علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۰

مطالعه‌ای بر عملکرد دیوار سبز در جهت کاهش اتلاف حرارتی: آزمون تجربی در اقلیم معتدل و مرطوب رشت

عبداله بقائی دائمی[1*]

baghaei@iaurasht.ac.ir

فرزانه اسدی ملک جهان[2]

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۸ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۵**

چکیده

زمینه و هدف: بهینه سازی مصرف و جلوگیری از هدر رفت انرژی، یکی از پارامترهای مهم در طراحی ساختمان‌های سبز و غیرفعال در راستای اهداف توسعه پایدار به شمار می‌رود. تحقیقات اخیر توجه به مباحث مربوط به بهینه سازی انرژی و کاهش اتلاف حرارتی را نشان می‌دهد. هدف اصلی مقاله حاضر، ارزیابی عملکرد حرارتی دیوار سبز و بهینه سازی مصرف انرژی بوده که در اقلیم معتدل و مرطوب رشت انجام گرفته است.

روش بررسی: این مقاله به صورت آزمایش تجربی و میدانی بر روی یک ساختمان مسکونی دو طبقه دارای پوشش سبز انجام شده است. در این راستا، داده‌های سه ساعته دما و رطوبت در محیط داخلی و خارجی ساختمان با استفاده از دستگاه دیتالاگر MIC 98583 در فصل زمستان و تابستان ثبت گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از آزمون تجربی نشان داد که که میانگین دما در محیط داخلی دیوار معمولی و دیوار سبز در فصل زمستان و فصل تابستان به ترتیب حدود ۱۷/۳ و ۱۸، ۳۰/۵ و ۲۸ درجه سانتی گراد است. بر این اساس، دیوار سبز در فصل زمستان توانست حدود ۰/۷ درجه سانتی گراد دمای داخلی را در مقایسه با دیوار معمولی گرم‌تر نگه دارد. در فصل تابستان نیز مشخص شد که دیوار سبز قادر بود تا در حدود ۲/۵ درجه سانتی گراد دمای محیط داخلی را خنک‌تر نگه دارد

بحث و نتیجه گیری: یافته‌ها نشان داد که دیوار سبز در فصل زمستان در مقایسه با دیوار معمولی حدود ۴ درصد و در فصل تابستان حدود ۹ درصد عملکرد حرارتی بهتری را از خود نشان داده است. به‌طور کلی، دیوار سبز در آب و هوای معتدل هم در زمستان و هم در تابستان می‌تواند رفتار حرارتی مناسبی را داشته باشد. در نهایت نیز مشخص شد که دیوار سبز در فصل تابستان در مقایسه با فصل زمستان می‌تواند عملکردی ۵۰ درصد موثرتری را در کاهش تلفات حرارتی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمایش تجربی، دیوار سبز، اتلاف حرارتی، اقلیم معتدل و مرطوب رشت.

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. *(مسئول مکاتبات)

۲- رئیس مجتمع فنی، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 2, May, 2021

Experimental Study on a Green Wall to Reduce Heat Transfer under winter and Summer Conditions in the Humid Climate of Rasht

Abdollah Baghaei Daemei[1*]
baghaei@iaurasht.ac.ir
Farzaneh Asadi Malekjahan[2]

Admission Date:January 4, 2021 Date Received: October 20, 2019

Abstract

Background and Objective: Reducing energy consumption by optimizing thermal losses is one of the most predominant parameters for designing sustainable and green buildings towards sustainable development goals. Recent research points to the importance of these issues to provide effective strategies. The main purpose of this study is to evaluate green wall thermal performance as an efficient strategy to reduce heat loss in cold and warm conditions in the humid climate of Rasht.

Method: The present study was carried out through experimental measurement on a 2-story residential building of which it has a self-clinging plant attaching directly in the north direction. Through temperature and relative humidity data loggers, indoor and outdoor environmental data were collected.

