۱۹} نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. در ساختمان غیرعایق، بار سرمایشی کل در محدوده ۸۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ کیلووات ساعت قرار داشته است؛ حال آن‌که در ساختمان عایق این مقدار بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات ساعت باقی مانده است. این اختلاف بیش از سه‌برابری بیانگر فشار مضاعف بر سیستم سرمایشی در شرایط غیرعایق است. از سوی دیگر، نمودار مربوط به تهویه و نفوذ هوا^{۲۰} نشان می‌دهد که در ساختمان غیرعایق مقدار نفوذ هوا حدود ACH ۲/۲ تا ۴/۲ بوده، درحالی‌که در ساختمان عایق این عدد در بازه ACH ۲/۱ تا ۳/۱ ثبت شده است. این کاهش نزدیک به ۵۰ درصدی در نرخ نفوذ هوا نشان می‌دهد که عایق‌کاری و درزبندی مناسب علاوه بر کاهش بار حرارتی جداره‌ها، نقش مهمی در کنترل نفوذ ناخواسته هوا دارد.

۷- بحث

در سناریوی ساختمان عایق شده، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مقادیر مصرف انرژی در دو طبقه ساختمان به یکدیگر نزدیک شده‌اند و اختلاف شدیدی مانند حالت غیرعایق مشاهده نمی‌شود. در ساختمان غیرعایق، طبقه‌ی دوم به‌دلیل تماس مستقیم با تابش خورشید و سقف، بار سرمایشی بسیار بالاتری نسبت به طبقه‌ی اول داشت (تصویر ۷) اما با اعمال عایق پشم‌سنگ، انتقال حرارت از جداره‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته و این تفاوت مصرف بین طبقات تعدیل شده است (تصویر ۸). علت اصلی این کاهش، کاهش ضریب انتقال حرارت در دیوارها و سقف است که مانع از ورود گرمای ناشی از تابش خورشید و هوای بیرون به فضای داخلی می‌شود. در نتیجه، سیستم سرمایشی ساختمان با بار کمتری مواجه شده و نیاز به مصرف انرژی الکتریکی برای حفظ شرایط آسایش حرارتی کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر، در حالی که طبقه دوم همچنان بیشترین سهم مصرف را به خود

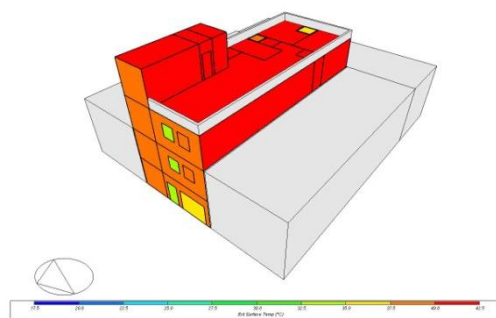


اختصاص داده است، اما مقدار آن نسبت به طبقه‌ی اول به یک سطح متعادل‌تر نزدیک شده و عملکرد حرارتی دو طبقه به همگرایی بیشتری رسیده است. این همگرایی نشان‌دهنده کارایی عایق‌کاری در کاهش اختلاف بار سرمایشی ناشی از موقعیت قرارگیری طبقات و شرایط تابشی است. جدول ۱۱ مقایسه میزان مصرف انرژی کل و مصرف انرژی الکتریکی بارهای مصرفی دو سناریو ساختمان را نشان می‌دهد.

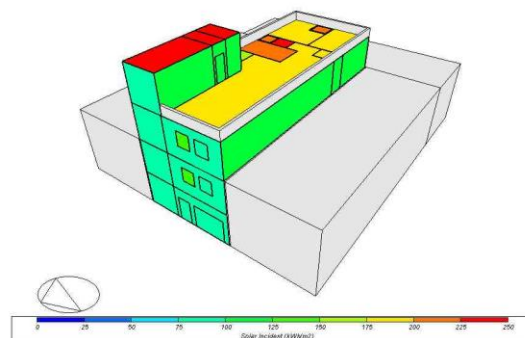
جدول ۱۱- میزان مصرف انرژی کل و مصرف انرژی الکتریکی بارهای مصرفی دو سناریو

شاخص	میزان مصرف انرژی الکتریکی ساختمان غیرعایق (کیلووات ساعت)	میزان مصرف انرژی الکتریکی ساختمان عایق (کیلووات ساعت)	میزان کاهش (%)
مصرف انرژی الکتریکی کل	۲۱۴۰۵,۰۶	۱۴۸۳۰,۴۹	۳۰,۷۴
بار سرمایشی	۱۴۴۵۲,۳۷	۸۳۳۹,۶۷	٪۴۲,۲۹
روشنایی	۱۶۶۹,۹۴	۱۶۱۵,۲۰	ناچیز
تجهیزات	۵۷۶,۲۸	۵۴۱,۶۸	ناچیز
فن‌ها	۳۱۶,۳۴	۱۶۵,۸۹	٪۴۷,۵۶

