Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Winter 2024, Vol. 20, No. 4, p. 179-194

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2023.388810.2473

Thermal Performance of Double-layer Green Walls in Optimizing Energy Consumption in a Typical Commercial Office Building in Tehran

Reza Sabri[1], Raheleh Rostami[2*], Fatemeh Mozaffari Qhadikolaei[3]

[1]PhD Student, Department of Architecture, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.
[2,3]Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 03.03.2023
Revised: 06.08.2023
Accepted: 07.16.2023

Keyword:
Green Wall
Frankenia
Vinca
Design Builder
Tehran

***Corresponding Author:**
Raheleh Rostami
Email:
raheleh.rostami@gmail.com

ABSTRACT

Green walls can reduce heat loss from buildings and the use of air conditioning systems and thus reduce energy consumption in buildings. It is necessary to use this method to reduce the use of fossil fuels. The main goal of this research was to evaluate the thermal performance of double-layer green walls to achieve the maximum annual thermal load reduction in a typical commercial office building in Tehran using DesignBuilder software. This practical research employed a simulation method using case study and analysis. In this research, for the first time compared to previous research, it is clear that in a typical commercial office building in Tehran, if two internal and external green walls are used at the same time, compared to one external green wall on the west front of the building, there is a 13.3% reduction. The annual heat load compared to previous research shows that this amount of energy consumption reduction gap has not been considered in any research in the world and it has been proposed for the first time in the present study. Furthermore, the current research indicated that the geographical front of the west has better thermal performance with distances of 30 and 20 cm for the external and internal green walls, respectively.

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Throughout history, Iran has been known for having rich architecture in the field of communication with nature, as well as architectural responses in harmony with nature. Despite having suitable models in this direction, one of the country's problems is the increase in energy consumption in the building sector; these buildings do not benefit from the correct energy consumption pattern in this sector because the hot weather in tropical regions causes excessive dependence on mechanical cooling systems. Green walls can reduce the effects of city heat islands, increase green landscapes, improve air quality and improve building energy efficiency. Currently, much research globally has provided significant opportunities to study the improvement of energy efficiency in buildings with the ability to use passive energy methods. The main goal of this research was to evaluate the thermal performance of double-layer green walls to achieve the greatest amount of reduction. The annual thermal load in a commercial office building is typical in Tehran. The question of the present research was whether the simultaneous implementation of green walls on both sides of the main facade of the building would have a role in reducing the energy consumption of a typical commercial office building in the hot and dry climate of Tehran.

Methodology

Simulation method was used in the present research with a case study approach and application type of analysis. The modelling method used was as follows: firstly, the climatic data of Tehran city was extracted through the weather files available on the reliable site of Energy Plus, which is prepared in the Design Builder software for Mehrabad weather station in Tehran in EPW format and hourly. Then, the modelling and construction of the basic model, which is the typical commercial office building in Tehran (Sadeghieh Doctors' building), was conducted with Design Builder software. In the next step, single-layer green walls with Frankenia plant species were modelled and compared in the four geographical directions of the base module on the exterior of the building, and finally, the most optimal direction of the green wall for Tehran's climate was selected up to this stage. Then, the base module was simulated despite two green walls on both sides of the main facade, and the Vinca plant species were modelled in the interior of the building facade, and the most optimal mode was selected up to this stage. Then, the quality of the external wall materials was increased and the best condition was selected. Finally, the results showed whether the two-layer green vegetation would have a better performance in reducing energy consumption than the single-layer green wall in a typical commercial office building in the hot and dry climate of Tehran, and the effect of the research variables at the time of installing the green wall was determined. In addition, the reduction in energy consumption was compared.

The location of the studied site was in the 5th district of Tehran and at the address of Ashrafi Esfahani highway, Golestan third street.

Results and discussion

The annual simulation results and findings with Design builder software showed that the annual heating and cooling load for the base model in the hot and dry climate of Tehran was 25,390 kilowatt hours and 118,540 kilowatt hours, respectively, with a total of 143,930 kilowatt hours. In addition, if solutions are provided, the total energy consumption of the building is reduced from 143,930 kWh in the base building (without providing solutions) to 124,700 kWh (with solutions provided), which causes a 13.3% reduction in annual heat load. From the findings and important results of this research, it was obvious that during the simulation, the total energy consumption of cooling and heating of the building in the basic module with one green wall was 3777.42 kilowatt hours, but with two green walls was 3660.16 kilowatt-hours. As a result, it caused a 3.1% reduction in annual thermal load when using a double-layer green wall compared to a single layer green wall in the building, which is a positive answer to the question of this research (Table 1).

Table 1. Comparison of annual heat loads of cooling and heating.

Row	Title	Heating load	Cold load	Total
1	Actual base building (before optimization solutions)	25390	118540	143930
2	Actual base building (after optimization solutions)	12760	111940	124700
3	Annual thermal load reduction percentage	-	-	13/3
4	Basic module (before providing solutions)	1911/39	2500/91	4412/3
5	Base module (by implementing a green wall on the exterior at an optimal distance)	2043/62	1733/80	3777/42
6	Basic module (with the simultaneous implementation of two internal and external green walls at an optimal distance)	1727/57	1932/59	3660/16
7	Annual thermal load reduction percentage	-	-	3/1

Conclusion

In general, in this research, for the first time compared to previous research, it is clear that if two green walls are used at the same time compared to one green wall on the west front of the building, a 13.3 per cent reduction in annual heat load would be observed. This amount of energy consumption reduction has not been considered in any research in the world. In addition, due to the high validation accuracy (5.3 per cent), it can be extended to other commercial office buildings in hot and dry climates. In addition, the findings clearly demonstrated that if the double-layer green wall system is used in the base module in the hot and dry climate of Tehran, it would cause a 3.1 per cent reduction in the annual thermal load in the said building. In addition, the geographical front of the west has better thermal performance with 30 and 20-cm intervals for external and internal green walls, respectively.

کارفن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ٤، ۱۹٤-۱۷۹
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.388810.2473

عملکرد حرارتی دیوارهای سبز دولایه در بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران

رضا صبری[۱]، راحله رستمی[۲*]، فاطمه مظفری قادیکلائی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.
۲و ۳- استادیار، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

کلید واژگان:
دیوار سبز
فرانکینیا
وینکا
دیزاین‌بیلدر
تهران

***نویسنده مسئول:** راحله رستمی
پست الکترونیکی:
raheleh.rostami@gmail.com

چکیده

دیوارهای سبز می‌توانند تلفات حرارتی ساختمان‌ها را تقلیل داده و موجب کاهش استفاده از سامانه‌های تهویهٔ مطبوع و درنتیجه باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها شوند؛ بنابراین استفاده از این روش جهت کم شدن استفاده از سوخت‌های فسیلی ضروری به نظر می‌رسد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی عملکرد حرارتی دیوارهای سبز دولایه جهت دستیابی به بیشترین مقدار کاهش بار حرارتی سالیانه در ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر است. روش این تحقیق با توجه به ماهیت آن، شبیه‌سازی و با رویکرد مطالعهٔ موردی و تحلیلی و ازنظر نوع، کاربردی است. در این پژوهش، برای اولین بار نسبت به تحقیقات گذشته مشخص می‌گردد که در ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران، در صورت استفاده همزمان از دو دیوار سبز داخلی و خارجی نسبت به یک دیوار سبز خارجی در جبههٔ غربی نمای ساختمان، شاهد ۱۳/۳ درصد کاهش بار حرارتی سالیانه نسبت به تحقیقات پژوهشگران قبل می‌گردد که این مقدار گپ کاهش مصرف انرژی، تاکنون در هیچ تحقیقی در جهان در نظر گرفته نشده است و برای اولین بار در این پژوهش مطرح گردیده است. همچنین در این تحقیق نشان می‌دهد که جبههٔ جغرافیایی غرب به ترتیب با فواصل ۳۰ و ۲۰ سانتیمتر برای دیوارهای سبز خارجی و داخلی، عملکرد حرارتی مناسب‌تری دارد.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2024 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