Findings: The results showed that the bare wall and green wall indoor average temperatures in winter and summer are about 17.3 and 18, 30.5 and 28 ° C, respectively. During wintertime, the green wall was able to keep the indoor temperature about 0.7 ° C warmer than a bare wall. In addition, in summer conditions, it was found that the green wall was able to drop the indoor temperature by about 2.5 ° C.

Discussion and Conclusion: Based on the findings, the green wall could have 9% thermal performance in summer and 4% in winter conditions. Eventually, green walls have a suitable thermal performance to reduce heat losses in the humid climate of Rasht in both winter and summer. It was found that the green wall in summer in comparison with the winter season could be 50% more effective.

Keywords: Experimental Measurement, Green Wall, Heat Transfer, Humid Climate of Rasht.

1- Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran *(*Corresponding Author*)
2- Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

مقدمه

امروزه مطالعات متعددی توسط پژوهشگران در جهت ارائه راهبردهای طراحی در این زمینه منتشر می‌شود. این امر نشان دهنده این است که اگر در صنعت ساختمان سازی به این پارامتر با روش های علمی و علمی پاسخ مناسبی داده شود، می توان گام های موثری را برای رسیدن به توسعه پایدار و ساختمان های سبز برداشت. جلوگیری از هدر رفت انرژی، یکی از راهکارهای مهم بهینه سازی مصرف انرژی است (۱). در این راستا، استراتژی‌های طراحی متنوعی در زمینه کاهش هدر رفت انرژی از طریق سقف و کف، دیوار و رفع نواقص اجرایی توسط محققان ارائه شده است (۸-۲). نتایج مثبت استفاده از دیوار سبز را می‌توان به صورت کلی شامل پتانسیل کاهش اتلاف حرارت (۹)، کاهش هزینه‌های سالانه مصرف انرژی (۱۰)، کاهش تقاضای استفاده از وسایل گرمایش و سرمایش مکانیکی و به تبع آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (۱۱)، جلوگیری از پدیده جزیره گرمایی (۱۲)، خنک سازی محیط‌های شهری (۱۳)، عدم ایجاد پدیده تغییر اقلیم (۱۵،۱۴)، ارتقای آسایش حرارتی (۱۶) و عایق صوت (۱۸،۱۷) بر شمرد.

اگر چه استفاده از دیوار سبز در بسیاری از کشورهای دنیا رواج دارد، اما در کشور ایران کاربرد این سیستم در ارتباط با یک استراتژی موثر برای بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش هدر رفت حرارتی چندان متداول نیست (۲۱-۱۹). لذا بهره گیری از این سیستم با توجه به میزان کارآمدی آن، قابلیت تجدیدپذیر بودن، در کاهش اتلاف حرارت نقش بسزایی دارد (۲۳،۲۲). در این تحقیق شهر رشت که در منطقه شمال کشور ایران و دارای اقلیم معتدل و مرطوب است، به‌عنوان نمونه موردی اقلیمی انتخاب گردید. یکی از این اقدامات انجام شده در راستای کاهش اتلاف حرارتی، استفاده از عایق پلی‌استایرن در بین لایه-های دیوار بوده که استفاده از این نوع عایق‌های حرارتی به دلیل عدم قابلیت بازیافت و سازگاری با محیط زیست، تبعات بسیار زیادی را می‌تواند هم برای محیط و هم برای انسان به همراه داشته باشد. با مطالعات میدانی انجام شده در شهر رشت، مشاهده شد که در بعضی از ساختمان‌ها، گیاهان رونده در نمای ساختمان‌ها رشد کرده است. از همین رو، این دغدغه ایجاد شد که با مطالعه مستقیم میدانی، با هدف بررسی رفتار حرارتی دیوار سبز در مقایسه با دیوارهای معمولی، برای کاهش هدر رفت انرژی و نیز به‌عنوان یک مصالح جایگزین برای عایق-های غیر قابل بازیافت در نظر گرفته شود. شروع این تحقیق با این سوال شروع شد که دیوار سبز و پوشش‌های گیاهی رونده روی نمای ساختمان‌ها در اقلیم معتدل و مرطوب تا چه میزان می‌توانند موجب کاهش اتلاف حرارتی شوند؟ از همین رو، این تحقیق تجربی با هدف اساسی ارزیابی عملکرد حرارتی دیوار سبز و تاثیر آن بر کاهش اتلاف حرارتی بر روی یک ساختمان مسکونی که دارای پوشش گیاهی رونده (دیوار سبز) در جبهه شمالی خود است، در دو فصل زمستان و تابستان در مقایسه با دیوار معمولی انجام شد.