کاهش سهم انرژی سرمایشی نسبت به ساختمان غیرعایق نشان‌دهنده اثر مستقیم عایق‌کاری پشم‌سنگ در کاهش انتقال حرارت و بار سرمایشی ساختمان است. این مقایسه به‌روشنی بیانگر اثر مستقیم عایق‌کاری حرارتی در کاهش بار سرمایشی و مصرف انرژی در اقلیم گرم و مرطوب آبادان است. کاهش مصرف انرژی در سناریوی عایق نه تنها به کاهش هزینه‌های برق کمک می‌کند، بلکه بار شبکه برق محلی را نیز کاهش می‌دهد و ساختمان را به سطحی نزدیک‌تر به الگوی مصرف برق آبادان می‌رساند. یافته‌های این مطالعه با یافته‌های پژوهش‌های مشابه در سایر مناطق گرم و مرطوب هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال ساداتی و همکاران در مقاله خود نشان داده‌اند که به‌کارگیری عایق به ضخامت ۲,۵ سانتی‌متر در اقلیم ایران می‌تواند مصرف انرژی را تا نزدیک به ۴۵٪ کاهش دهد (Sadati et al., 2023). همچنین عبادتی و همکاران در پژوهش خود دریافتند که عایق پشم‌سنگ توانسته مصرف سرمایش را تقریباً ۱۱٪ کاهش دهد (Ebadati et al., 2021). پژوهش ورنا نیز نشان می‌دهد که ترکیب عایق پشم‌سنگ با ساختار سقف توخالی امکان صرفه‌جویی تا ۵۸٪ دارد (Verma, 2025). این مقایسه‌ها تأیید می‌کنند که مقادیر صرفه‌جویی به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر در دامنه قابل انتظار در اقلیم گرم و مرطوب است. پشم سنگ به دلیل ضریب هدایت حرارتی پایین، توانایی بالایی در جلوگیری از انتقال حرارت دارد و به حفظ دمای داخلی پایدار کمک می‌کند و باعث افزایش آسایش حرارتی ساکنان در ماه‌های بسیار گرم آبادان می‌شود. از سوی دیگر، این ماده غیرقابل اشتعال بوده و در برابر آتش مقاومت بالایی دارد که یک مزیت ایمنی مهم محسوب می‌شود. همچنین پشم سنگ خاصیت جذب صوتی دارد و می‌تواند سطح آسایش صوتی فضای داخلی را نیز ارتقا دهد. با وجود مزایای چشمگیر، استفاده از پشم سنگ با محدودیت‌هایی نیز همراه است. مهم‌ترین محدودیت، هزینه‌ی اولیه نسبتاً بالا برای خرید و نصب آن است که ممکن است اجرای آن را در برخی پروژه‌های مسکونی محدود کند. اما کاهش مصرف انرژی الکتریکی باعث می‌شود هزینه اولیه در مدت زمان نسبتاً کوتاهی (کمتر از ۳ سال) جبران شود. علاوه بر این، در اقلیم گرم و مرطوب آبادان، رطوبت بالا می‌تواند به کاهش کارایی پشم سنگ منجر شود؛ چراکه این ماده در صورت جذب آب، بخشی از خاصیت عایق حرارتی خود را از دست می‌دهد. بنابراین اجرای صحیح لایه‌های ضد رطوبتی و درزبندی مناسب برای جلوگیری از نفوذ رطوبت ضروری است. از دیدگاه محیط‌زیستی، استفاده از عایق پشم‌سنگ موجب کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف برق می‌شود. با فرض ضریب انتشار ۰,۵۷ کیلوگرم CO₂ برای هر کیلووات‌ساعت مصرفی (مطابق داده‌های وزارت نیرو)، کاهش ۵۷۴,۶ کیلووات ساعت در مصرف انرژی سالیانه ساختمان منجر به کاهش انتشار حدود ۳,۷۵۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در سال خواهد شد. این مقدار برای یک واحد مسکونی به‌تنهایی قابل توجه است و در مقیاس شهری می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر پایداری زیست‌محیطی داشته باشد.