ایران به داشتن معماری غنی در زمینهٔ ارتباط با بوم و همچنین پاسخ‌های معماری همسو با طبیعت در طول تاریخ مطرح بوده است. علی‌رغم دارا بودن الگوهای مناسب در این راستا، یکی از معضلات کشور، افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان و بهره‌مند نبودن این بناها از الگوی صحیح مصرف انرژی در این بخش است که با توجه به آب و هوای گرم در مناطق گرمسیری باعث وابستگی بیش از حد به سیستم‌های خنک‌کنندهٔ مکانیکی شده است [۱]. شهرنشینی و تراکم سریع جمعیت، چالش‌های زیست‌محیطی قابل‌توجهی را برای ریزاقلیم شهری ایجاد کرده است. زیرساخت‌های سبز شهری، ازجمله چمن‌زارها، دیوارهای سبز، بام‌های سبز و درختان خیابان، به‌عنوان استراتژی‌های طراحی زیست‌محیطی برای کاهش جزایر گرمایی شهری [۲] و همچنین کاهش مصرف انرژی ساختمان استفاده می‌شوند [۳]. تبعیت از معیارهای زندگی مدرن و پیامدهای مصرف بی‌رویهٔ انرژی‌های فسیلی، مردم را از ساخت و زندگی در خانه‌هایی که با اقلیم منطقه مطابقت داشته بیرون کشیده و ساختمان‌هایی برای آنها به ارمغان آورده که نیاز به مصرف بالای انرژی دارد؛ بنابراین حرکت به‌سوی بهره‌گیری از منابع طبیعی و پتانسیل‌های موجود در هر منطقه جهت فراهم آوردن رفاه پایدار، ضرورتی انکارناپذیری است [۴]. در اقلیم گرم و خشک ایران، تأمین آسایش حرارتی فضاهای درونی و بیرونی نیازمند کنترل و به حداقل رساندن دریافت تابش خورشیدی در ماه‌های گرم سال از طریق جهت‌گیری مناسب، کاهش سطوح مواجهه با تابش و ایجاد حداکثر سایه‌اندازی بر روی سطوح است [۵]. در همین راستا، اجرای دیوارهای سبز در ساختمان، نقش مهمی در سایه‌اندازی و جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید بر روی نمای ساختمان‌ها دارد و در صورت اجرای آن در جبههٔ مناسب ساختمان می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرفعال انرژی موجب کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش در ساختمان گردد. دیوارهای سبز که به‌عنوان سیستم‌های سبز عمودی نیز شناخته می‌شوند [۶]، در حقیقت به تمام سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که سطح عمودی ساختمان را (مانند نماها، دیوارها، پارتیشن‌های داخلی) با نمونه‌هایی از گونه‌های گیاهی، سبز می‌کنند [۷]. دیوارهای سبز را می‌توان به‌طورکلی به دو دستهٔ اصلی، نمای سبز و دیوارهای زنده تقسیم کرد و می‌تواند به‌عنوان یک سیستم غیرفعال جهت کاهش بار مصرف انرژی ساختمان به‌حساب آید [۸]. دیوارهای سبز می‌تواند باعث کاهش اثرات جزایر گرمایی شهر، افزایش منظر سبز، بهبود کیفیت هوا و بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان شود که ازجمله مزایای آن محسوب می‌گردد [۹].

در حال حاضر بسیاری از تحقیقات در سراسر جهان، فرصت‌های قابل‌توجهی را برای مطالعه در زمینهٔ بهبود کارایی انرژی در ساختمان با قابلیت استفاده از روش‌های غیرفعال انرژی فراهم نموده است و هدف اصلی این تحقیق نیز ارزیابی عملکرد حرارتی دیوارهای سبز دولایه جهت دستیابی به بیشترین مقدار کاهش بار حرارتی سالیانه در ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران است. پرسش تحقیق حاضر این است که اجرای هم‌زمان دیوارهای سبز در دو طرف نمای اصلی ساختمان چه نقشی در کاهش مصرف انرژی ساختمان اداری تجاری نمونه در اقلیم گرم و خشک شهر تهران خواهد داشت؟

در مورد پیشینهٔ تحقیق، در سال‌های قبل مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای در زمینهٔ عملکرد حرارتی دیوارهای سبز در نمای خارجی ساختمان‌ها و کاربرد آن در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است که عمدهٔ این تحقیقات تنها با یک لایهٔ دیوار سبز انجام شده است. در تحقیق فنگ یانگ و همکاران، با بررسی نمای دوپوسته سبز در ساختمان پنج طبقه نشان دادند که یک‌لایهٔ جداره سبز عمودی در فاصله بین دیوارهای شیشه‌ای، می‌تواند یک خرداقلیم متفاوت در ساختمان به وجود آورد. بررسی آنها نشان می‌دهد که میانگین کاهش درجهٔ حرارت سطح خارجی در جبههٔ جنوبی، توسط جدارهٔ سبز عمودی، ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر آن ۹ درجه سانتی‌گراد است؛ درحالی‌که میانگین کاهش درجه حرارت سطح داخلی ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و حداکثر ۲ درجه است. این اعداد برای جبههٔ شمالی به

ترتیب ۰/۵، ۴/۲، ۰/۵ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد است [۱۰]. فنگ و هوانگ[1] نیز عملکرد حرارتی سه نوع از گیاهان سبز را به‌صورت جداگانه و به تفکیک در یک لایه در ساختمانی با استاندارد Gold LEED در کانادا را به‌وسیلهٔ نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مورد ارزیابی قراردادند [۱۱]. نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که گیاهان سبز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث کاهش انتقال حرارت منفی از نمای ساختمان در ماه‌های زمستان و تابستان می‌شوند. با این‌حال نتایج نشان می‌دهد که گیاهان سبز در مناطق سردسیر و ماه‌های زمستان به علت عملکرد ضعیف در ذخیرهٔ انرژی، ازلحاظ هزینه مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشند [۱۱]. در تحقیق بلانکو[2] و همکاران داده‌های تجربی در یک نمونه با یک لایهٔ نمای سبز در دانشگاه باری جمع‌آوری گردید و رفتار حرارتی نمای سبز تحت سناریوهای مختلف آب و هوای تابستان مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۲]. جهت ارزیابی تأثیر گیاهان، مقایسه‌ای بین شرایط ریزاقلیمی و انتقال انرژی در دیوار پوشیده، پشت پوشش گیاهی و در یک دیوار بدون پوشش گیاهی انجام گردید. نتایج نشان داد که در طول روز، نمای سبز باعث کاهش دمای سطح خارجی دیوار تا ۹.۹ درجه سانتی‌گراد می‌گردد، درحالی‌که رطوبت نسبی هوا در پشت پوشش گیاهی تا ۱۸.۷٪ افزایش یافت و گرم شدن سطح دیوار و هوا در شب مشاهده شد. همچنین تجزیه و تحلیل شار انرژی از طریق دو دیوار، کاهش قابل‌توجهی را در دیوار پوشیده شده با گیاه به میزان ۶۲٪ در طول روز مشخص گردید [۱۲]. در تحقیق زرگریان و تهرانی فر، در مقاله‌ای تحت عنوان (حفظ انرژی با گیاهان پوششی در معماری دیواره‌های سبز و باغ بام‌ها) به بررسی جنبه‌های مختلف به‌کارگیری چند گونهٔ گیاهی در دیواره‌های عمودی ساختمان‌ها و باغ بام‌ها با هدف حفظ انرژی و از جنبه‌های مختلف زیباشناسی، کاربرد نور آفتاب و سایه، ویژگی‌های خاص گیاه و شرایط اقلیمی پرداخته است و درنهایت به این نتیجه دست یافتند که گیاه پوششی فرانکینیا در آفتاب و سایه آفتاب به‌خوبی رشد می‌کند و گیاه وینکا در سایه و سایهٔ آفتاب به‌خوبی رشد می‌کند و جهت استفاده در دیوار سبز عمودی مناسب است [۱۳]. در تحقیق رضایی و ذبیحی، در مقالهٔ تحت عنوان تأثیر گیاهان پوششی در طراحی منظر شهری و ارائه راهکاری برای صرفه‌جویی اقتصادی (نمونهٔ موردی چمن) به بررسی احداث و نگهداری چمن با درختچه‌ها و انواع پوشش گیاهی مناسب اقلیم گرم و خشک شهر تهران ازجمله گونهٔ گیاهی فرانکینیا پرداختند و پیشنهاد نمودند که از این گونهٔ گیاهی که دارای سازگاری مناسب با اقلیم گرم و خشک شهر تهران است و جهت استفاده در منظر شهری اقلیم گرم و خشک تهران مناسب است [۱۴].