پیشینه پژوهش

در زمینه استفاده از دیوار سبز تا کنون مطالعات متعددی توسط پژوهشگران در داخل و خارج از کشور انجام شده است. به‌عنوان مثال آزموده و حیدری (۲۴) در مقاله خود، تاثیر نماهای سبز بر کاهش آلودگی هوا از طریق جذب آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش میزان جذب آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه توسط دیوارهای سبز، با آنالیز شیمیایی یک نمونه از گیاه پاپیتال انجام یافت. نتیجه به دست آمده از بررسی نمونه‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد که گیاه پاپیتال به‌طور موثری در جذب آلاینده‌های سولفات و نیترات عمل می‌کند. این تاثیر پاک کنندگی در مورد اکسیدهای سولفات بسیار بارزتر از اکسیدهای نیترات می-باشد. به علاوه، آزموده و حیدری (۲۵) در مطالعه خود تاثیر دیوارهای سبز شهری بر کاهش دمای خرداقلیم‌ها و اثر جزیره گرمایی شهری را از طریق آزمون تجربی در شهر تهران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که در فصول گرم، دمای اطراف دیوارهای سبز تا ۱ درجه سانتی گراد خنک‌تر و در فصول سرد تا ۳ درجه گرم‌تر است بنابراین فضاهایی با گیاه کاری های عمودی شرایط مناسبی را با کاهش

دما در فصل گرم و افزایش دما در فصل سرد به وجود می‌آورند که می‌تواند محیط مطلوب تری را برای انسان‌ها در مقیاس خرد اطراف خود ایجاد نماید. همین طور آن‌ها در از نقطه نظر دیگری به بحث دیوار سبز پرداختند. بر این اساس آزموده و همکاران (۲۶) به ارزیابی سود و زیانی اجرای جداره‌های سبز عمودی در تهران پرداخته‌اند. بر اساس این پژوهش با توجه به هزینه بالای اجرا و نگه داری جداره‌های عمودی سبز با در نظرگرفتن کاهش هزینه‌های مربوط به سرمایش و گرمایش، این سیستم‌ها مقرون به صرفه به نظر نمی‌رسند. کلیائی و همکاران (۲۷) در مطالعه خود به بررسی فواید حاصل از استفاده از فناوری دیوار سبز در زمینه بهبود عملکرد حرارتی و صرفه جویی انرژی، و زیست محیطی پرداخته‌اند. همین طور کلیائی و همکاران (۲۸) تحقیقی را به هدف مقایسه انواع مختلف دیوار سبز در جهت دستیابی به پایداری انجام داده است.

