Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 1 - Serial Number 19, Spring 2025 **Online ISSN: 2783-0764**

Journal Hompage https://www.srds.ir/

https://www.srds.ir/article_214007.html?lang=en

Evaluating the Impact of Vegetation Diversity in Extensive Green Roofs on Building Energy Consumption: A Case Study of Residential Buildings in Tabriz City[1]

Zeynab Faghihinia [1], Ahmad Hami [2*], Paria Saadatjoo [3]

[1.] Master of science, landscape Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[2.] Associate Professor, Department of landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[3.] Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received Date: 21 October 2024 **Accepted Date:** 23 January 2025

Abstract

Background and Objective: Due to climate change and the increasing global demand for energy, there is a growing need to reconsider energy consumption approaches and enhance efficiency. One of the proposed solutions in recent years is the implementation of green roofs, which have been shown to positively impact energy consumption in buildings by reducing heat transfer, providing shading, and controlling pollutants. The performance of green roofs is influenced by various factors, one of which is the type of vegetation used. This study aims to investigate the effect of different vegetation types on building energy consumption in cold climates.

Method and Materials: This research is a descriptive-analytical study. A one-story residential building in Tabriz was selected for the study, and three types of vegetation—Vinca, Frankenia, and Sedum—were chosen for the green roof. Energy simulations and evaluations of the building's thermal behavior were conducted using DesignBuilder 7.0.2.004 software.

Findings and Conclusion: The results indicated that the use of Vinca, Frankenia, and Sedum vegetation on the green roof reduced energy consumption by 4.2%, 3.9%, and 3.8%, respectively, compared to a building with a conventional roof. Among the tested species, Vinca proved to be the most effective green cover for extensive roof gardens in reducing building energy consumption. Green roofs in Tabriz's climate present a practical and sustainable solution for reducing energy consumption in cold and dry climates. The results confirm the positive impact of green roofs on building energy optimization in this climate.

Key words: Green roof, thermal performance, energy consumption, building, green cover,Tabriz city,eastern Azarbaejan Province.

[1] This article is extracted from the first author's MSc Dissertation Evaluation Impact of Various Greenery of Extensive Green Roof on Building Energy Consumption (Case Study: Residential Buildings in Tabriz).

[*] **Correspong Author Email**: hami@tabrizu.ac.ir

Cite this article: Faghihinia, Z., Hami, A. and Saadatjoo, P. (2025). Evaluating the Impact of Vegetation Diversity in Extensive Green Roofs on Building Energy Consumption: A Case Study of Residential Buildings in Tabriz City.Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(1), 100-118.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۹، بهار ۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_214007.html

ارزیابی تاثیر تنوع پوشش گیاهی در بام سبز گسترده بر مصرف انرژی ساختمان (نمونه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز)[1]

زینب فقیهی‌نیا[1]، احمد حامی*[2]، پریا سعادت‌جو[3]

۱-کارشناس ارشد، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استادیار، گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به تغییرات آب‌وهوایی و افزایش روزافزون مصرف انرژی در جهان، نیاز به تغییر رویکردها در مورد مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری از آن روز به روز بیشتر احساس می‌شود. یکی از راه‌حل‌های مطرح شده در سال‌های اخیر، استفاده از بام‌های سبز می‌باشد که به واسطه‌ی کاهش انتقال حرارت، سایه‌اندازی و کنترل آلاینده‌ها، اثرات مثبتی بر مصرف انرژی در ساختمان دارند. عملکرد بام‌های سبز تحت تاثیر عوامل و فاکتورهای مختلفی قرار دارد که یکی از آن‌ها نوع پوشش گیاهی است. هدف این پژوهش بررسی تاثیر انواع پوشش‌های گیاهی به کاررفته در بام سبز بر میزان مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد می‌باشد.

روش بررسی: این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه‌ی توصیفی-تحلیلی می‌باشد، که، پس از انتخاب یک ساختمان مسکونی یک طبقه در شهر تبریز سه نوع پوشش گیاهی وینکا، فرانکنیا و سدوم انتخاب و در ساختار بام‌سبز مدل انتخابی اعمال گردید. شبیه‌سازی‌های انرژی و ارزیابی رفتار حرارتی این ساختمان با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر (ورژن ۷)[1] انجام گرفت.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پوشش‌های گیاهی وینکا، فرانکنیا و سدوم در بام‌سبز ساختمان، به ترتیب مصرف انرژی را به میزان ۴,۲، ۳,۹ و ۳,۸درصد نسبت به ساختمان با بام بدون پوشش گیاهی کاهش می‌دهد. در مقالات مورد بررسی نیز تاثیر مثبت بام سبز در بهینه سازی انرژی ساختمان ثابت شده است. به‌نظر می رسد بهره‌گیری از بام سبز بطور اخص کاشت وینکا نسبت به سایر گونه های شبیه سازی شده در یک بام سز گسترده، به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها باشد. بام سبز در اقلیم شهر تبریز راه حلی عملی و پایدار برای مصرف انرژی در آب و هوای سرد و خشک است و می توان از مزایای بسیار آن در اقلیم این شهر بهره برد.

کلید واژه‌ها: بام سبز، عملکرد حرارتی، مصرف انرژی، ساختمان، پوشش گیاهی،شهر تبریز،آذربایجان شرقی.

---

[1] این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان (مطالعه موردی : تبریز)، نویسنده اول است.

* نویسنده مسئول hami@tabrizu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: فقیهی نیا, زینب , حامی, احمد و سعادت جو, پریا . (۱۴۰۴). ۷.ارزیابی تاثیر تنوع پوشش گیاهی در بام سبز گسترده بر مصرف انرژی ساختمان (نمونه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۱), ۱۰۰-۱۱۸.

[1] DesigneBuilder 7.0.2.004

مقدمه و بیان مسأله

یکی از دغدغه‌های کنونی جهان، رشد صنایع، تراکم شهرنشینی، افزایش مصرف انرژی و کاهش روزافزون ذخایر انرژی تجدیدناپذیر است. صنعت ساختمان یکی از اصلی‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی است که در حدود ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده است(Ibn-Mohammed et al,2013). در این میان ساختمانهای مسکونی با بیشترین فراوانی تقریبا نیمی از کل انرژی مصرفی سالانه‌ی کشورها را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به افزایش دمای زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، پیش‌بینی می‌شود که مصرف انرژی در بخش ساختمان از ۲۷۹۰ مگاپیکسل در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۴۴۰۰ مگاپیکسل تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد(G. Wright, 2011). از این‌رو کاربست تمهیدات درست در ساختمان به منظور مواجهه با تغییرات اقلیمی و نیاز روزافزون مصرف انرژی بسیار ضروری است. بام‌سبز به عنوان یکی از راهکارهای انرژی کارامدی ساختمان، با تاثیر مثبت بر محیط زیست، جذابیت معماری و زیبایی ساختمان‌ها را افزایش داده و منجر به بهبود عملکرد حرارتی آن‌ها می‌شود (S. De-Ville et al., 2018).

در واقع بام‌سبز یکی از رویکردهای نوین معماری و شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعه‌ی پایدار است که از آن می‌توان در جهت افزایش سرانه‌ی فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط‌زیست و توسعه‌ی پایدار شهری بهره برد. استفاده‌ی کاربردی از بام‌ها می‌تواند به‌عنوان امکان بهره‌برداری بهینه از زمین‌های شهری قلمداد شود(Cavadini et al., 2021). با توجه به این‌که رشد جمعیت جهان، کاهش منابع انرژی و همچنین افزایش آلایندگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی جامعه‌ی جهانی را به سمت استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر سوق داده است، از این‌رو گسترش استفاده از این نوع انرژی‌ها در رابطه با موضوع انرژی ساختمان‌ها در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است(Sadeghian et al., 2021). این پوشش‌ها ضمن کاهش تابش‌های مستقیم و پراکنده بر روی بام و ایجاد عایق‌بندی حرارتی، منجر به کاهش نوسانات دمای داخل ساختمان نیز می‌شوند(Gallardo, N.P et al., 2016).

رشد سریع صنایع، افزایش تراکم شهرنشینی، و وابستگی روزافزون به منابع انرژی، چالش‌هایی اساسی را در زمینه مدیریت پایدار انرژی در سطح جهانی ایجاد کرده‌اند .صنعت ساخت‌وساز به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در سطح جهانی، سهمی حدود ۴۰ درصد از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. این مسئله، اهمیت نقش این صنعت را در مصرف انرژی و تأثیرات آن بر محیط زیست برجسته می‌سازد. چنین تأثیر گسترده‌ای بر پایداری، نیازمند رویکردی جامع است که نه‌تنها بر کاهش مصرف انرژی در مراحل مختلف تمرکز داشته باشد، بلکه اصول و استراتژی‌هایی مبتنی بر چرخه زندگی را نیز در تمامی مراحل طراحی، ساخت و بهره‌برداری مورد توجه قرار دهد(Amit et al., 2024). در این میان بخش ساختمان سهمی معادل ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل تقاضای انرژی در یک جامعه را به خود اختصاص می‌دهد و ساختمان‌های مسکونی نقشی قابل توجه در این میزان مصرف ایفا می‌کنند. این امر تأثیر چشمگیر ساختمان‌های مسکونی بر مصرف انرژی ملی را برجسته کرده و اهمیت تدوین و اجرای استراتژی‌های بهره‌وری انرژی را آشکار می‌سازد. پرداختن به مصرف انرژی در این بخش، نقشی کلیدی در دستیابی به اهداف پایداری انرژی دارد (Nima et al., 2022). با این حال، عملکرحرارتی و میزان انرژی‌کارامدی این پوشش‌ها تحت تاثیر طیف وسیعی از متغیرها از جمله لایه‌بندی و جزئیات اجرایی، شرایط محیطی، نوع پوشش گیاهی و ... قرار دارد(Gallardo, N.P et al., 2016).