تصویر ۷- میزان اتلاف انرژی در جداره های ساختمان غیر عایق



تصویر ۸- میزان اتلاف انرژی در جداره های ساختمان عایق

۸- نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر عایق کاری حرارتی بر کاهش بار سرمایشی ساختمان های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب آبادان انجام شد. بدین منظور، عملکرد یک ساختمان مسکونی دو طبقه در دو حالت بدون عایق و مجهز به عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی و مقایسه شد. نتایج نشان داد که عایق کاری حرارتی تأثیر قابل توجهی بر کاهش بار سرمایشی ساختمان دارد، به طوری که مصرف انرژی سرمایشی از ۱۷۰۱۷ کیلووات ساعت در حالت بدون عایق به ۷۸۳۰ کیلووات ساعت در حالت عایق کاری شده کاهش یافت که بیانگر صرفه جویی حدود ۵۴ درصدی در مصرف انرژی سرمایشی است. همچنین نوسانات دمای داخلی کاهش یافته و شرایط حرارتی پایدارتری در ساختمان ایجاد شد.

یافته های این پژوهش نشان داد که استفاده از عایق پشم سنگ می تواند به عنوان یک راهکار مؤثر در بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه های بهره برداری ساختمان های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب مورد توجه قرار گیرد. کاهش قابل توجه بار سرمایشی علاوه بر صرفه جویی انرژی، می تواند به کاهش ظرفیت مورد نیاز سیستم های سرمایشی و در نتیجه کاهش مصرف برق و انتشار آلاینده های زیست محیطی منجر شود. با این حال، از محدودیت های پژوهش حاضر می توان به بررسی تنها یک نوع عایق حرارتی و یک ضخامت مشخص عایق و همچنین انجام تحلیل برای یک نمونه ساختمانی اشاره کرد که ممکن است بر تعمیم پذیری نتایج به سایر شرایط ساختمانی تأثیرگذار باشد.

پیشنهاد می شود در پژوهش های آتی، عملکرد انواع مختلف عایق های حرارتی با ضخامت های گوناگون در ساختمان های با کاربری ها و هندسه های متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. همچنین انجام تحلیل اقتصادی شامل هزینه های اولیه اجرا، دوره ی بازگشت سرمایه و صرفه جویی بلندمدت انرژی می تواند دیدگاه جامع تری در خصوص کاربرد عایق های حرارتی در ساختمان های مناطق گرم و مرطوب ارائه دهد. بررسی همزمان سایر راهکارهای بهینه سازی انرژی نظیر سایه بان ها، پنجره های کم گسیل و بام های خنک نیز می تواند موضوع مطالعات آینده باشد.

پی نوشت

1- Design builder

۲- فوم عایق EPS یا پلی‌استایرن منبسط شده (Expanded Polystyrene) یک پلیمر بسیار سبک می باشد که خواص عایق حرارتی بالایی دارد. همچنین این پلیمر سبب جلوگیری از اتلاف انرژی می شود، از لحاظ شیمیایی خنثی می باشد. مقاوم به حملات باکتری می باشد، قیمت مناسبی دارد و همچنین استحکام به ضربه و پایداری ابعادی عالی دارد. این پلی استایرن دارای ضریب انتقال حرارت بسیار پایین به علت داشتن سلول بسته می باشد، دارای استحکام فشاری بالا می باشد که تحمل بار زیاد و دانسیته پایینی دارد. حداکثر تغییر در اندازه ابعاد حدود ۲ درصد است (شرکت پتروشیمی ایرانپان، ۱۴۰۱).

- 3- BWh
- 4- Energy Plus Weather Data (EPW)
- 5- Energy Plus
- 6- ASHRAE 62.1
- 7- Conductivity {W/m-K}
- 8- Density {kg/m³}
- 9- Specific Heat {J/Kg-K}
- 10- Hourly Simulation
- 11- Energy Saving Ratio
- 12- Total Energy (kWh)
- 13- Energy Per Total Building Area (kWh/m²)
- 14- Energy Per Conditioned Building Area (kWh/m²)

۱۵- میزان کل انرژی الکتریکی مصرفی ساختمان در دوره سه ماهه گرم سال برابر با ۱۷,۰۱۷.۹۴ کیلووات ساعت بوده است در حالی که جمع مصرف انرژی الکتریکی دو طبقه ۲۱۴۰۶,۰۶ کیلو وات ساعت می باشد. این اختلاف ۴۳۸۷,۱۲ کیلو وات ساعت مربوط به حذف وسایل مصرف کننده مشترک و شبیه به هم در کل ساختمان توسط نرم افزار می باشد.