در ادامه، مطالعات گسترده‌ای نیز در خارج از کشور انجام شده است. بجر (۲۹) در پایان نامه خود بررسی دیوارهای سبز را از نقطه نظر پیشینه، انواع سیستم‌های اجرایی، عملکرد حرارتی و مباحث مربوط به بهینه سازی انرژی و ارائه نمونه‌های موردی انجام داده است. سوسوروا و همکاران (۳۰) در پژوهش اثر حرارتی سیستم دیوار سبز را که بر روی چهار جهت مختلف دیوارهای یک ساختمان اداری نصب شده بود، در تابستان در طی یک دوره نه روزه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این ارزیابی نشان داد که پوشش گیاهی (دیوار سبز)، قدر بود تا دمای سطح بیرونی را به‌طور متوسط ۰/۷ درجه سانتی گراد (بسته به زمان و جهت کاشت پوشش گیاهی) کاهش می‌دهد. همچنین آن‌ها به شواهد دیگری دست یافتند که دیوار سبز می‌تواند به به عنوان یک استراتژی، موجب کاهش مصرف انرژی در تابستان شود. از طرفی اولیویرا و همکاران (۳۱) معتقدند که استفاده از سیستم دیوار سبز در نمای ساختمان‌ها، باعث کاهش مصرف انرژی، تضعیف شدن جزیره حرارتی در محیط شهری و تصفیه آلاینده‌های موجود در هوا می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اثر پوشش گیاهی بر روی فرضیه‌های تحقیق، مثبت بوده؛ به خصوص در ساعات گرم‌تر روز. بنابراین، دیوار سبز می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی خنک کننده غیرفعال استفاده شود. کامرون و همکاران (۳۲) بر این باور هستند که علاوه بر اینکه گیاهان می‌توانند نقش عایق حرارتی را در فصل تابستان داشته باشند، همچنین در زمستان نیز می‌توانند کاهش اتلاف حرارتی را به ارمغان بیاورند. از این رو، به بررسی آزمایش تجربی دیوار سبز در فصل زمستان در دو سال متوالی پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده چنین بوده که در آزمایش اول (زمستان سال اول)، دیوار سبز کاهش مصرف انرژی ۲۱ درصدی را فراهم کرد که این عدد در آزمایش دوم (فصل زمستان دوم) به ۳۷ درصد صرفه جویی در انرژی رسید.

دجیج (۳۳) در پروژه تحقیقاتی خود عملکرد دیوار را به صورت شبیه سازی مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج به دست آمده با نمای سبز تأکید استفاده از این سیستم خنک کننده غیرفعال در ساختمان‌ها و کاهش اتلاف حرارتی را نشان می‌دهد. در مطالعه دیگری، وانگ و بالدوین (۳۴) پژوهش خود را با هدف بررسی پتانسیل حرارتی دیوار سبز به جهت بهینه سازی مصرف انرژی در اقلیم گرمسیری هنگ‌کنگ انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که بهینه سازی مصرف انرژی با دیوار سبز به میزان قابل توجهی امکان پذیر است. هلچر و همکاران (۳۵) در مقاله خود آزمایشی را در فضای باز در فصل تابستان در سه نمای مختلف یک ساختمان در شهر برلین آلمان انجام داده است. یافته‌ها نشان داد که دمای سطح دیوارهای با پوشش سبز تا ۱۵/۵ درجه سانتی گراد پایین‌تر از دیوار بدون پوشش سبز بدست آمده است. این در حالی بود که دمای دیوار داخلی کاهش ۱/۷ درجه سانتی گراد در طول شب را نشان داده است. در همین راستا، کاما و همکاران (۳۶) به مقایسه عملکرد حرارتی دو سیستم متفاوت پوشش‌های سبز عمودی، در مقیاس یک اتاقک ساختمانی پرداخته‌اند. سیستم اول به صورت پوشش سبز با گیاهی خزان پذیر و سیستم دوم به صورت پوشش گیاهی همیشه سبز انجام شد. در ادامه یک اتاقک بدون پوشش گاهی، با شرایط یکسان اتاقک قبلی به‌عنوان مبنا نیز انتخاب شد. دو نوع آزمایش برای آزمودن عملکرد حرارتی صورت گرفت که یکی شامل کنترل درجه حرارت محیط داخلی در فصل سرد و