تنوع ساختاری و تکنولوژی نسبتا پیچیده به‌کاررفته در ساختار این سقف‌ها منجر به تغییر رفتار و نحوه عملکرد آن‌ها در اقلیم‌های مختلف می‌شود(Theodosiou, 2003 ; Zhao et al, 2014). بـه منظـور بهره‌برداری بهینه از مزایای حاصل از این نوع بام‌ها، ارزیابی نحوه عملکـرد آن‌هـا بـا توجـه بـه عوامـل داخلـی و خارجی و انتخاب ساختار، لایه‌بندی و پوشش گیاهی مناسب بسیار ضروری است. در همین راستا این پژوهش در پی آنست تا با شبیه سازی یک مدل ساختمانی با سیستم بام‌سبز گسترده و ارزیابی عملکرد حرارتی آن در قیاس با سایر مصالح متداول برای پوشش بام‌ها، میزان هدر رفت و همچنین میزان کاهش انرژی مصرفی را در یک فرم متداول ساختمان مسکونی در شهر تبریز، مورد قیاس و ارزیابی قرار دهد، تا بتواند در زمینه‌ی کاهش مصرف انرژی هرچند جزئی، قدمی بردارد. در ادامه به این سؤال پاسخ داده می‌شود که، نقش گونه های متنوع گیاهی، به عنوان یک راهبرد معمارانه، در صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان چگونه می‌باشد و کدام یک از گونه ها کارآیی بهتری دارند؟

پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در مورد طراحی بام سبز انجام گرفته که موضوعاتی نظیر کارکردهای مختلف اقتصادی، زیبایی شناختی، تفریحی و ... در سطح معماری و شهری را شامل می‌شوند. در این تحقیق به موضوعات مربوط به تأثیر بام سبز در بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان پرداخته می‌شود. ژوراس در مقاله خود با اشاره به جنبه‌های مثبت بام سبز در کاهش مصرف انرژی در زمستان، به بررسی عملکرد انواع ترکیبات تجربی بام‌های سبز و بر مبنای نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عملکرد یک دوره یک ماهه در فصل سرد پرداخته‌است. وجود بام سبز در بالای غشای ضد آب دمای غشاها را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. اگر دمای هوا کاهش یابد، دمای بام‌های سبز در این مدت تقریبا ثابت می‌ماند. دمای پوشش گیاهی بسیار بالاتر از دمای سطح سقف معمولی است. بام سبز باعث کاهش تلفات حرارتی سقف به عنوان عایق اضافی می‌شود و از سطح در برابر سرد شدن بیش از حد محافظت می‌کند. می‌توان بیان کرد که بام سبز نیز تأثیر مثبتی بر عملکرد حرارتی در فصل زمستان دارد(Juras, 2022). پژوهش انجام شده توسط ویرک و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که بام‌های سبز می‌توانند با کاهش حداکثر دمای هوا به میزان ۱ درجه سانتیگراد، مصرف سالانه انرژی ساختمان کاهش دهند(G. Virk et al., 2015).

کوما و همکاران(۲۰۱۶) رفتار حرارتی و مصرف انرژی در بام‌های سبز گسترده را با مدل‌سازی سه اتاقک یکسان با سیستم‌های سقف متفاوت در آب‌وهوای مدیترانه‌ای اسپانیا، مورد بررسی قرار دادند. سقف یک اتاقک، دارای مصالح معمول منطقه به عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. در حالیکه در دو اتاقک دیگر، لایه‌ی عایق، توسط یک بام سبز گسترده به ضخامت ۹سانتی‌متر (شامل خرده لاستیک بازیافتی و پوزولان به عنوان لایه‌ی زهکش) جایگزین شده است. دو اتاقک دارای بام سبز مصرف انرژی کمتری (به ترتیب ۱۶/۷٪و۲/۲٪) نسبت به حالت پایه در دوره گرما نشان می‌دهند، در حالی‌که در هر دو سیستم مصرف انرژی بیشتری (به ترتیب ۶/۱ ٪و ۱/۱۱٪) نسبت به حالت پایه در طول دوره‌ی سرما دیده می‌شود(Coma, 2016).

زیوگو و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی پلاس به این نتیجه رسیدند که بام‌های سبز در مقایسه با ساختمان‌های دارای سقف‌های معمولی، مزایای قابل توجهی از نظر انرژی و زیست محیطی ایجاد می‌کنند و انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش را کاهش می‌دهند(Ziogou et al., 2018).

محمودی زرندی و پاکاری در مقاله‌ای به طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان پرداختند. طبق این پژوهش، اتلاف حرارت از طریق بام زیاد است و مصرف انرژی در واحدهای طبقه آخر افزایش می یابد. بام سبز با افزایش لایه‌های بام مانند یک عایق حرارتی عمل می کند و تبادل گرما بین فضای داخل و بیرون ساختمان را کنترل نموده و موجب کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. به همین دلیل استفاده از آن ضروری به نظر می‌رسد(محمودی، ۱۳۹۲).

کاراچالیو و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله ای به نام "تجزیه و تحلیل تجربی و عددی عملکرد انرژی یک سیستم سقف سبز فشرده در مقیاس بزرگ، نصب شده بر روی یک ساختما ن اداری در آتن" عملکرد انرژی یک سیستم بام سبز و سهم آن در کاهش شهری پدیده جزیره گرمایی را مورد مطالعه قرار دادند. دما و رطوبت سایت در دوره سرد سال اندازه‌گیری شد. این ساختمان نیز با استفاده از از نرم‌افزار انرژی پلاس شبیه‌سازی شد و محاسبه گردید که دمای هوای داخل ساختمان در یک روز تابستانی به ۱/۱ کلوین و در یک روز زمستانی به ۰/۷ کلوین کاهش می‌یابد. در نهایت، در طول یک سال ۱۵/۱ درصد صرفه جویی انرژی در ساختمان‌ها صورت می‌گیرد(Karachaliou et al., 2016).

ران و همکارانش در پژوهشی در سال ۲۰۱۷ به بررسی تاثیر ترکیبی بام سبز و تهویه متناوب بر سرمایش داخلی ساختمان و مصرف انرژی در ساختمان پرداختند که این کار به صورت تجربی در شانگهای و همین‌طور به صورت مدل‌سازی توسط نرم افزار دیزاین بیلدر به منظور انجام صحت‌سنجی به انجام رسید، نتایج نشان می‌دهد که در تمام شهرهای مورد مطالعه در پنج منطقه اقلیمی، بام‌های سبز گسترده، کارآمدتر از سقف‌های عایق حرارتی معمولی هستند و میزان صرفه‌جویی انرژی در بام‌های سبز بین ۱ تا ۲۶,۴ درصد است .J). Ran et al., 2020)

ران و همکاران(۲۰۱۸) در تحقیقی دیگری به مطالعه تأثیر عملکرد حرارتی سه سیستم مختلف بام سبز، تهویه شبانه و دیوارهای عایق به طور همزمان بر میزان مصرف انرژی ساختمان ها پرداختند. نتایج پژوهش ذکر شده حاکی از آن است که سیستم‌های بام سبز و تهویه شبانه دو سیستم مؤثر جهت جلوگیری هر چه بیشتر از هدر رفت انرژی در ساختمان‌ها می‌باشند(J. Ran et al., 2018). الگرانی به بررسی عملکرد حرارتی بام‌های سرد ساختمان‌های مسکونی در نقاط اقلیمی متفاوت عربستان پرداخته‌است. بر اساس نتایج این پژوهش، بام‌های سبز میزان مصرف انرژی سالانه‌ی ساختمان‌ها را تا مقدار ۱۱۰/۳-۱۸۱/۸۹ کیلو وات ساعت بر متر مربع کاهش می دهد. این تحقیق ثابت نمود که استفاده از فناوری سقف خنک منفعل یک روش مؤثر برای بهبود عملکرد حرارتی بام و در نتیجه کاهش مصرف انرژی ساختمان در آب و هوای سخت عربستان سعودی و اقلیم‌های افراطی مشابه است(Algarni, 2019).

جدول ۱: بررسی منابع و پیشینه تحقیق

نویسنده/ سال	روش تحقیق	روش مطالعه	اقلیم	نتایج
Sanaa et al ۲۰۲۳	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	تجربی در ساختمان مدارس و شبیه‌سازی عددی	نوار غزه	سقف سبز با عایق حرارتی بهترین عملکرد را ارائه می‌دهد LAI .بالاتر باعث حداکثر صرفه‌جویی نرژی در فصل گرم می‌شود
Ayman et al ۲۰۲۰	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	شبیه‌سازی و تحلیل هزینه	مصر	سقف‌های سبز می‌توانند تقاضای انرژی برای سرمایش را تا ۳۹,۷۴ درصد کاهش دهند.
Elham et al 2019	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	شبیه‌سازی رفتار حرارتی	چهار منطقه اقلیمی	سقف‌های سبز باعث کاهش انتقال حرارت در اقلیم‌های مختلف می‌شوند. بهترین عملکرد در رشت طی ماه‌های فروردین و تیر مشاهده شد.
Bhagyesh et al 2018	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	تحلیل و بهینه‌سازی طراحی معماری		شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها و اصلاح طراحی معماری برای کاهش مصرف انرژی، به‌ویژه در ساختمان‌های تجاری.
Basil et al 2012	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	شبیه‌سازی حرارتی دقیق	قاهره	سقف‌های سبز ۱۵ تا ۳۲ درصد صرفه‌جویی انرژی نسبت به سقف‌های سنتی دارند. نسبت ابعاد ساختمان بر صرفه‌جویی تأثیرگذار است.
Nursat et al 2023	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	شبیه‌سازی در مناطق اقلیمی مختلف	۴۵ شهر در مناطق مختلف اقلیمی	سقف‌های سبز بار سرمایشی را کاهش و مصرف انرژی گرمایشی را افزایش می‌دهند. بهترین عملکرد در مناطق خشک با صرفه‌جویی ۳,۲٪ تا ۹,۱٪
Asmaa et al ۲۰۲۳	شبیه سازی با دیزاین بیلدر	شبیه‌سازی موارد موجود و پیشنهادی	جبیل (عربستان سعودی)	سقف‌های سبز مصرف کل انرژی را حداقل ۸,۸٪ کاهش می‌دهند. بهبود عایق و کاهش رواناب آب باران از مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی آن‌هاست
Jiandong et al ۲۰۲۰	شبیه سازی با دیزاین بیلدر و انرژی پلاس	بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی	مناطق مختلف آب و هوایی چین	سقف‌های سبز گسترده در مقایسه با سقف‌های عایق حرارتی معمولی صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی دارند. صرفه‌جویی انرژی با تابش خورشیدی سالانه و عایق سقف مرتبط است.
Juras 2022	-	اندازه‌گیری دمای غشاها و تحلیل تجربی در محیط واقعی		بام سبز دمای غشا را افزایش داده، دمای پوشش گیاهی بالاتر از سقف معمولی است و باعث کاهش تلفات حرارتی می‌شود.