قابل‌ذکر است گونهٔ گیاهی انتخاب‌شده در پژوهش حاضر جهت استفاده در دیوار سبز در قسمت خارجی نمای ساختمان، گیاه فرانکینیا است. فرانکینیا گونه‌ای همیشه‌سبز است که طبق مقالات اشاره‌شده در سوابق تحقیق، در آفتاب بهترین عملکرد را دارد و در سایه نیز به‌صورت تنک کاملاً رشد می‌کند و گزینه‌ای مناسب برای پوشش فضای سبز با برگی به رنگ سبز تیره است. همچنین به گرما، سرما، خشکی و شوری مقاوم است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک گسترش دارد و به‌عنوان یکی از بهترین پوشش‌های گیاهی برای دیوار سبز و بام سبز به‌خصوص در اقلیم گرم و خشک شهر تهران در مقالات پیشنهاد شده است؛ بنابراین، یکی از دلایل انتخاب گونهٔ گیاهی فرانکینیا در نمای خارجی ساختمان در این پژوهش را می‌توان به جهت پیشنهاد استفاده از این گونهٔ گیاهی در تحقیقات پژوهشگران گذشته و همچنین سازگاری و مقاومت بالای این گیاه در برابر خشکی، عدم نیاز به آبیاری زیاد (بخصوص در کشور ایران که دارای بحران کم‌آبی است)، ذکر نمود. ضمناً در این تحقیق از گونهٔ گیاهی دیگری به نام وینکا جهت دیوار سبز در قسمت داخلی نمای ساختمان که در حالت سایه و نیمه سایه هستند استفاده می‌گردد؛ چراکه طبق مطالب ذکرشده در

[1] Feng & Hewage
[2] Blanco

سوابق تحقیق، گونهٔ گیاهی مذکور هم در سایه و هم در آفتاب ملایم به‌خوبی رشد می‌کند و به‌طورکلی گیاهی سایه دوست و مناسب برای فضای داخلی ساختمان است.

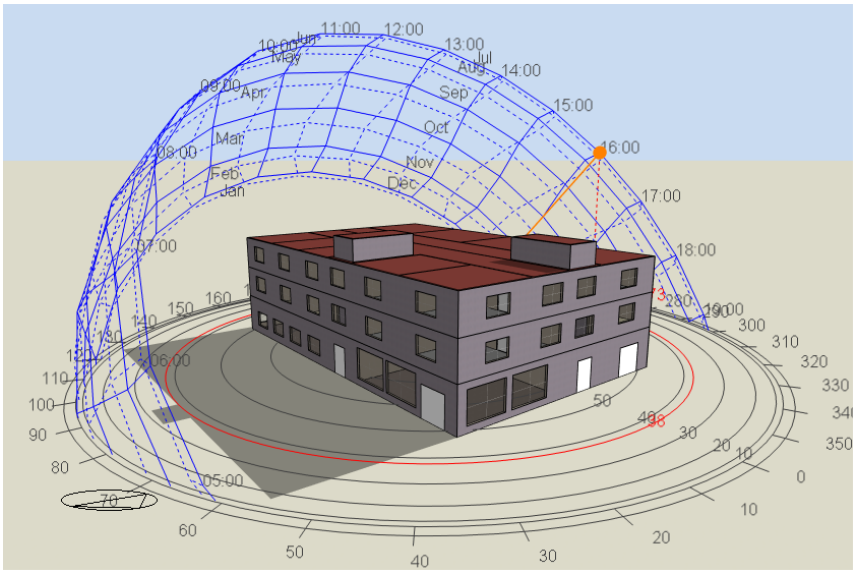
یکی از ابداعاتی که تحقیق حاضر را از سایر پژوهش‌های گذشته متمایز نموده این است که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که پژوهشگران صورت گرفته تاکنون تنها با بهره‌گیری از یک لایه دیوار سبز در نمای این ساختمان‌ها صورت گرفته است که مانع از دستیابی به بیشترین مقدار کاهش بار سالیانه مصرف انرژی در ساختمان شده است؛ درحالی‌که برای اولین بار در تحقیق حاضر با هدف دستیابی به حداکثر مقدار کاهش بار سالیانه مصرف انرژی، ضمن ارتقای این سیستم به دو دیوار سبز در نمای ساختمان، نسبت به بررسی عملکرد حرارتی سیستم‌های دولایه سبز در ساختمان و همچنین ارزیابی تأثیر شاخص‌های فاصله، جنس و جبهه بهینهٔ سیستم دیوارهای سبز دولایه با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (ورژن ۶.۱.۲.۰۰۹) می‌پردازد. درنهایت نیز با مقایسهٔ عددی این دو مقدار، میزان گپ تحقیقات گذشته در خصوص بیشترین مقدار کاهش بار سالیانه مصرف انرژی به همراه بهینه‌ترین فاصله و جبههٔ دیوارهای سبز مشخص می‌گردد.