۱۶- رنگ فیروزه‌ای/آبی روشن «شیشه‌ها»-رنگ خاکستری «دیوارها»-رنگ زرد «سقف‌ها (داخلی)»-رنگ سبز تیره «کف‌ها (داخلی)»-رنگ سبز متمایل به زرد «کف‌های همکف/متصل به زمین»-رنگ صورتی «پارتیشن‌ها (داخلی)»-رنگ قهوه‌ای «بام‌ها»-رنگ سبز روشن «نفوذ هوا از بیرون»-رنگ نارنجی/بژ «افراد / حضور ساکنان»-رنگ آبی کمرنگ متمایل به بنفش «سینسیل کولینگ منطقه (بار سرمایشی محسوس)»

۱۷- رنگ آبی «سرمایش محسوس»-رنگ سورمه‌ای/آبی خیلی تیره «کل سرمایش»

۱۸- رنگ بنفش «تهویه مکانیکی + تهویه طبیعی + نفوذ هوا»

19- Sensible Cooling Vs. Total Cooling

20- Ventilation + Infiltration

حامیان مالی: این پژوهش با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بین الملل ارون انجام شده است.

اعلام عدم تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارد که در انجام این پژوهش هیچ گونه تعارض منافع برای ایشان وجود نداشته است.

بیانیه شفافیت کاربری هوش مصنوعی: نویسندگان اعلام می‌کند که از هوش مصنوعی Google Gemini، صرفاً برای بهبود نگارش، ویرایش و ترجمه متن برخی مقالات منابع استفاده شده است. تمامی محتوای علمی، تحلیل‌ها، نتایج و مسئولیت نهایی مقاله بر عهده نویسنده است.

قدردانی: ما از همه افراد برای مشاوره علمی در این مقاله سپاس‌گزاریم.

منابع

شاه حسینی، مهدی، کارگر شریف آباد، هادی. (۱۳۹۸). بررسی تاثیر عایق کاری سقف و دیوار دو جداره در مصرف انرژی ساختمان اداری در شهر گرمسار با نرم‌افزار دیزاین بیلدر. *مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات*، ۱(۹)، ۴۵-۵۰.

http://jvibme.semnaniau.ac.ir/article_543010.html

شعبانیان، مهدی. کابلی، محمدهادی. دهقان بنادکی، علی و زارع، لیلان. (۱۴۰۰). سنجش اثر کاربرد پلی استایرن در کاهش مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی اقلیم سرد. *نشریه اندیشه معماری*، ۵/۹، ۳۱۱-۳۲۳. <https://www.magiran.com/p2326129>

شرکت پتروشیمی ایرانپان (۱۴۰۱). www.iraneps.ir

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۰). ضوابط صرفه جویی انرژی در ساختمان‌ها.

<https://rc.majlis.ir/en/law/show/112719>

مهدی نژاد گودرزی، زهرا. مهدی نژاد درزی، جمال‌الدین و مظفری قادی‌کلایی، فاطمه (۱۴۰۱). تبیین اصول طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای هوای داخلی مبتنی بر معماری بوم‌گرا. *معماری و شهرسازی*، ۲ (۱۳)، ۲۹۷-۳۱۶.

https://www.isau.ir/article_167167.html

مرجع انرژی ایران (۱۳۹۹). <https://iranreb.com/07/2020/download-climate-files.html>

- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Energy and Buildings*, 92, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.034>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., ... & Glazer, J. (2001). Energy Plus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33(4), 319–331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Esfandiari, M., Ahmad, M. H., Saidur, R., Rahim, N. A. (2021). A study on the potential of energy saving by combination of air conditioner temperature setting and building envelope improvement in tropical climate. *Sustainability*, 13(22), 12425. <https://doi.org/10.3390/su132212425>
- Elnabawi, M. H., & Saber, E. (2024). Building envelope retrofitting measures to reduce cooling requirements for a residential building in an arid climate. *Sustainability*, 16(2), 626. <https://doi.org/10.3390/su16020626>
- Ebadati, V., Ebadati, N. and Ebadati, M. (2021). Thermal analysis of insulations used in the building shell with the optimization approach and reduction of energy consumption. *Journal of Energy Management and Technology*, 5(4), 36–44. [doi: 10.22109/jemt.2021.248609.1257](https://doi.org/10.22109/jemt.2021.248609.1257)
- Farajzadeh, H., Monazzam, M. R., & Heidari, S. (2021). Energy consumption patterns in residential buildings of hot-humid climates of Iran. *Journal of Building Engineering*, 44, 103345. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103345>
- Gupta, V., Deb, C. (2023). Envelope design for low-energy buildings in the tropics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, Article 113650. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113650>
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
- Sadati, S. E., Rahbar, N., Kargarsharifabad, H. (2023). Energy assessment, economic analysis, and environmental study of an Iranian building: The effect of wall materials and climatic conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, (56), 103093. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103093>
- Verma, R., Kumar, S., Rakshit, D., & Udayraj. (2025). Multi-dimensional performance evaluation of passive strategies for realizing energy-efficiency and sustainability in buildings of composite climate, *Applied Energy*, (398), 126386. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126386>