Ziogou et al ۲۰۱۸	شبیه سازی با انرژی پلاس	استفاده از نرم‌افزار EnergyPlus برای تحلیل مصرف انرژی و تأثیر بام سبز		بام‌های سبز بهبود انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌کنند.
Ghalehnovi et al ۲۰۲۱	-	بررسی تجربی ساختمان با و بدون بام سبز و مقایسه بار سرمایشی و گرمایشی	مشهد (ایران)	بام سبز باعث کاهش ۱۱٪ بار سرمایشی در تابستان و ۱۹٪ نیاز گرمایشی در زمستان می‌شود.
Coma et al ۲۰۱۶	مدل‌سازی	ساخت سه اتاقک آزمایشی با بام‌های مختلف و اندازه‌گیری مصرف انرژی	اسپانیا (آب‌وهوای مدیترانه‌ای)	بام سبز باعث کاهش مصرف انرژی در دوره گرم و افزایش مصرف انرژی در دوره سرد می‌شود.
Ali Akbarzadeh & Faiz Menesh ۲۰۱۸		مقایسه اثر انواع بام‌ها بر دمای محیط و جزایر حرارتی	اردبیل (ایران)	بام سبز گسترده به کاهش جزایر حرارتی در اقلیم سردسیر کمک می‌کند.

در پژوهشی که توسط یانگ و همکاران(۲۰۲۰) بر بام سبز در شانگهای چین انجام شد، نتایج پژوهش یادش ده نشان داد بام سبز تاثیر خنک کنندگی تا۲/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد در سطح بیرونی سقف در تابستان می‌شود(Yang et al.,2020). با استناد به پیشینه پژوهش می‌توان اذعان نمود که تاکنون پژوهش‌های متعددی ویژگی‌های بام سبز از نظر رفتار حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان‌ها و برخی از مزایای بی‌شمار زیست‌محیطی و اقتصادی بام سبز را مورد بررسی قرار داده‌اند. اما بسیاری از ابعاد هنوز به خوبی شناخته نشده‌اند و مطالعات بیشتر روی این موضوع ضروری به نظر می‌رسد. بررسی تأثیر پوشش‌های گیاهی بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در شهرهای ایران، موضوعی است که هنوز آزموده نشده و نیاز به بررسی دارد. هدف این پژوهش آنست که با تمرکز بر این مقوله و مقایسه عملکرد حرارتی بام‌های سبز با پوشش‌های گیاهی متفاوت، خلا پژوهشی این حیطه را تا حدی پوشش دهد.

روش پژوهش

این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه‌ی توصیفی-تحلیلی می‌باشد. مطالعه حاضر به مقایسه عملکرد حرارتی یک بام معمولی و بام سبز و همین‌طور بام‌های سبز با پوشش‌های گیاهی مختلف می‌پردازد. در این راستا، ابتدا تحقیقات کتابخانه‌ای در رابطه با موضوع بام سبز و نقش آن در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان صورت گرفت. با توجه به شرایط اقلیمی حاکم در شهر تبریز و خشکی هوا، اختلاف قابل‌ملاحظه‌ی دما در تابستان و زمستان و عدم آسایش حرارتی در بخش عمده‌ای از سال، از مهم‌ترین مشکلات این منطقه به شمار می‌آید که نتیجه آن افزایش قابل‌ملاحظه‌ی میزان مصرف انرژی سالانه در بخش ساختمان و به‌ویژه ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. این پژوهش با هدف کاهش مصرف انرژی، تعدیل شرایط حرارتی داخلی و افزایش آسایش حرارتی در ساختمان در شرایط آب‌وهوایی کنونی، استراتژی بام سبز را با سه گیاه وینکا، فرانکنیا و سدوم بر روی مدل واقعی اعمال و میزان تغییرات حرارتی و مصرف انرژی آن را مورد بررسی قرار می‌دهد. به همین منظور، پلان خانه مسکونی یک طبقه در شهر تبریز به عنوان الگوی مورد مطالعه مورد شبیه‌سازی انرژی قرار گرفت. ضمن آنکه بنظر نمی رسد تنوع پلانها تغییری در کارکرد گونه ها در ذخیره انرژی داشته باشد. البته در مجتمع های مسکونی قضیه فرق خواهد کرد که مطالعات آینده میتوانند این تحقیق را در برجها و مجتمع های دارای طبقات زیاد انجام دهند. برای محاسبه میزان مصرف انرژی گرمایش و سرمایش سالیانه از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای بهره‌گیری شد و با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی به تاثیر استفاده از بام سبز در مصرف انرژی در شهر تبریز پی بردیم. برنامه شبیه‌ساز انرژی در این پژوهش، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان، معماری ساختمان، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته است و قابلیت مدل‌سازی همه جنبه‌های

ساختمان را دارد. به جز مدل‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌نماید. این نرم‌افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز را دارد. نرم‌افزار مدل‌سازی دیزاین‌بیلدر با استفاده از فایل اقلیمی شهرهای مختلف ایران، محاسبات دریافت و اتلاف و مصرف انرژی را دقیقا بر اساس شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان انجام می‌دهد. همچنین بار سرمایشی و گرمایشی را بر اساس استاندارد اشری[1]، با استفاده از موازنه حرارتی که در انرژی پلاس مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه می‌نماید. تمامی متغیرهای پیش‌فرض از جمله مصالح دیوارها و پنجره‌ها، تعداد نفرات، سیستم سرمایش و گرمایش و ... به‌طور کامل برای نرم‌افزار تعریف می‌شوند. برای کاهش تأثیر سایر عوامل در روند تحلیل، تمامی شرایط حاکم از قبیل ضرایب انتقال حرارتی اجزای پوسته فرض گردید.

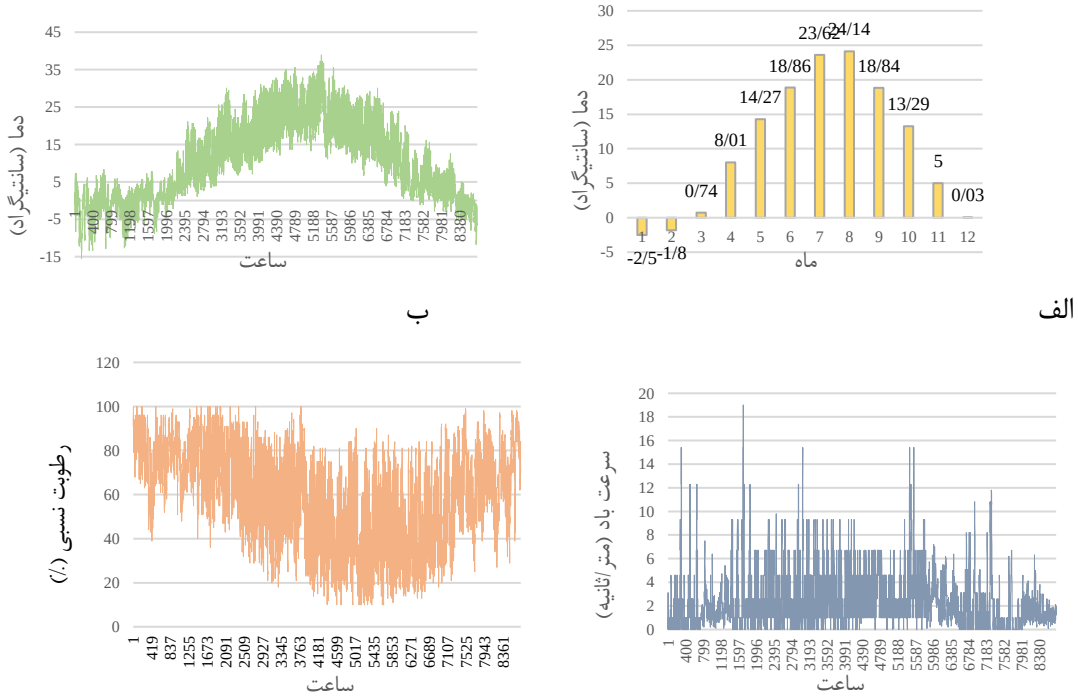
بررسی مشخصات جغرافیایی و وضعیت آب‌وهوایی منطقه

تبریز با مساحت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع بعد از تهران و مشهد سومین شهر بزرگ ایران محسوب می‌شود که موقعیت جغرافیایی آن مابین کوه‌های عینالی و سهند و محدوده‌ی رودهای آجی و قوری قرار گرفته است(*Fazelpour et al.,2015*). این شهر با مختصات جغرافیایی *(38°01′ N, 46°22′ E)* در ارتفاع ۱۳۶۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است(*Sharafkhani et al., 2019*). بادهای غالب در این شهر عموما از شرق به غرب در فصل تابستان است(*Fazelpour et al.,2015*). طبق اطلاعات آب و هوایی ده ساله، میانگین رطوبت نسبی سالانه در این شهر ۶۰٫۵۱٪، دمای هوا ۱۰٫۰۵ درجه سانتیگراد و سرعت باد ۲٫۲ متر بر ثانیه می‌باشد. متوسط دمای ماهانه در سردترین ماه سال ۲٫۵- و در گرمترین ماه سال ۲۴٫۱۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. ماکزیمم دمای هوا در طول سال ۳۸٫۸ و مینیمم مقدار آن ۱۴٫۴- می‌باشد. بررسی داده‌های اقلیمی در این شهر حاکی از آنست که ماکزیمم مقدار سرعت باد تا ۱۹ متر بر ثانیه نیز افزایش می‌یابد(شکل ۱).