روش‌شناسی

روش تحقیق در این پژوهش با توجه به ماهیت آن، شبیه‌سازی و با رویکرد مطالعهٔ موردی و تحلیلی و از نظر نوع کاربردی در نظر گرفته‌شده است. نحوهٔ کار نیز بدین‌صورت است که در ابتدا داده‌های اقلیمی شهر تهران از طریق فایل‌های آب و هوایی موجود در سایت معتبر انرژی پلاس که در خود نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران با فرمت epw و به‌صورت ساعتی تهیه شده است، استخراج می‌گردد. سپس نسبت به مدل‌سازی و ساخت مدل پایه که همان ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران (ساختمان پزشکان صادقیه) است با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر اقدام می‌گردد. در مرحلهٔ بعد، دیوارهای سبز تک لایه با گونهٔ گیاهی فرانکینیا در نمای خارجی ساختمان و در چهار جهت جغرافیایی مدول پایه مدل‌سازی و باهم مقایسه می‌گردد و درنهایت بهینه‌ترین جهت دیوار سبز برای اقلیم تهران تا این مرحلهٔ انتخاب می‌شود. سپس مدول پایه باوجود هم‌زمان دو دیوار سبز در دو طرف نمای اصلی شبیه‌سازی می‌گردد و در قسمت داخلی نمای ساختمان نیز گونهٔ گیاهی وینکا مدل‌سازی می‌گردد و بهینه‌ترین حالت تا این مرحله انتخاب می‌شود. در مرحلهٔ بعد نسبت به افزایش کیفیت جنس مصالح دیوار خارجی اقدام گردیده و بهترین حالت انتخاب می‌گردد. درنهایت نتایج نشان می‌دهد که آیا پوشش گیاهی سبز دولایه عملکرد بهتری در کاهش مصرف انرژی نسبت به دیوار سبز تک لایه در ساختمان اداری تجاری نمونه در اقلیم گرم و خشک شهر تهران خواهد داشت یا خیر و تأثیر متغیرهای تحقیق در زمان نصب دیوار سبز مشخص می‌گردد. همچنین میزان کاهش مصرف انرژی باهم مقایسه می‌گردد. پس از مشخص شدن نتیجه و اثبات کاهش یا افزایش میزان مصرف انرژی سایر مدل‌های ساختمانی نسبت بـه (مدل پایه)، اقدام به انتخاب طرح بهینه و الگوی نهایی از میان مدل‌ها می‌گردد. سپس طرح نهایی پروژه با بیشترین میـزان کاهش بار حرارتی سالیانه برای اقلیم گرم و خشک شهر تهران انتخـاب می‌گردد.

همچنین ازنظر فرم ساختمان نیز هیچ محدودیت تئوریک و ضوابط دقیقی برای تعیین ابعاد استاندارد مدل پایه ساختمان، بخصوص برای مجتمع‌های اداری تجاری در شهر تهران وجود ندارد؛ بااین‌حال پژوهش‌های محدودی توسط عبدالله زاده [۱۵] در سال ۱۳۹۲ بر روی ساختمان‌های اداری تجاری شهر تهران انجام‌شده که غالب‌ترین وضعیت این ساختمان‌ها در شهر تهران را به‌صورت مستطیلی با مساحت حدود ۱۳۵۱ مترمربع و نسبت طول به عرض (۱/۵) متر معرفی کرده است؛ بنابراین در تحقیق حاضر نیز از ساختمان اداری تجاری با فرم مستطیلی و با نسبت طول به عرض نزدیک به تحقیق مذکور (۱/۵) استفاده شده است. همچنین ابعاد زمین (۴۵.۵*۳۰) متر است و دارای ۱۳۶۵

مترمربع زیربنا در همکف و طبقات بعدی نیز هرکدام دارای ۱۳۶۵ مترمربع زیربنا است که درمجموع شامل (۴۰۹۵ مترمربع) زیربنا در ۳ طبقه روی زمین می‌گردد که با توجه به نزدیک بودن مقادیر نسبت طول به عرض و مساحت زیربنا و همچنین کاهش مقادیر مصرف انرژی، به‌عنوان ساختمان مدل پایه انتخاب می‌گردد و ابعاد آن نیز به‌صورت ثابت در شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است. این ساختمان در حالت پایه، فاقد دیوار سبز و در ۳ طبقه روی زمین است که طبقهٔ همکف شامل کاربری تجاری داروخانه و پارکینگ است و طبقات فوقانی نیز مطب پزشکان با کاربری اداری است. به‌طورکلی ساختمان در این مرحله بدون هیچ‌گونه راهکار و تمهیدات کاهش بار حرارتی سالیانه انرژی است. بدین‌صورت مدل پایه به‌عنوان الگوی پایهٔ نهایی جهت مقایسه با سایر ساختمان‌ها در سناریوهای بعدی انتخاب می‌گردد. در (شکل ۱) مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان اداری تجاری پزشکان صادقیه نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان پزشکان صادقیه (مدل پایه)- تهیه با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (مآخذ: نگارندگان).

ضمناً در مورد تعیین تیپولوژی سامانه‌های دیوار سبز عمودی مورد مطالعه نیز هیچ محدودیت تئوریک و ضوابط دقیقی برای تعیین نوع دیوارهای سبز استاندارد مورداستفاده در مدل پایه ساختمان به‌خصوص در ساختمان‌های اداری تجاری شهر تهران وجود ندارد؛ بااین‌حال پژوهش‌های محدودی توسط کلیائی و همکاران [۸] انجام‌شده که به بررسی و تحلیل انواع مختلف سیستم‌های (نمای سبز، دیوار سبز و دیوار زنده) پرداخته است و فواید و مضرات هرکدام را در طراحی و اجرا در جدولی مشخص نموده است ولی درنهایت نتایج ارزیابی نشان داده است که اجرای سیستم دیوار سبز زنده در غالب موارد ازنظر ویژگی‌های (صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایش، انعطاف‌پذیری و زیبایی‌شناسی، تأمین حفره هوایی، آکوستیک، کمک به افزایش طول عمر ساختمان) نسبت به سایر سیستم‌های سبز عمودی کارایی و عملکرد بهتری دارد؛ بنابراین در تحقیق حاضر نیز از سیستم‌های دیوارهای سبز زنده استفاده می‌گردد. همچنین به دلیل نیاز به استفاده از شروط شبیه‌سازی تهویهٔ طبیعی واقعی در نرم‌افزار، گزینهٔ (ventilation Natural) به حالت (calculated Natural ventilation) قرار داده می‌شود. در این حالت، مدل‌سازی دقیقاً مطابق با وضعیت واقعی مجتمع

پزشکان صادقیه در اقلیم تهران و در ۳ طبقه روی زمین با جهت کشیدگی پلان (شمالی- جنوبی)، بدون هرگونه (نصب دیوار سبز در نمای خارجی و داخلی ساختمان، بهینه‌سازی جنس دیوارهای خارجی، بهینه‌سازی فاصله دیوارهای سبز از دیوار اصلی است) در نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی مدل‌سازی می‌گردد.

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی، تأثیرات متغیرهای تحقیق در کاهش مصرف انرژی در مجتمع اداری تجاری در اقلیم گرم و خشک تهران مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار گرفت و مناسب‌ترین حالت‌ها ازنظر کاهش مصرف انرژی برای ساختمان محاسبه و لحاظ گردید. در همین راستا، اتاقک آزمایشی به‌نام (مدول پایه) با ۲۰ درصد کاهش ابعاد نسبت به ساختمان پایه و به ابعاد (طول ۹/۱ و عرض ۶ متر و ارتفاع ۲/۷ متر) در همان جهت کشیدگی پلان ساختمان پایه به‌صورت (شمالی- جنوبی) در نرم‌افزار مدال‌سازی می‌شود و جنس دیوارها و سقف اتاقک نمونه نیز عین مدل پایهٔ واقعی در نرم‌افزار تعریف می‌گردد. همچنین دیوارهای سبز در مناسب‌ترین حالت در جهت غربی ساختمان و در فاصلهٔ ۳۰ سانتی از دیوار خارجی نصب گردید که به‌صورت هم‌زمان با دیوار سبز داخلی بافاصلهٔ ۲۰ سانتیمتری از قسمت داخلی همان دیوار نصب شده است. همچنین جنس عایق حرارتی دیوار خارجی از نوع XPS باضخامت ۷ سانتیمتر و جنس دیوار خارجی از بلوک هبلکس باضخامت ۲۰ سانتیمتر انتخاب و شبیه‌سازی شده است و درنهایت با مدل پایه مقایسه گردید. مشخصات تنظیمات ورودی نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای شبیه‌سازی جداره‌های سبز در (جدول شماره ۱) آورده شده است. قابل ذکر است در تحقیق حاضر، این مقادیر از منبع معتبر موجود در مقالهٔ سیدآبادی و همکاران [۱۶] سال ۲۰۲۱ برداشت شده است و یک آیتم از جدول مذکور به دلیل عدم وجود مقدار آن در تحقیقات پژوهشگران گذشته، از دیفالت و رفرنس موجود در نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات تنظیمات نرم‌افزار برای شبیه‌سازی جدار سبز.