معرفی محدوده موردمطالعه

تبریز با مساحت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع بعد از تهران و مشهد سومین شهر بزرگ ایران محسوب می‌شود که موقعیت جغرافیایی آن مابین کوه‌های عینالی و سهند و محدوده‌ی رودهای آجی و قوری قرار گرفته است(Fazelpour et al.,2015). این شهر با مختصات جغرافیایی (38°01′ N, 46°22′ E) در ارتفاع ۱۳۶۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است(Sharafkhani et al., 2019). بادهای غالب در این شهر عموما از شرق به غرب در فصل تابستان است(Fazelpour et al.,2015). طبق اطلاعات آب و هوایی ده ساله، میانگین رطوبت نسبی سالانه در این شهر ۶۰٫۵۱٪، دمای هوا ۱۰٫۰۵ درجه سانتیگراد و سرعت باد ۲٫۲ متر بر ثانیه می‌باشد. متوسط دمای ماهانه در سردترین ماه سال ۲٫۵- و در گرمترین ماه سال ۲۴٫۱۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. ماکزیمم دمای هوا در طول سال ۳۸٫۸ و مینیمم مقدار آن ۱۴٫۴- می‌باشد. بررسی داده‌های اقلیمی در این شهر حاکی از آنست که ماکزیمم مقدار سرعت باد تا ۱۹ متر بر ثانیه نیز افزایش می‌یابد(شکل ۱).

[1] ASHRAE

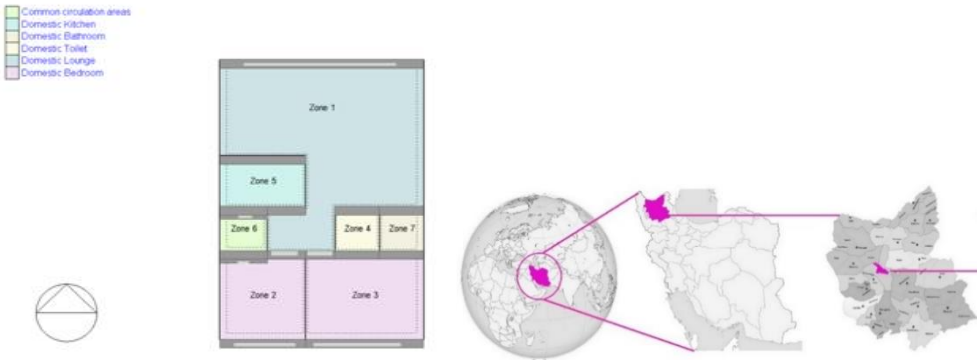


شکل۱: نمودارهای اقلیمی شهر تبریز: الف) متوسط دمای ماهانه، ب) دمای هوای ساعتی، ج) رطوبت نسبی ساعتی، د) سرعت باد ساعتی.

مدل شبیه‌سازی شده

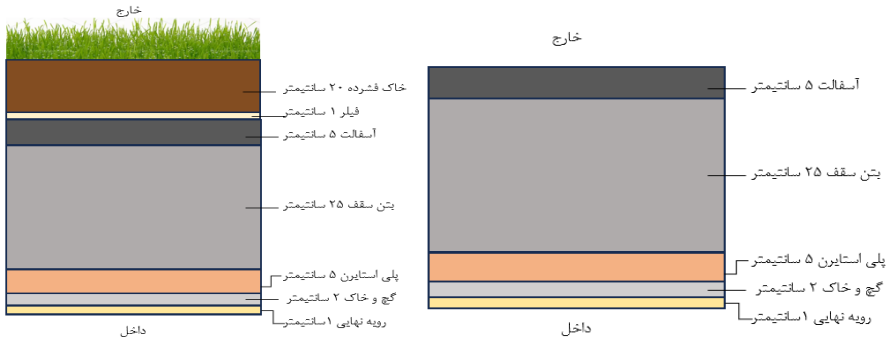
مدل مورد مطالعه در این پژوهش ساختمان یک طبقه و دوخوابه با مساحت ۸۸ متر مربع در شهر تبریز می‌باشد که تعداد ساکنین آن ۴ نفر در نظر گرفته شده است. کاربری این بنا مسکونی است و منابع گرمایشی داخل ساختمان همانند یک ساختمان مسکونی استاندارد (کامپیوتر، چراغ‌ها، لوازم پخت و پز و تعدادی وسیله الکتریکی) در نظر گرفته شده است. انتخاب لایه‌های تشکیل‌دهنده جداره‌های مختلف پوسته ساختمان بر مبنای ضرایب هدایت حرارتی پیشنهادی برای ساختمانهای مسکونی شهر تبریز طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان صورت گرفته است. پنجره‌ها به‌صورت دو جداره، در ضلع شمالی و جنوبی ساختمان و در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین قرار دارند. براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی، گونه‌بندی کاربری ساختمان از نوع الف، گونه‌بندی شهر محل استقرار شهر بزرگ، و گونه‌بندی نیاز سالانه انرژی، زیاد و نیاز غالب حرارتی گرمایش بوده و گروه ساختمان از نظر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، گروه ۱ است(مبحث ۱۹مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۹۹).

جزئیات لایه‌های مختلف سقف برای ساختمان‌های مورد نظر در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. ضرایب هدایت حرارت سقف توسط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر محاسبه و در جداول ۱ و۲ ارایه شده است. انطباق این داده‌ها با استانداردهای پیشنهادی مبحث ۱۹ مقررات ملی حاکی از درستی انتخاب مصالح و جزئیات در مدل‌های مورد نظر است. بازه زمانی مورد مطالعه در این شبیه‌سازی به مدت یک سال در چهار فصل مختلف در نظر گرفته شد. تحلیل نتایج به صورت ماهانه و دقت شبیه‌سازی در هر روز از ماه در فاصله زمانی هر ۲۰ دقیقه یک بار صورت گرفت. بسته داده‌های آب و هوایی مورد استفاده به عنوان یک فایل با فرمت EPW به عنوان فایل مکان در Design Builder(V.7.02.004) وارد شد. این مدل در مجموع از ۶ زون حرارتی تشکیل یافته‌است که در این میان، همه‌ی زون‌ها به‌غیراز زون ۶ که راه‌پله می‌باشد زون حرارتی کنترل‌شده تعریف شده‌اند (شکل۲).



شکل۲: منطقه مورد مطالعه و زون‌های حرارتی

در مدل مورد مطالعه، سقف ساختمان مسطح فرض شده و تمامی لایه‌های تشکیل‌دهنده به همراه مشخصات ترموفیزیکی آنهابه‌طور کامل برای نرم‌افزار شبیه‌ساز معرفی گردید، تا بتوان ارزیابی صحیحی از مصرف انرژی در ساختمان انجام داد. برای تعریف مشخصات پوسته بام ساختمان، از مصالح معمول در ایران و به خصوص اقلیم سرد و خشک استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات و لایه‌بندی مربوط به بام معمولی و در جدول ۲ مشخصات و لایه‌بندی مربوط به بام سبز همراه با ضخامت هر لایه ذکر شده است. لازم به ذکر است، با توجه به اینکه جزئیات لایه‌های بام سبز، از جمله زهکش و صافی و .. در انتقال حرارت نقش چندانی ندارند کلیه لایه‌ها را به صورت یک لایه خاک به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم.



شکل۳: جزئیات و لایه‌های تشکیل‌دهنده : الف) بام معمولی، ب) بام سبز

بررسی روایایی و پایایی روش تحقیق

برای اطمینان از روایی تحقیق، نرم‌افزار دیزاین بیلدر به‌عنوان یکی از ابزارهای معتبر و استاندارد در مدل‌سازی انرژی ساختمان انتخاب شده است. این نرم‌افزار در مطالعات علمی متعددی تأیید شده و نتایج آن مورد اعتماد است. در مطالعه‌ای توسط طیاری و نیک‌پور (۲۰۲۳)، تفاوت بین نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین بیلدر و اندازه‌گیری‌های تجربی انتقال حرارت در یک خانه حیاط‌دار سنتی کمتر از ۱۰ درصد بود. این مطالعه نتیجه‌گیری کرد که دیزاین بیلدر از اعتبار کافی برای محاسبه انتقال حرارت در فضاهای مجاور حیاط برخوردار است. به‌طور مشابه، در تحقیق ابا و همکاران (۲۰۲۲)، دقت نرم‌افزار دیزاین بیلدر در شبیه‌سازی دمای هوای داخلی در ساختمان‌های آموزشی بررسی و تایید شد. در این پژوهش، دماهای شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مقایسه شدند و انحراف نسبی تنها ۲٫۳۹٪ و ۱٫۲۵٪ در دو روز آزمایش گزارش شد. همبستگی بین دماهای شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیز بسیار بالا بود (با R^2 برابر با ۹۹٪ و ۷۵٪) که با معیارهای توصیه‌شده برای اعتبارسنجی تطابق داشت . این مطالعات شواهد قوی در

حمایت از اعتبار نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای شبیه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان‌ها در زمینه‌های مختلف ارائه می‌دهند. توافق نزدیک بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، با انحرافات معمولاً کمتر از ۱۰ درصد، نشان می‌دهد که این نرم‌افزار می‌تواند به‌طور قابل اعتمادی پارامترهای کلیدی حرارتی مانند انتقال حرارت و دمای داخلی را پیش‌بینی کند. در این پژوهش، داده‌های ورودی شامل مشخصات ساختمان، شرایط اقلیمی، و ویژگی‌های پوشش‌های گیاهی از منابع معتبر و قابل اعتماد استخراج شده‌اند. همچنین تنظیمات مدل‌سازی در نرم‌افزار به دقت کالیبره شده‌اند تا سناریوهای واقعی را به‌درستی شبیه‌سازی کنند. برای اطمینان از پایایی تحقیق، مراحل مدل‌سازی و تحلیل به‌طور کامل مستندسازی شده و فرآیند تحقیق به‌گونه‌ای طراحی شده است که توسط سایر پژوهشگران قابل تکرار باشد. علاوه بر این، یافته‌های تحقیق با نتایج مطالعات پیشین در این حوزه مقایسه شده و تطابق و هماهنگی آن‌ها پایایی نتایج را تقویت می‌کند.

انتخاب گیاه مناسب بام سبز در شهر تبریز

از آنجایی که ایران دارای چهار منطقه اقلیم مرکزی به نام‌های معتدل و مرطوب، گرم و خشک، سرد کوهستانی و گرم و مرطوب است. گیاهانی که در هر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای ویژگی های لازم برای بقا در شرایط خاص منطقه باشند. از آنجایی که آب و هوای منطقه مورد مطالعه سردوخشک است، اولویت اصلی برای انتخاب گیاه، نیاز به نور خورشید و تحمل سرما است. گیاهان مورد استفاده در این اقلیم باید مقاومت بالایی در برابر زمستان های سرد داشته باشند. گیاهان باید در برابر تنش آبی به خصوص در تابستان مقاومت بالایی داشته باشند. هر سه معیار ذکر شده، برای گیاهانی که در بام سبز استفاده می‌شوند بسیار مهم هستند و انتخاب نهایی باید هر سه ویژگی را با هم داشته باشد. با این حال، این بدان معنا نیست که این معیارها به یک اندازه مهم هستند، زیرا نمی‌توان از گیاهی با تحمل نسبتاً کم نور خورشید در بام سبز استفاده کرد هر چقدر هم که از نظر نیاز آبی خوب باشد. بنابراین، تحمل نور خورشید بر نیاز آبی اولویت دارد. به طور کلی، می‌توان استدلال کرد که تحمل سرما بر نیاز به آب اولویت دارد اما بر نیاز به نور خورشید اولویت ندارد. از این‌رو باتوجه به مطالب فوق، از جمله گیاهان مناسب برای بام سبز در تبریز و به دلیل نرخ بالای فتوسنتز، در دسترس بودن بالا و هزینه کم، گیاهان وینکا[1]، فرانکنیا[2] و سدوم[3] به عنوان سه گزینه برتر انتخاب شدند. در ادامه روند شبیه‌سازی، با وارد کردن ویژگی‌های گیاهان انتخابی (وینکا، فرانکنیا، سدوم) مطابق با جدول ۴ در نرم‌افزار به بررسی مدل بام سبز پرداختیم.

وینکا

وینکا گیاهی است درختچه‌ای، چند ساله که البته در مناطق سردسیر به صورت یک ساله کشت می‌شود و از خانواده آپوکیناسه[4]است(Dobelis, 1989). گونه مورد مطالعه در این پژوهش وینکا ماژور[5] می‌باشد. پروانش ازجمله گیاهان زینتی مهم است که در طراحی فضای سبز جهت کشت در باغچه‌های خانگی کاربرد فراوانی دارد. همچنین این گیاه در طب سنتی و جدید و در تهیه دارو در داروسازی اهمیت بسزایی دارد(Khalighi, 1996). این گیاه در طول رویش به نور کافی و مکان آفتابی نیاز دارد و باید چند ساعت در روز در نور مستقیم خورشید قرارگیرد، اما نور نباید بسیار شدید باشد. وجود نور مستقیم آفتاب حداقل به مدت ۶ ساعت بخصوص زمانیکه دما نیز در حد معتدل و مناسب باشد، منجر به گلدهی فراوان این گیاه خواهد شد. اما در روزهای گرم تابستان که دمای هوا بسیارگرم می‌شود، مکان نیمه سایه، مناسب است(Tehrani, 2014). این گیاه نه تنها به خشکی خاک مقاوم است، بلکه مرطوب بودن همیشگی بستر کاشت و میزان آبیاری بیش از اندازه آنان در ابتدا موجب کاهش گلدهی و ریزش گل‌ها و برگ‌ها و در نهایت موجب افزایش پوسیدگی ساقه‌ها و از بین رفتن آن خوهد شد(Alipor et al., 2017).

[1] Vinca major
[2] Frankenia thymifolia
[3] Sedum acre
[4] Apocynaceae
[5] Vinca major

فرانکنیا

فرانکنیا متعلق به خانواده فرانکنیاسه است. گونه مورد مطالعه در این پژوهش فرانکنیا تیموفلیا[1] می‌باشد. این گیاه نیاز به نور دارد. در اغلب خاک‌ها قادر به رشد است و خاک‌های خشک و شور را تحمل می‌کند و می‌تواند به عنوان گیاه پوششی در نقاط داغ و آفتابی باغ های صخره‌ای به کار رود. این گیاه وقتی مستقر شد به آبیاری نیاز ندارد. گونه‌های اروپایی تا حدودی سرما را تحمل می‌کنند باید توجه داشت که کنترل علف هرز داخل زمین پوشیده از فرانکنیا مشکل است. بنابراین قبل از کاشت باید زمین از هرگونه علف هرز و به‌ویژه انواع پهن‌برگ، پاک‌سازی شود(قاسمی قهساره و کافی،۱۳۹۱).

سدوم

جنس سدوم متعلق به خانواده کراسولاسه می‌باشد و گونه‌های زیادی دارد که از لحاظ اندازه، برگساره ، شکل و رنگ بسیار متنوع هستند. گونه مورد مطالعه در این پژوهش سدوم آکر[2] می‌باشد. این گیاه می‌تواند برای پر کردن فضای خالی بین سنگ‌فرش‌ها و در میان صخره‌ها و یا پوشاندن سطوح به کار رود. این گیاه آفتاب‌دوست است(قاسمی قهساره و کافی،۱۳۹۱). در خاک‌های ضعیف و با رطوبت کم، حتی در سایه هم به خوبی رشد می‌کند. به وسیله تقسیم بوته و یا تهیه قلمه نیز تکثیر می‌شوند(شریف،۱۳۷۲).

جدول۲: مصالح و مشخصات لایه های بام معمولی

لایه‌ها	ضخامت (mm)	ضریب هدایت حرارتی (W/m K)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی (J/kg K)
آسفالت(Asphalt)	۵۰	۰/۷	۲۱۰۰	۱۰۰۰
دال بتنی هوادهی(Aerated Concrete Slab)	۲۵۰	۰/۱۶	۵۰۰	۸۴۰
پلی استایرن اکسترود شده XPS (XPS Extruded Polystyrene)	۵۰	۰/۳۴	۳۵	۱۴۰۰
ملات / گچ / بتن (concrete/ plaster/ mortar)	۳۰	۰/۷۲	۱۸۶۰	۸۴۰
گچ سبک(plaster lightweight)	۱۰	۰/۱۶	۶۰۰	۱۰۰۰

جدول ۳: مصالح و مشخصات لایه های بام سبز

لایه‌ها	ضخامت (mm)	ضریب هدایت حرارتی (W/m K)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی (J/kg K)
خاک(Soil)	۲۰	۰/۵	۱۱۰۰	۲۰۰۰
آسفالت(Asphalt)	۵۰	۰/۷	۲۱۰۰	۱۰۰۰
دال بتنی هوادهی(Aerated Concrete Slab)	۲۵۰	۰/۱۶	۵۰۰	۸۴۰
پلی استایرن اکسترود شده XPS (XPS Extruded Polystyrene)	۵۰	۰/۰۳۴	۳۵	۱۴۰۰
ملات / گچ / بتن (concrete/ plaster/ mortar)	۳۰	۰/۷۲	۱۸۶۰	۸۴۰
گچ سبک (plaster lightweight)	۱۰	۰/۱۶	۶۰۰	۱۰۰۰

[1] Frankenia thymifolia
[2] Sedum acre

جدول۴: پارامترهای گیاهان پیش‌فرض شده در بام سبز.(Feng et al., 2020)

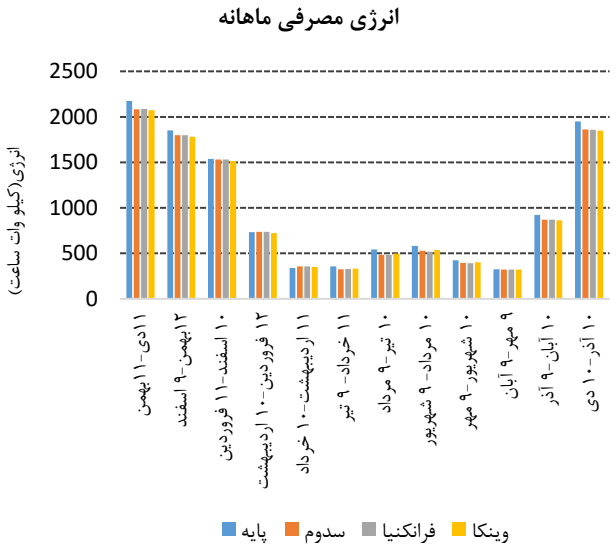
	[1]وینکا	[2]فرانکنیا	[3]سدوم
ارتفاع گیاه(m)	۰/۲	۰/۱۵	۰/۳
شاخص سطح برگ(LAI)	۲/۷	۳/۶	۳
ضریب بازتاب برگ	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۲
ضریب نشر برگ	۰/۸	۰/۸۳	۰/۹۵
حداقل مقاومت روزنه(s/m)	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰
حداکثر رطوبت حجمی	۰/۵	۰/۵	۰/۵
رطوبت حجمی اولیه	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱

از آن جایی که بام مورد نظر در این تحقیق از نوع گسترده می باشد. این نوع بامها دارای عمق کاشت حداکثر ۲۰ سانتی متری می باشند بنابراین درخت و درختچه را با توجه به داشتن عمق ریشه زیاد در این مدل نمی توان استفاده کرد. گزینه های در دسترس شامل گیاهان پوششی و گلها و چمن می باشند. گلها و چمن به مراقبت مستمر نیاز دارند و این کار هزینه بر می باشد. بعضی از گیاهان پوششی علاوه بر داشتن ویژگیهای زیباشناختی و پوشش سبز متراکم و یکنواخت به مراقبت بسیار کمتری لازم دارند و گزینه بسیار اقتصادی محسوب می شوند. از میان این گیاهان (بدلیل اقلیم منطقه وشرایط جغرافیایی) گزینه های محدودی در دسترس می باشد و مهمترین آنها وینکا، فرانکنیا، و سدوم می باشند که با اقلیم تبریز سازگار بوده و از جمله در دیوارهای سبز عمودی مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به محدودیت عمق بستر رشد بام سبز و ویژگیهای اقلیمی تبریز ، هزینه نگهداری کمتر، قابل دسترس بودن، و داشتن فتوسنتز بالا (به دلیل داشتن برگهای پهن و سبز رنگ) سه گونه مذکور برای این تحقیق پیشنهاد شدند. بدیهی است محققان دیگر می توانند تاثیر گونه های دیگر را در بستر های کاشت متفاوت مورد ارزیابی قرار دهند. بر این اساس، ویژگیهای گونه های انتخاب شده در جدول زیر به اختصار بیان می گردد.