تنظیمات نرم‌افزار برای شبیه‌سازی جدار سبز	گونهٔ گیاهی	مقادیر واردشده در نرم‌افزار	منبع
Moisture diffusion calculation method	فرانکینیا	Advanced	[۱۶]
	وینکا	Advanced	[۱۶]
Height of the plants (m)	فرانکینیا	۰.۱۵	[۱۶]
	وینکا	۰.۲	[۱۶]
Leaf area index (LAI)	فرانکینیا	۳/۶	[۱۶]
	وینکا	۲.۷	[۱۶]
Leaf reflectivity	فرانکینیا	۰.۳۲	[۱۶]
	وینکا	۰.۲۵	[۱۶]
Leaf emissivity	فرانکینیا	۰.۸۳	[۱۶]
	وینکا	۰.۷۸	[۱۶]
Minimum stomatal resistance (s/m)	فرانکینیا	۱۸۰	Designbuilder default
	وینکا	۱۸۰	Designbuilder default
Max volumetric moisture content	فرانکینیا	۰.۵۰	[۱۶]
	وینکا	۰.۵۰	[۱۶]
Min volumetric moisture content	فرانکینیا	۰.۰۱	[۱۶]
	وینکا	۰.۰۱	[۱۶]
Initial volumetric moisture content (Soil Water Content)	فرانکینیا	۰.۱۵۰	[۱۶]
	وینکا	۰.۱۵۰	[۱۶]

ویژگی‌های سایت

محل سایت مورد مطالعه که در این تحقیق انتخاب‌شده است، واقع در محدودهٔ منطقهٔ ۵ شهر تهران و به آدرس بزرگراه اشرفی اصفهانی تقاطع ضلع جنوب غربی خیابان گلستان سوم، ساختمان اداری تجاری پزشکان صادقیه است. زمین این سایت به مساحت ۳۴۱۲ مترمربع است که در سه‌طبقه روی زمین و دارای ۴۰۹۵ مترمربع زیربنا است. این ساختمان دارای ابعاد (۴۵.۵*۳۰) متر است که در سال ۱۳۷۶ ساخته‌شده است. طبقهٔ همکف کاربری تجاری (داروخانه) و طبقات فوقانی کاربری اداری (مطب پزشکان) است. نمای این ساختمان از جنس سنگ است. زمین سایت از طرف شمال به خیابان گلستان سوم، از طرف جنوب و غرب به ملک همسایه و از طرف شرق به بزرگراه اشرفی اصفهانی منتهی می‌شود.

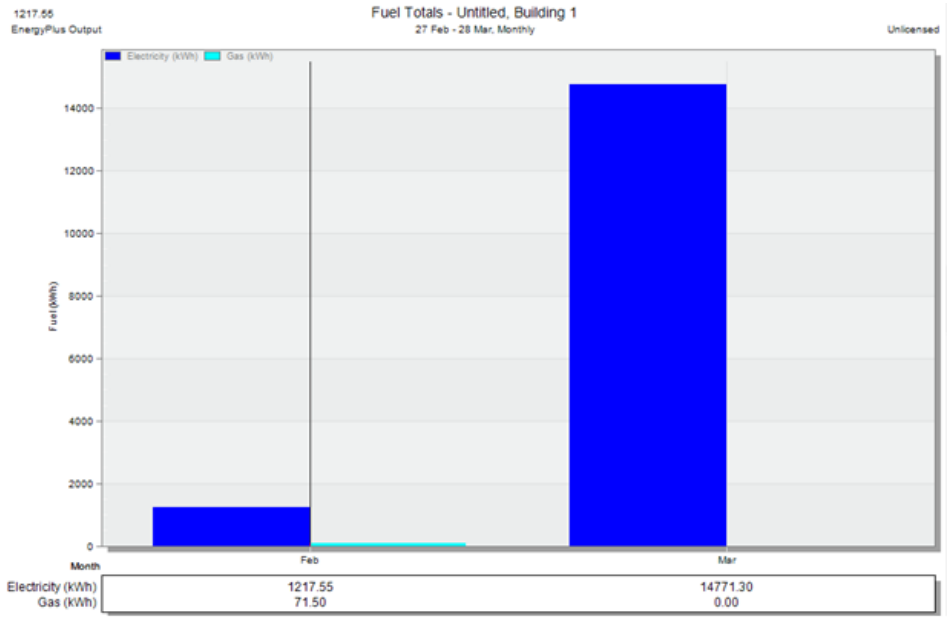
شیوهٔ مدل‌سازی

شیوهٔ مدل نمودن ساختمان اداری تجاری نمونه در شهر تهران با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر بدین‌صورت انجام می‌گردد که در ابتدا نسبت به گردآوری و برداشت پلان معماری، سازه، تأسیسات برقی و مکانیکی مرکز اداری تجاری موردنظر اقدام نموده سپس با توجه به بازدید صورت گرفته از این ساختمان و تطابق پلان‌ها با ساختمان موجود، نسبت به تهیهٔ نقشه‌های ازبیلت ساختمان مذکور اقدام می‌گردد. در مرحلهٔ بعد ترسیم پلان معماری به‌صورت سه‌بعدی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر ترسیم نموده و زون‌های هر طبقه تعریف می‌گردد. بعد از مشخص نمودن اقلیم منطقه موردنظر می‌بایست برای هر زون، انواع کاربری‌ها، ساختار، بازشوها، روشنایی و سیستم تهویهٔ مطبوع به‌عنوان ورودی‌های نرم‌افزار تعریف گردد؛ بنابراین تا این مرحله، مدل‌سازی بدون وجود دیوار سبز و با توجه به ابعاد و وضعیت واقعی ساختمان موجود، در محیط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مدل‌سازی شده و بعد از تعبیه پنجره‌ها، به‌عنوان مدل پایه، مبنای مقایسه با سایر ساختمان‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. در مرحلهٔ بعد اتاقک نمونه (مدول پایه) با ۲۰ درصد کاهش ابعاد نسبت به ساختمان پایه و به ابعاد (طول ۹/۱ و عرض ۶ متر و ارتفاع ۲/۷ متر) در همان جهت کشیدگی پلان ساختمان پایه به‌صورت (شمالی-جنوبی) مدل‌سازی می‌شود و جنس دیوارها و سقف اتاقک نمونه نیز عین مدل پایه واقعی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر تعریف می‌گردد. سپس دیوارهای سبز تک لایه و سپس دولایه با گونهٔ گیاهی فرانکینیا و وینکا در چهار جهت جغرافیایی مدول پایه به ترتیب در دیوارهای خارجی و داخلی نمای ساختمان نصب و مدل‌سازی می‌گردد و کار شبیه‌سازی انرژی نیز در مراحل بعدی انجام می‌گردد.