یافته ها

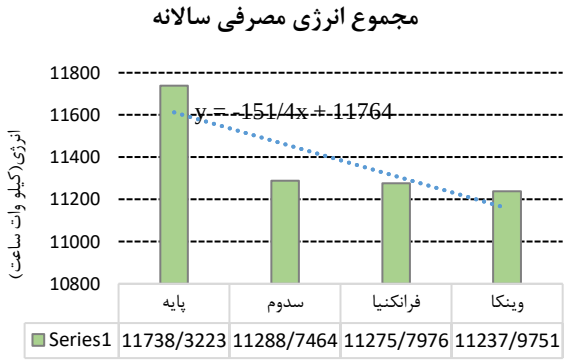
به‌منظور بررسی رفتار حرارتی ساختمان و تاثیر نوع پوشش گیاهی بر میزان مصرف انرژی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی در قالب کل انرژی مصرفی ماهانه، سالانه، بار سرمایشی و گرمایشی ماهانه و سالانه به تفکیک گزارش شد.

طبق شکل ۴ که به‌صورت مقایسه‌ای میزان مصرف انرژی ماهانه در چهار مدل ساختمانی (حالت پایه، بام‌های سبز شبیه‌سازی شده با گیاهان سدوم، فرانکنیا و وینکا) را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل پایه (بدون بام سبز) تقریبا در تمامی ماه‌های سال بالاترین میزان مصرف انرژی را دارد. بیشترین اختلاف انرژی دربین چهار گروه مربوط به ماه‌های دی و بهمن و کمترین اختلاف در مصرف انرژی در بین چهار مدل ساختمانی مربوط به ماه‌های مهر و آبان می‌باشد. انرژی مصرفی در تمامی مدل‌ها در ماه‌های سرد سال، به مدت شش ماه (۱۰ آبان تا ۱۰ اردیبهشت) تحت تاثیر تغییرات اقلیمی نسبت به ماه‌های گرم سال (۱۱ اردیبهشت تا ۹ آبان) بیشتر است و اوج مصرف انرژی در تمامی مدل‌ها مربوط به ۱۱ دی تا ۱۱ بهمن می‌باشد و در تمامی مدل‌ها در بازه‌ی زمانی ۹ مهر تا ۹ آبان کمترین میزان مصرف انرژی مشاهده گردید.



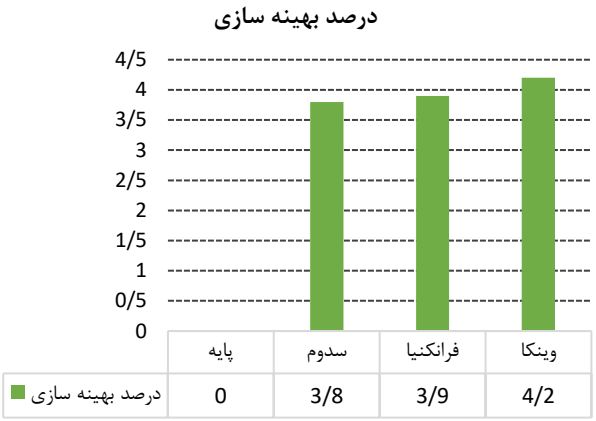
شکل۴: میزان مصرف انرژی ماهانه در مدل‌های ساختمانی

با توجه به شکل ۵ که مجموع انرژی مصرفی در مدل‌های ساختمانی را در بازه‌ی یک‌ساله نشان می‌دهد، بالاترین مصرف انرژی مربوط به بام معمولی، معادل ۱۱۷۳۸/۳ کیلووات ساعت است. با تکیه بر نتایج شبیه‌سازی، مشاهده می‌شود که بام سبز شبیه‌سازی شده با گیاه وینکا، کم‌ترین مقدار مصرف انرژی شامل ۱۱۲۳۸ کیلووات ساعت در طول یک‌سال را دارد. استفاده از این گیاه در پوشش بام سبز مجموع مصرف انرژی سالانه ساختمان در مقایسه با مدل مبنا را به میزان۴/۲ درصد کاهش می‌دهد. دومین انتخاب برتر از این نظر گیاه فرانکنیا می‌باشد که مصرف انرژی در ساختمان را تا ۴۶۲/۵ کیلووات ساعت در سال کاهش می دهد. در این بین گیاه سدوم جایگاه سوم در کاهش انرژی مصرفی ساختمان را به خود اختصاص داده است، چراکه با کاشت این گیاه در بام سبز، در مجموع انرژی مصرفی سالانه ساختمان به میزان ۴۴۹/۶ کیلووات ساعت صرفه‌جویی می‌شود.



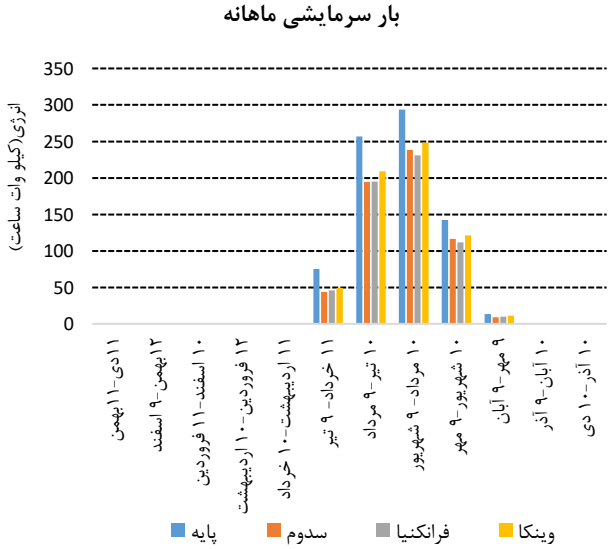
شکل۵: مجموع انرژی مصرفی سالانه در مدل‌های ساختمانی

شکل۶ درصد بهینه‌سازی مصرف انرژی در سه مدل ساختمانی نسبت به مدل پایه را نشان می‌دهد. بام سبز شبیه سازی شده با گیاهان وینکا، فرانکنیا، سدوم میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان را به ترتیب به میزان ۴,۲٪، ۳,۹٪ و ۳,۸٪ نسبت به بام معمولی کاهش می‌دهند. باتوجه به نتایج حاصل، بام سبز شبیه‌سازی شده باگیاه وینکا عملکرد مطلوب‌تری نسبت به گیاه فرانکنیا و سدوم در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان دارد؛ چرا که نسبت به گیاه فرانکنیا ۰/۳درصد و نسبت به گیاه سدوم ۰/۴ درصد انرژی مصرفی کمتری داشته و بازدهی مطلوب‌تری دارد.



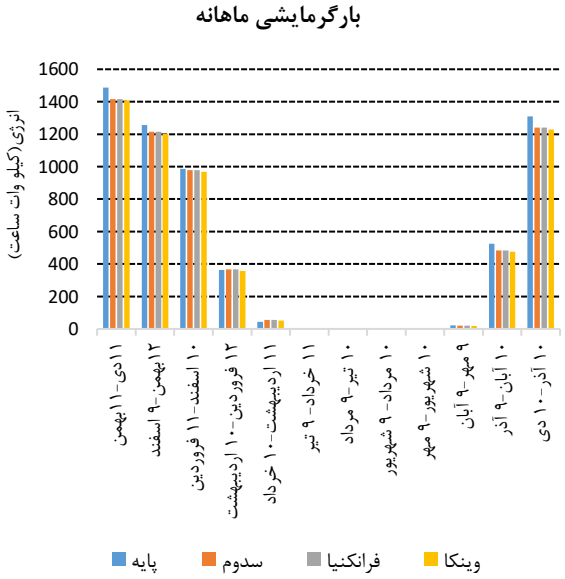
شکل۶: میزان کاهش مصرف انرژی مدل‌های مختلف نسبت به مدل پایه

در این گام از پژوهش، بارهای سرمایشی در بازه‌ی زمانی یک‌ساله به تفکیک هر ماه در چهار مدل ساختمانی شبیه‌سازی شده با گیاهان وینکا، سدوم، فرانکنیا و بام معمولی (فاقد گیاه) مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد (شکل۷). نتایج حاکی از آن است در بازه‌ی زمانی ۱۱ خرداد ماه تا ۹ آبان ماه (مصادف با ماه‌های گرم سال در تبریز)، در هر چهار ساختمان شبیه‌سازی شده، بار غالب بر ساختمان از نوع سرمایشی است. در واقع در این ماه‌ها برای رسیدن به آسایش دمایی در داخل ساختمان، نیاز به سیستم خنک‌کننده و سرمایشی است. در همه‌ی مدل‌ها بیشترین بار سرمایش مربوط به ۱۰ مرداد تا ۹ شهریور ماه (مصادف با دوره‌ی اوج گرما در شهر تبریز) می‌باشد. بالاترین مصرف انرژی سرمایش مربوط به بام معمولی، معادل ۷۸۲ کیلووات ساعت و کم‌ترین بار سرمایش مربوط به بام شبیه‌سازی شده با گیاه فرانکنیا معادل ۵۹۳ کیلووات‌ساعت می‌باشد. دومین انتخاب برتر از این نظر بام شبیه سازی شده با گیاه سدوم معادل ۶۰۲ کیلووات‌ساعت و در این بین گیاه وینکا با ۶۳۹ کیلو وات‌ساعت، جایگاه سوم کاهش انرژی سرمایشی را به خود اختصاص داده است. در تمامی مدل‌ها از ۹ آبان تا ۱۱ اردیبهشت(مصادف با ماه‌های سرد سال در تبریز) بار سرمایش صفر بوده و نیازی به سیستم خنک کننده نمی‌باشد.