شیوهٔ اعتبارسنجی نتایج

روش‌های زیادی برای بررسی اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی وجود دارد. این روش‌ها به‌طورکلی به سه دسته ازجمله تکنیک‌های تحلیلی، آزمایشگاهی و واقعی تقسیم می‌شوند که روش سوم دقیق‌ترین (مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی با مقادیر واقعی) است. راستی آزمایی واقعی شامل مقایسهٔ اطلاعات حاصل از ارزیابی ساختمان‌ها با نتایج شبیه‌سازی است. در این روش، محققان نه‌تنها به دنبال تأیید فرآیند فیزیکی مدل هستند، بلکه تمایل دارند رفتار کاربران را نیز توضیح دهند [۱۷] در این پژوهش نیز از روش تجربی جهت اعتبارسنجی نتایج نرم‌افزار استفاده شده است. بدین منظور، یک ساختمان اداری تجاری به‌نام ساختمان پزشکان صادقیه واقع در بزرگراه اشرفی اصفهانی نبش خیابان گلستان سوم در اقلیم گرم و خشک شهر تهران به‌عنوان ساختمان نمونه انتخاب‌شده و میزان مصرف انرژی این ساختمان با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در ماه مورد نظر شبیه‌سازی می‌گردد و صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مندرج در قبض برق در ماه مورد نظر ساختمان موجود، اعتبارسنجی گردیده است. برای این کار در ابتدا با مراجعهٔ حضوری به محل

مورد نظر و اخذ اطلاعات مورد نیاز از طریق برداشت‌های میدانی و همچنین تهیهٔ نقشه‌های این ساختمان مشخص می‌گردد که ساختمان مذکور دارای ۴۰۹۵ مترمربع زیربنا به ابعاد (۴۵.۵*۳۰) متر و دارای سه‌طبقهٔ روی زمین است. سپس مدل‌سازی این ساختمان مطابق با ابعاد واقعی ساختمان توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شده است. در مرحلهٔ بعد نسبت به شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در تاریخ قرائت کنتور و قبض برق در بازهٔ زمانی ۸ اسفند ۱۴۰۱ تا ۸ فروردین ۱۴۰۲ شمسی (مصادف با ۲۷ فوریه ۲۰۲۳ تا ۲۸ مارس ۲۰۲۳ میلادی) انجام می‌گردد. در نتایج این شبیه‌سازی مشخص می‌گردد که میزان برق مصرفی در ساختمان نمونهٔ مطالعاتی طبق نمودار شبیه‌سازی ذیل به میزان ۱۵۹۸۸.۸ کیلووات ساعت شده است (شکل ۲).

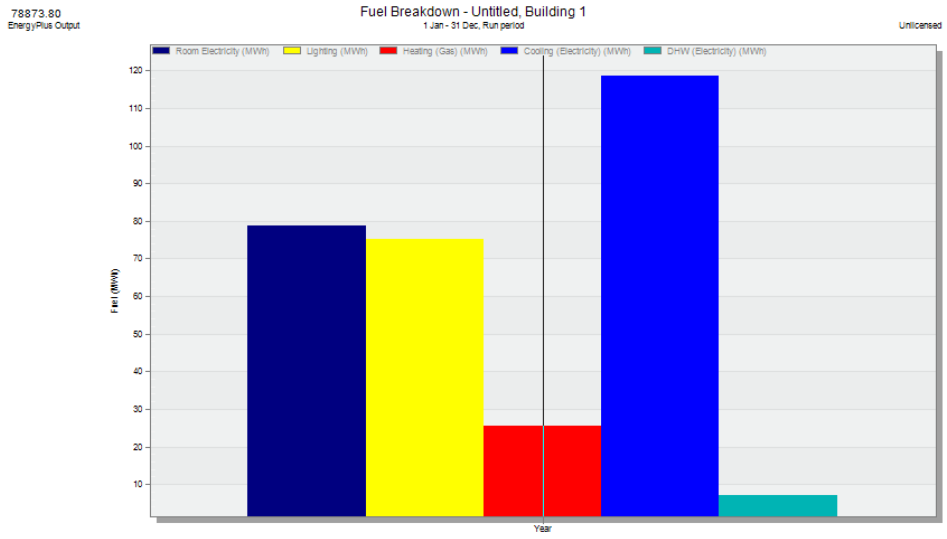


شکل ۲. نمودار برق مصرفی ساختمان پزشکان صادقیه (۲۷ فوریه تا ۲۸ مارس ۲۰۲۳).

سپس صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مندرج در قبض برق مصرفی در همان ماه در ساختمان موجود (۱۶۸۹۲ کیلووات ساعت) مقایسه و اعتبارسنجی می‌گردد. درنهایت، نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که با مقایسهٔ عددی بین مقادیر واقعی مصرف انرژی در ماه مورد نظر در ساختمان نمونه با خروجی ماهیانه نرم‌افزار شبیه‌ساز، اختلافی به میزان ۵.۳ درصد گردیده است. با توجه به این‌که در مراجع متعددی از جمله منابع [۱۸] و [۱۹]، اختلاف مجاز موجود بین داده‌های اندازه‌گیری‌شده واقعی و نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار در محدودهٔ خطای این تحقیق است؛ بنابراین صحت و دقت این اعتبارسنجی مورد قبول قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

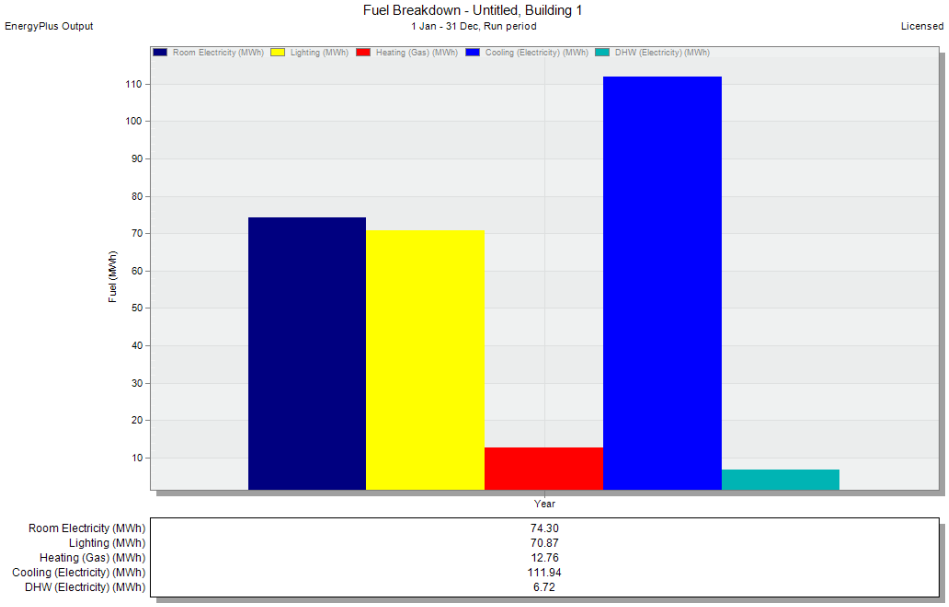
نتایج و یافته‌های سالیانه شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نشان می‌دهد که مقدار بار گرمایش و سرمایش سالانه برای مدل پایه در اقلیم گرم و خشک تهران، به ترتیب به میزان ۲۵۳۹۰ کیلووات ساعت و ۱۱۸۵۴۰ کیلووات ساعت و مجموعاً ۱۴۳۹۳۰ کیلووات ساعت شده است (شکل ۳).



شکل ۳. خروجی شبیه‌سازی مصرف سالانه انرژی ساختمان پایه- قبل از ارائه راهکارها (مآخذ: نگارندگان).

همچنین در یافته‌های تحقیق مشخص می‌گردد که در صورت ارائه راهکارهای کاهش بار حرارتی سالیانه مصرف انرژی، مقدار مجموع مصرف انرژی ساختمان از ۱۴۳۹۳۰ کیلووات ساعت در ساختمان پایهٔ واقعی (بدون ارائه راهکارهای کاهش بار حرارتی سالیانه) به ۱۲۴۷۰۰ کیلووات ساعت (در صورت ارائه این راهکارها) کاهش‌یافته که طبق جدول ذیل، موجب ۱۳/۳ درصد کاهش بار حرارتی سالیانه در ساختمان موردنظر می‌گردد (جدول ۲).

از یافته‌ها و نتایج مهم این تحقیق مشخص می‌گردد که طی شبیه‌سازی انجام‌شده، مقدار مجموع مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ساختمان در مدول پایه (با اجرای تنها یک دیوار سبز در نمای خارجی) ۳۷۷۷/۴۲ کیلووات ساعت گردیده است ولی (با اجرای هم‌زمان دو دیوار سبز داخلی و خارجی) به میزان ۳۶۶۰/۱۶ کیلووات ساعت شده است و درنتیجه موجب ۳/۱ درصد کاهش بار حرارتی سالیانه در زمان استفاده از دیوار سبز دولایه نسبت به قبل در ساختمان می‌گردد که این مطلب پاسخ مثبتی به پرسش این تحقیق است (شکل ۴) و (جدول ۲).



شکل ۴. خروجی شبیه‌سازی مصرف سالانه انرژی ساختمان پایه- بعد از ارائه راهکارها (مآخذ: نگارندگان).

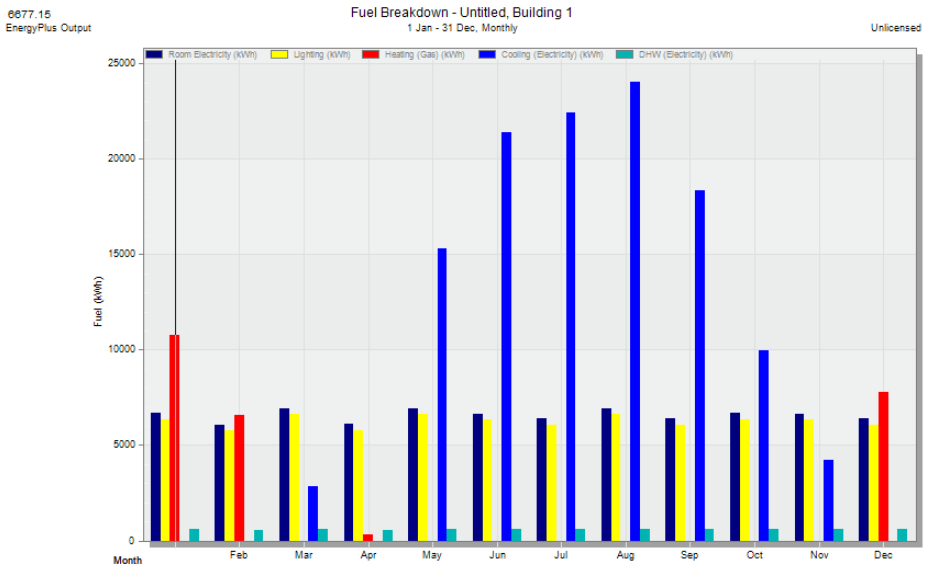
جدول ۲. مقایسهٔ بارهای حرارتی سالیانه سرمایش و گرمایش.

ردیف	عنوان	بار گرمایش	بار سرمایش	مجموع بار سرمایش و گرمایش
۱	ساختمان پایهٔ واقعی (قبل از راهکارهای کاهش بار حرارتی سالیانه)	۲۵۳۹۰	۱۱۸۵۴۰	۱۴۳۹۳۰
۲	ساختمان پایهٔ واقعی (بعد از راهکارهای کاهش بار حرارتی سالیانه)	۱۲۷۶۰	۱۱۱۹۴۰	۱۲۴۷۰۰
۳	درصد کاهش بار حرارتی سالیانه (با مقایسه ردیف ۱ و ۲)	-	-	۱۳/۳
۴	مدول پایه (قبل از ارائه راهکارها)	۱۹۱۱/۳۹	۲۵۰۰/۹۱	۴۴۱۲/۳
۵	مدول پایه (با اجرای یک دیوار سبز در نمای خارجی در فاصله مناسب)	۲۰۴۳/۶۲	۱۷۳۳.۸۰	۳۷۷۷/۴۲
۶	مدول پایه (با اجرای هم‌زمان دو دیوار سبز داخلی و خارجی در فاصله مناسب)	۱۷۲۷/۵۷	۱۹۳۲/۵۹	۳۶۶۰/۱۶
۷	درصد کاهش بار حرارتی سالیانه (با مقایسه ردیف ۵ و ۶)	-	-	۳/۱

بررسی نتایج و یافته‌های ماهیانه شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر نیز (در شکل ۵ و ۶) نشان می‌دهد که در فصل زمستان (از ۱ اکتبر تا ۳۱ مارس)، با استفاده از دیوارهای سبز دولایه در ساختمان نمونهٔ اداری

تجاری شهر تهران موجب شده است تا مقدار بار گرمایش از ۲۵۰۹۸ کیلووات ساعت در ساختمان پایه به ۱۲۵۲۸ کیلووات ساعت (بعد از ارائه راهکارها) کاهش یابد و تأثیر منفی بر افزایش بار گرمایش زمستانه داشته است که ازنظر مصرف انرژی در ساختمان مطلوب است؛ ولی بار سرمایش در مدل پایه از ۱۷۰۲۱ کیلووات ساعت به ۱۸۹۰۵ کیلووات ساعت (بعد از ارائه راهکارها) اندکی افزایش یافته است که موجب تأثیر مثبت بر افزایش بار سرمایش داشته است که مطلوب نیست و این امر می‌تواند به دلیل جلوگیری از خروج گرما توسط دیوار سبز بوده که مثل یک عایق عمل نموده است و موجب تحمیل افزایش بار سرمایشی در ساختمان شده است. همچنین در فصل تابستان نیز (از ۱ آوریل تا ۳۰ سپتامبر)، با استفاده از دیوارهای سبز دولایه در ساختمان نمونه موجب گردیده تا مقدار بار گرمایش از ۲۸۹ کیلووات ساعت در مدل پایه به ۲۲۷ کیلووات ساعت (بعد از ارائه راهکارها) کاهش‌یافته و مقدار بار سرمایش نیز از ۱۰۱۵۱۰ کیلووات ساعت به ۹۳۰۲۹ کیلووات ساعت کاهش یابد و درنتیجه در هر دو حالت موجب تأثیر منفی بر افزایش بار گرمایش و سرمایش شده است که ازنظر مصرف انرژی مطلوب است.

قابل ذکر است که برآیند کل این تأثیرات در ساختمان موجب می‌شود تا کاهش ایجادشده در بار سرمایشی بر افزایش ایجادشده در بار گرمایشی ساختمان غلبه کند و درمجموع باعث کاهش بار سالیانه و همچنین کاهش سالیانه هزینهٔ مصرف انرژی در ساختمان گردد که این موضوع برای کاهش هزینهٔ برق در ساختمان‌های اداری تجاری بسیار حائز اهمیت است و با توجه به دقت بالای اعتبارسنجی در این پژوهش (۵.۳ درصد)، قابلیت تعمیم به سایر ساختمان‌های اداری تجاری در اقلیم‌های گرم و خشک را دارد.