شکل۷: میزان بار سرمایشی ماهانه در مدل‌های ساختمانی

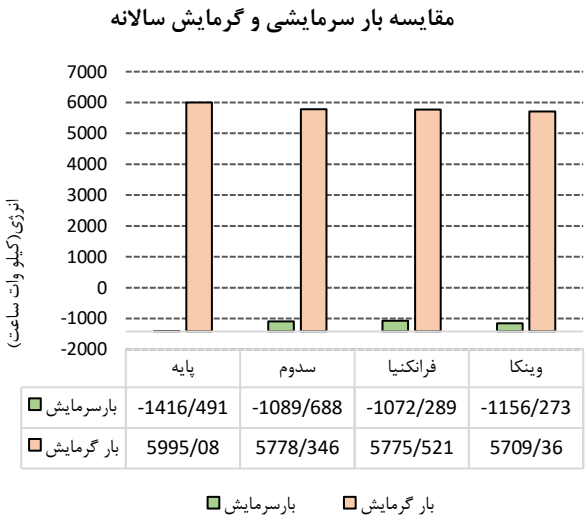
شکل ۸ انرژی مصرفی گرمایشی برای چهار مدل ساختمانی در بازه‌ی زمانی یک‌ساله و در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، در هر چهار مدل ساختمانی، بیشترین تقاضای گرمایشی در ماه‌های سرد سال (۱۰ آبان تا ۱۰ اردیبهشت) است. در همه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی شده، اوج بار گرمایشی در ۱۱ دی تا ۱۱ بهمن ماه (مصادف با اواسط فصل زمستان در شهر تبریز) می‌باشد. بالاترین مصرف انرژی گرمایش مربوط به بام معمولی، معادل ۱۴۸۷ کیلووات ساعت و کم‌ترین بار سرمایش مربوط به بام شبیه‌سازی شده با گیاه وینکا معادل ۱۴۰۷کیلووات‌ساعت می‌باشد. بام شبیه‌سازی شده با گیاه فرانکنیا و سدوم، مصرف انرژی گرمایشی یکسان و معادل ۱۴۱۶ کیلووات‌ساعت داشته‌اند. ۱۱ خردادتا ۹ مهر (مصادف با اواخر فصل بهار و تابستان) بار گرمایشی صفر می‌باشد در واقع نیاز به بهره‌مندی از سیستم گرمایشی در داخل ساختمان نیست.



شکل ۸: میزان بار گرمایشی ماهانه در مدل‌های ساختمانی

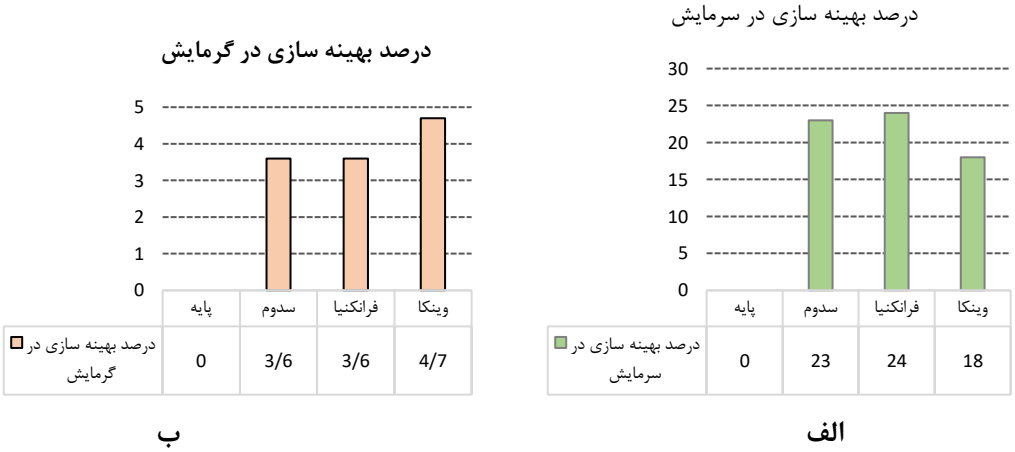
شکل ۹ بار سرمایشی و گرمایشی سالانه در چهار مدل ساختمانی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که تقاضای سرمایش و گرمایش در حالت پایه نسبت به بقیه حالت‌ها در بیشترین سطح قرار دارد؛ به‌طوریکه در مدل پایه بار گرمایش ۰۸ /۵۹۹۵ کیلو وات ساعت و بار سرمایش ۱۴۱۶/۴۹ کیلو وات ساعت می‌باشد. نتایج عددی حاکی از آنست که در ساختمان با بام سبز، نیاز سرمایش و گرمایش ساختمان به نسبت قابل ملاحظه‌ای نسبت به مدل مبنا کاهش پیدا کرده‌است.

بررسی‌ها حاکی از آنست که میزان بار سرمایشی ساختمان در بام سبز دارای گیاه فرانکنیا، وینکا و سدوم نسبت به مدل مبنا به ترتیب به میزان ۳۴۴/۲۰۲، ۲۶۰/۲۱۸ و ۳۲۶/۸۰۳ کیلو وات ساعت کاهش یافته‌است. در این‌بین گیاه فرانکنیا در کاهش میزان بار سرمایشی نسبت به گونه‌های شبیه‌سازی شده‌ی دیگر موفق‌تر عمل کرده است. همچنین میزان بار گرمایشی ساختمان در بام سبز دارای گیاه وینکا، فرانکنیا و سدوم نسبت به مدل مبنا به ترتیب به میزان ۲۸۵/۷۲، ۲۱۹/۵۵۹ و ۲۱۶/۷۳۴ کیلو وات ساعت کاهش یافته‌است. در این‌بین گیاه وینکا در کاهش میزان بار گرمایشی نسبت به گونه‌های شبیه‌سازی شده‌ی دیگر موفق‌تر عمل کرده است.



شکل۹: مقایسه‌ی بار سرمایشی و گرمایشی به‌صورت سالانه

شکل ۱۰ درصد بهینه‌سازی مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را در سه مدل ساختمانی نسبت به حالت پایه نشان می دهد. درصد بهینه‌سازی انرژی سرمایشی در فصول گرم در سقف سبز با گیاهان فرانکنیا، سدوم و وینکا به ترتیب ۲۴٪، ۲۳٪ و ۱۸٪ است. بر اساس این نتایج عددی می‌توان اذعان نمود که از میان گزینه‌های مختلف، مطلوب‌ترین حالت در تابستان بام سبز با گیاه فرانکنیا می‌باشد. همچنین، می‌توان دریافت که درصد بهینه سازی انرژی گرمایشی در فصول سرد در سقف سبز با گیاهان وینکا، سدوم و فرانکنیا به ترتیب ۴,۷٪، ۳,۶٪ و ۳,۶٪ است که بر این اساس مطلوب‌ترین حالت در زمستان، سقف سبز با گیاه وینکا می‌باشد.



شکل ۱۰: الف، ب: درصد بهینه سازی انرژی در سرمایش و گرمایش

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌ها و تحلیل نمودارها نشان می‌دهد که بام‌های سبز تأثیری مثبت و قابل‌توجه بر بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها دارند. بام سبز به عنوان یک سیستم غیرفعال می‌تواند در تنظیم حرارتی ساختمان‌ها نقش بسزایی ایفا کند. سقف‌های معمولی در معرض نوسانات قابل‌توجه دمایی قرار دارند که منجر به جذب بیش از حد گرما در تابستان و اتلاف حرارت در زمستان می‌شود. این امر مصرف انرژی را برای تهویه مطبوع افزایش می‌دهد. در مقابل، استفاده از بام سبز با پوشش گیاهی موجب تعدیل این

نوسانات می‌شود. در فصل تابستان، پوشش گیاهی بر روی بام، نور مستقیم خورشید را به جای جذب، بازتاب می‌کند و از افزایش دمای ساختمان جلوگیری می‌کند. همچنین، رطوبت موجود در پوشش گیاهی تبخیر شده و فرآیندی خنک‌کننده را فراهم می‌آورد که موجب کاهش انتقال گرما از سقف به فضای داخلی ساختمان می‌شود. این ویژگی‌ها باعث کاهش نیاز به سرمایش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. در زمستان نیز بام سبز به عنوان عایق حرارتی عمل کرده و از اتلاف گرما جلوگیری می‌کند، که این امر مصرف انرژی گرمایشی را کاهش می‌دهد. این سیستم‌ها با بهبود عملکرد عایق‌بندی حرارتی، کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری، و افزایش طول عمر سقف، به عنوان یک راهکار پایدار و اقتصادی برای ارتقاء بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مسکونی موجود مطرح می‌شوند (Asmaa et al., 2023). علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که بام‌های سبز از طریق تنظیم فرآیندهای حرارتی، مصرف انرژی را به طور غیرمستقیم کاهش می‌دهند. این کاهش مصرف انرژی منجر به کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایش و سرمایش شده و در نتیجه هزینه‌های کلی انرژی را کاهش می‌دهد (Taotao et al., 2023). همچنین، بام‌های سبز با کاهش دمای پشت‌بام از طریق فرآیند تبخیر و تعرق، عملکرد عایق‌بندی، و تأخیر در دمای اوج، بر بهبود راحتی حرارتی کاربران و کاهش هزینه‌های انرژی تأثیر می‌گذارند (Widya et al., 2022). به طور کلی، بام‌های سبز به عنوان یک راه‌حل پایدار و مؤثر، نه تنها به بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها کمک می‌کنند، بلکه در کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود شرایط اقلیمی نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر بام‌های سبز بر مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز، به‌ویژه در بخش‌های گرمایش و سرمایش، انجام شد. برای این منظور، مدل‌سازی بام‌های سبز با استفاده از گیاهان وینکا، فرانکنیا و سدوم بر روی یک ساختمان مسکونی یک‌طبقه با مساحت ۸۸ مترمربع در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام گرفت و میزان مصرف انرژی این مدل‌ها با حالت پایه (بام بدون پوشش گیاهی) مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از بام‌های سبز باعث کاهش قابل‌توجه مصرف انرژی سالانه ساختمان می‌شود. در حالت پایه، مصرف انرژی سالانه ساختمان برابر با ۱۱،۷۳۸,۳۲ کیلووات‌ساعت بوده است، در حالی که استفاده از بام سبز مصرف انرژی را به ۱۱،۲۸۸,۷۵ کیلووات‌ساعت برای گیاه سدوم، ۱۱،۲۷۵,۷۹ کیلووات‌ساعت برای گیاه فرانکنیا و ۱۱،۲۳۷,۹۸ کیلووات‌ساعت برای گیاه وینکا کاهش داده است. این کاهش که در محدوده ۳,۸ تا ۴,۲ درصد قرار دارد، نشان‌دهنده تأثیر مثبت بام‌های سبز در بهینه‌سازی مصرف انرژی است. میان گیاهان مورد بررسی، گیاه وینکا با کاهش ۴,۲ درصدی مصرف انرژی نسبت به حالت پایه، بهترین عملکرد را در شرایط اقلیمی تبریز نشان داد. علاوه بر این، بررسی‌ها حاکی از آن است که بام‌های سبز تأثیر بیشتری بر کاهش بار گرمایشی نسبت به بار سرمایشی دارند. به‌طور خاص، بار گرمایشی ساختمان با استفاده از بام سبز به میزان ۳۴۴,۲۱ کیلووات‌ساعت کاهش یافت، در حالی که کاهش بار سرمایشی ۲۸۵,۷۲ کیلووات‌ساعت بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که در اقلیم سرد و خشک شهر تبریز، بام‌های سبز در فصل زمستان به‌عنوان عایق حرارتی مؤثر عمل می‌کنند و از اتلاف گرما جلوگیری می‌نمایند. از سوی دیگر، به دلیل شرایط اقلیمی خاص مناطق سرد و خشک مانند تبریز، انتخاب پوشش گیاهی مناسب برای بام‌های سبز اهمیت ویژه‌ای دارد. پوشش گیاهی باید توانایی تحمل کمبود بارش و شرایط محیطی سخت را داشته باشد. استفاده از گیاهانی که سبزینگی خود را در تابستان حفظ می‌کنند و در فصل سرما به علت خزان‌پذیری، مانع از جذب بیش از حد گرمای خورشید نمی‌شوند، می‌تواند بهره‌وری این سیستم را افزایش دهد.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به سرعت پایین و محدود بودن بازه‌ی زمانی استفاده از نسخه‌ی رایگان نرم افزار و گران بودن نسخه های اصلی نرم افزار که موجب اتلاف وقت و صرف زمان خیلی زیادی برای انجام شبیه سازی می‌گردد اشاره نمود. بررسی تاثیر بام‌های سبز بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های صنعتی، آموزشی، درمانی و...، بررسی تاثیر انواع دیگر بام‌سبز(متراکم و نیمه-متراکم) در بهینه‌سازی مصرف انرژی، مقایسه تاثیر بام سبز بر مصرف انرژی ساختمان‌ها در اقلیم‌های مختلف می‌تواند موضوع پژوهش-های آتی باشد. عوامل موجود در بام سبز از جمله پوشش گیاهی موجود در بام موجب شوند تا تبادل انرژی بین محیط داخل و خارج ساختمان کمتر از قبل باشد و مانع از هدر رفت انرژی از طریق بام در طول سال شوند. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان الگوی کمک طراحی راهنمای عمل معماران در طراحی ساختمان‌های مسکونی انرژی‌کارآمد و همچنین افراد فعال در زمینه ساخت‌وساز باشد