Room Electricity (kWh)	6677.15	6065.08	6941.45	6120.72	6941.45	6649.33	6412.84	6941.45	6385.02	6677.15	6649.33	6412.84
Lighting (kWh)	6362.75	5784.32	6651.96	5784.32	6651.96	6362.75	6073.53	6651.96	6073.53	6362.75	6362.75	6073.53
Heating (Gas) (kWh)	10744.76	6578.27	0.00	289.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7775.20
ooling (Electricity) (kWh)	0.00	0.00	2823.29	0.00	15298.78	21421.84	22425.27	24015.42	18352.61	9950.60	4247.85	0.00
DHW (Electricity) (kWh)	603.58	548.71	631.02	548.71	631.02	603.58	576.15	631.02	576.15	603.58	603.58	576.15

شکل ۵. خروجی شبیه‌سازی مصرف ماهیانه انرژی ساختمان پایه- قبل از ارائه راهکارها (مآخذ: نگارندگان).

Month		Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Room Electricity (kWh)	6516.97	5694.19	6020.69	6242.71	6516.97	5746.43	6516.97	6268.83	5994.57	6516.97	5994.57	6268.83
Lighting (kWh)	6245.19	5430.60	5702.13	5973.66	6245.19	5430.60	6245.19	5973.66	5702.13	6245.19	5702.13	5973.66
Heating (Gas) (kWh)	5357.04	3578.51	0.00	227.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3593.14
ooling (Electricity) (kWh)	0.00	0.00	3217.91	0.00	15320.05	18594.39	21011.71	21007.34	17095.98	10630.14	5057.64	0.00
DHW (Electricity) (kWh)	592.43	515.16	540.92	566.67	592.43	515.16	592.43	566.67	540.92	592.43	540.92	566.67

شکل ۶. خروجی شبیه‌سازی مصرف ماهیانه انرژی ساختمان پایه- بعد از ارائه راهکارها (مآخذ: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در این تحقیق، برای اولین بار نسبت به تحقیقات گذشته مشخص می‌گردد که در ساختمان اداری تجاری نمونه در اقلیم گرم و خشک شهر تهران، در صورت استفاده هم‌زمان از دو دیوار سبز داخلی و خارجی نسبت به یک دیوار سبز خارجی در جبهۀ غربی نمای ساختمان، شاهد ۱۳/۳ درصد کاهش بار حرارتی سالیانه نسبت به تحقیقات پژوهشگران قبل گردیده است که این مقدار گپ کاهش مصرف انرژی، تاکنون در هیچ تحقیقی در جهان در نظر گرفته نشده است و برای اولین بار در این پژوهش مطرح گردیده است و با توجه به دقت بالای اعتبارسنجی (۵.۳ درصد)، قابلیت تعمیم به سایر ساختمان‌های اداری تجاری در اقلیم‌های گرم و خشک را دارد. همچنین در یافته‌های تحقیق مشخص می‌گردد که در صورت استفاده از سیستم دیوار سبز دولایه در مدول پایه در اقلیم گرم و خشک تهران، موجب ۳/۱ درصد کاهش بار حرارتی سالیانه در ساختمان مذکور می‌گردد. همچنین جبهۀ جغرافیایی غرب به ترتیب با فواصل ۳۰ و ۲۰ سانتیمتر برای دیوارهای سبز خارجی و داخلی، عملکرد حرارتی مناسب‌تری دارد.

برای مطالعات آینده نیز پیشنهاد می‌گردد که تأثیر اجرای دیوار سبز دولایه در کاهش بار حرارتی سالیانه ساختمان در سایر اقلیم‌های ایران و جهان نیز مورد مطالعه و تحقیق قرار گیرد.

References

[1] Heydari, E., Mehdinezhad, J., & Doulabi, P. (2022). Strategic Principles of Designing the form of a Residential Building in Bushehr Based on Reducing Energy Consumption. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *18*(4), 345-361. https://doi.org/10.48301/kssa.2022.306864.1761

[2] Kong, J., Zhao, Y., Carmeliet, J., & Lei, C. (2021). Urban Heat Island and Its Interaction with Heatwaves: A Review of Studies on Mesoscale. *Sustainability*, *13*(19), 10923. https://doi.org/10.3390/su131910923

[3] Abass, F., Ismail, L., Wahab, I., & Elgadi, A. (2019, August 26-27). *A review of green roof: definition, history, evolution and functions.* 2nd Global Congress on Construction, Material and Structural Engineering, Melaka, Malaysia. http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012048

[4] Omidvar, K., Ali Zadeh Shuroki, Y., & Zareshahi, A. (2012). Determining The Desirability Yazd Schools Based On Bio-Climatic Parameters. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, *1*(1), 101-117. https://smb.yazd.ac.ir/article_60.html?lang=en

[5] Akbari, H., & Hosseini Nezhad, F. S. (2020). Optimization of the building orientation to receive solar radiation in hot-aridclimate (Case Studies: Isfahan, Semnan, Kerman and Yazd cities). *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, *7*(10), 251-267. https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.12408.1283

[6] Coma, J., Pérez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, *111*, 228-237. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014

[7] Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41*, 863-871. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203

[8] Kolyaei, M., Hamzenezhad, M., Bahrami, P., & Litkouhi, S. (2016, March 14). *Comparison of Different Types of Green Wall to Achieve Sustainability.* 2th international conference on modern research in civil engineering, architecture and urban development, Istanbul, Turkey. https://civilica.com/doc/509482/

[9] Xing, Q., Hao, X., Lin, Y., Tan, H., & Yang, K. (2019). Experimental investigation on the thermal performance of a vertical greening system with green roof in wet and cold climates during winter. *Energy and Buildings*, *183*(2), 105-117. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.038

[10] Yang, F., Yuan, F., Qian, F., Zhuang, Z., & Yao, J. (2018). Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, *39*, 43-51. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.049

[11] Feng, H., & Hewage, K. (2014). Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. *Energy and Buildings*, *75*, 281-289. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.039

[12] Blanco, I., Convertino, F., Schettini, E., & Vox, G. (2021). Energy analysis of a green façade in summer: an experimental test in Mediterranean climate conditions. *Energy and Buildings*, *245*, 111076. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111076

[13] Zargarian, S. M., & Tehrani Far, A. (2013, February 19). *Energy conservation with cover plants in the architecture of green walls and roof gardens.* Emerging Trends in Energy Conservation, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/222516/

[14] Rezaei, M., & Zabihi, H. (2015, November 26). *The effect of cover plants in urban landscape design and providing a solution for economic savings in the case of grass*. International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/449408/

[15] Abdullahzadeh, S. (2013). *Design and analysis of efficient and optimal atrium model in office buildings in Tehran* [Master, Payame Noor University of Tehran Province]. Tehran, Iran. https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/2ca7455feaaa70ea1a15bba88e6cec4c

[16] Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, *4*(1-2), 100119. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100119

[17] Polly, B., Kruis, N., & Roberts, D. (2011). *Assessing and Improving the Accuracy of Energy Analysis for Residential Buildings*. National Renewable Energy Laboratory. https://www.researchgate.net/publication/241970905_Assessing_and_Improving_the_Accuracy_of_Energy_Analysis_for_Residential_Buildings

[18] Tayari, N., & Nikpour, M. (2023). Investigating DesignBuilder Simulation Software's Validation in Term of Heat Gain through Field Measured Data of Adjacent Rooms of Courtyard House. *Iranica Journal of Energy & Environment*, *14*(1), 1-8. https://doi.org/10.5829/ijee.2023.14.01.01

[19] Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost, M. (2016). Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach. *Iranian Journal of Energy*, *18*(4), 115-132. http://necjournals.ir/article-1-803-en.html