که با استناد به پژوهش‌های انجام گرفته در این حیطه، بهره‌گیری از این فناوری‌ها در جامعه را فرهنگ‌سازی کنند تا بتوانیم گامی در جهت کاهش انرژی مصرفی ساختمان‌ها برداشته باشیم.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان (مطالعه موردی : تبریز)، در دانشگاه تبریز به انجام رسیده‌است.

منابع و مآخذ

دانائی, ا. (۲۰۲۰). مروری بر خصوصیات گیاهشناسی، فیتوشیمیایی و فارماکولوژیکی گیاه دارویی پروانش (Catharanthus roseous). *فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران, ۱۵*(۱), ۲۱-۳۱.

شریف، د. (۱۳۷۲). *گیاهان پوششی*. انتشارات واحد آموزش و پژوهش سازمان پارکها و فضا سبز شهر تهران.

قاسمی قهساره، م. و کافی، م. (۱۳۹۱). *گلکار علمی و عملی*. جلد دوم.

قلعه نوی, ا., شاهچراغی, آ., کامل نیا, ح. (۲۰۲۱). ارزیابی سامانه بام‌سبز در مقایسه با بام معمولی از منظر بهره‌وری انرژی در راستای برنامه‌ریزی شهری (کلانشهر مشهد). *نگرش های نو در جغرافیای انسانی, ۲(۳), ۱۵۸*.

وزارت راه و شهر سازی. (۱۳۹۹). *مقررات ملی ساختمان ایران مبحث* ۱۹ (صرفه جویی در مصرف انرژی) .

محمودی، مهناز، پاکاری، ندا، و بهرامی، حسن. ارزیابی چگونگی تاثیرگذاری بام سبز در کاهش دمای محیط. *باغ نظر۱۳۹۲، ۹(۲۰)، ۷۳-*.

Algarni, S. (2019). Potential for cooling load reduction in residential buildings using cool roofs in the harsh climate of Saudi Arabia. *Energy & Environment*, *30*(2), 235-253.

Aliakbarzadeh, R., & Feyzmanesh, F. (2018). A comparative study of green roof gardens for heat island moderation in Ardabil Metropolis. *Green Architecture*, 11(Summer), 1–12

Amit, Grover., Pankaj, Chhabra. (2024). 6. Navigating the path to sustainability: the construction industry's crucial role. *The Genesis*, *11 (2*). doi: 10.47211/tg.2024.v11i02.007

Ragab, A., & Abdelrady, A. (2020). Impact of green roofs on energy demand for cooling in Egyptian buildings. *Sustainability*, *12*(14), 5729.

Kamel, B., Wahba, S., Nassar, K., & Abdelsalam, A. (2012, December). Effectiveness of green-roof on reducing energy consumption through simulation program for a residential building: Cairo, Egypt. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (pp. 1740-1749).

Pawar, B. S., & Kanade, G. N. (2018). Energy optimization of building using design builder software. *International Journal of New Technology and Research*, *4*(1), 263152.

Cavadini, G. B., & Cook, L. M. (2021). Green and cool roof choices integrated into rooftop solar energy modelling. *Applied Energy*, *296*, 117082.

Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable energy*, *85*, 1106-1115.

De-Ville, S., Menon, M., & Stovin, V. (2018). Temporal variations in the potential hydrological performance of extensive green roof systems. *Journal of Hydrology*, *558*, 564-578.

Elantary, A., & Saleem, M. (2023). The Energy-Saving Potential of a Green Roof on Existing Residential Buildings. A Case Study of Jubail Industrial City, Saudi Arabia. *Journal of Engineering Research*, *7*(2), 125-132.

Khotbehsara, E. M., Daemei, A. B., & Malekjahan, F. A. (2019). Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. *Results in Engineering*, *2*, 100010.

Fazelpour, F., Soltani, N., Soltani, S., & Rosen, M. A. (2015). Assessment of wind energy potential and economics in the north-western Iranian cities of Tabriz and Ardabil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 87-99. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.045

Gallardo, N. P., de Figueiredo Neves, G. Z., & Tech, A. R. B. (2016). Thermal response to heat in buildings with green covers for tropical climate: green facades and green roofs. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, *10*(8), 919-31.

Goncalves Filho, A. P., Jun, G. T., & Waterson, P. (2019). Four studies, two methods, one accident–An examination of the reliability and validity of Accimap and STAMP for accident analysis. *Safety science*, *113*, 310-317.

He, Y., Yu, H., Ozaki, A., & Dong, N. (2020). Thermal and energy performance of green roof and cool roof: A comparison study in Shanghai area. *Journal of Cleaner Production*, *267*, 122205

Juras, P. (2022). Positive aspects of green roof reducing energy consumption in winter. *Energies*, *15*(4), 1493.

Karachaliou, P., Santamouris, M., & Pangalou, H. (2016). Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*, *114*, 256-264. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.055

Lee, E., Seo, Y., & Woo, D. K. (2024). Enhanced environmental and economic benefits of green roofs in a humid subtropical region under future climate. *Ecological Engineering*, *201*, 107221.

Akanksha., Anil, Dhamdhere., Mayuri., Ashok, Dhalwade. (2023). 3. A detail review: on Vinca Plant (Catharanthus roseus). *International Research Journal Of Modernization In Engineering Technology And Scienc, 5(8),* doi: 10.56726/irjmets43796

Amani, N., Sabamehr, A., & Palmero Iglesias, L. M. (2022). Review on energy efficiency using the ecotect simulation software for residential building sector. *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, *13*(3), 284-294.

Nursat, Kulumkanov., Abid, Nadeem., Serik, Tokbolat. (2023). 26. Green roof energy performance in different climate zones: a simulation study. doi: 10.1088/1742-6596/2600/9/092027

Ran, J., & Tang, M. (2018). Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. *Sustainable cities and society*, *38*, 466-475.

Ran, J., Yang, Z., Feng, Y., Xiong, K., & Tang, M. (2020). Energy performance assessment and optimization of extensive green roofs in different climate zones of China. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 172, p. 16003). EDP Sciences.

Rickard, S. (2011). *The new ornamental garden*. Csiro Publishing.

Sadeghian, O., Moradzadeh, A., Mohammadi-Ivatloo, B., Abapour, M., Anvari-Moghaddam, A., Lim, J. S., & Marquez, F. P. G. (2021). A comprehensive review on energy saving options and saving potential in low voltage electricity distribution networks: Building and public lighting. *Sustainable Cities and Society*, *72*, 103064.

Saleh, S. Y., & Alfarra, O. G. (2023, May). The Effect of Green Roofs-Types on the Design of Energy-Efficient Buildings in Gaza Strip: A Co-simulation Parametric Study. In *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)* (pp. 1-5). IEEE.

Tan, T., Kong, F., Yin, H., Cook, L. M., Middel, A., & Yang, S. (2023). Carbon dioxide reduction from green roofs: A comprehensive review of processes, factors, and quantitative methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *182*, 113412.

Virk, G., Jansz, A., Mavrogianni, A., Mylona, A., Stocker, J., & Davies, M. (2015). Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy and Buildings*, *88*, 214-228.

Weinstein, G. (1999). *Xeriscape handbook: a how-to guide to natural, resource-wise gardening*. Fulcrum Publishing.

Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, *123*, 41-48.

Widya, Wardhani., Ika, Rahmawati, Suyanto., Sekar, Arum, Azzahra. (2022). 10. Review: potensi manfaat aplikasi green roof. *Jurnal Environmental Science*, doi: 10.35580/jes.v4i2.24630

Zheng, Y., & Chen, L. (2023). Modeling the effect of green roofs for building energy savings and air pollution reduction in Shanghai. *Sustainability*, *16*(1), 286.

Ziogou, I., Michopoulos, A., Voulgari, V., & Zachariadis, T. (2018). Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus. *Sustainable cities and society*, *40*, 233-243. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.007Get rights and content