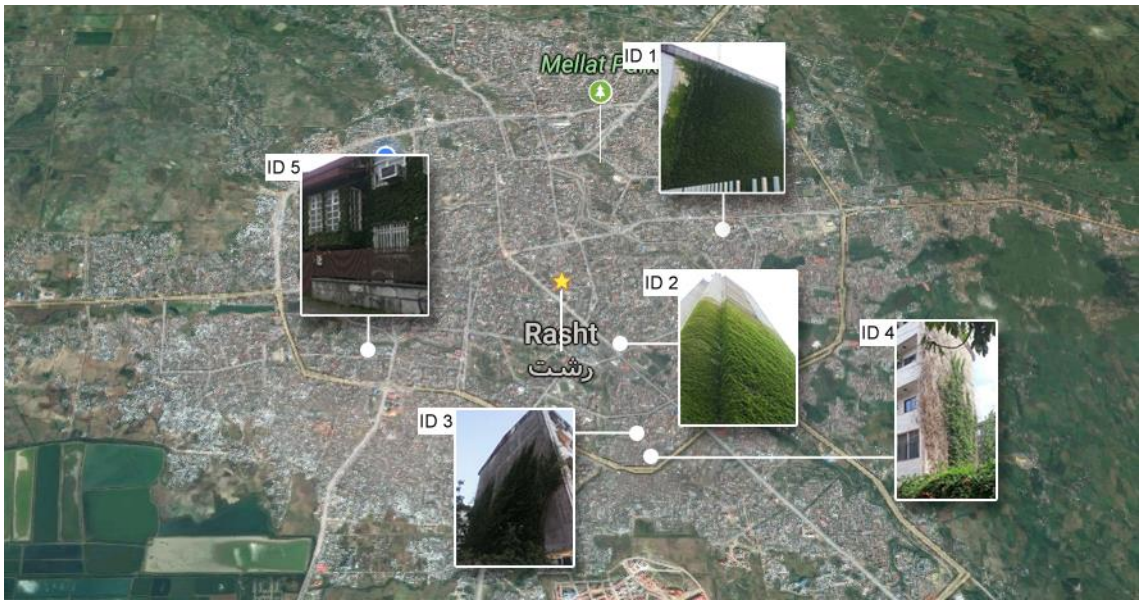
دیگری فصل گرم در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از پتانسیل بالای این سیستم‌ها برای صرفه جویی در انرژی بود.

سرا و همکاران (۳۷) پژوهشی را با هدف توسعه یک سیستم جدید دیوار سبز که شامل یک جعبه مدولار با پوشش گیاهی ساخته شده از مواد بازیافتی / طبیعی و با کارایی بالای انرژی از نقطه نظر زیست محیطی بود، مورد بررسی قرار داده‌اند. جنبه-های عایق صوتی و حرارتی این سیستم نیز ارزیابی شد. اما در ادامه، پرز و همکاران (۳۸) معتقد هستند که سیستم دیوار سبز یکی از امیدوار کننده ترین راهکارهای غیر فعال به منظور ارائه پتانسیل کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و همچنین کمک به اثر جزیره گرمایی شهری است. اثر سایه اندازی توسط این سیستم پارامتر مهم ارائه جنبه‌های مثبت آن است. هلگ و همکاران (۳۹) در مطالعه خود به نقش پوشش‌های گیاهی و اثر خرد اقلیم در محیط‌های شهری پرداخته‌اند. روش‌های سنجش به شیوه‌های آزمون تجربی و روش شبیه سازی با نرم‌افزار ENVI-met بود. آن‌ها به کمک این روش‌ها رفتار پوشش گیاهی را در محیط‌های شهری مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. رادیچ و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود انواع روش‌های اجرای سیستم دیوار سبز را به صورت مطالعه مروری سیستماتیک انجام داده‌اند. آن‌ها توانستند ۱۳ نوع سیستم مختلف دیوار سبز را شناسایی و جزئیات اجرایی آن‌ها را معرفی کنند. همچنین نتایج مطالعه آن‌ها، تاکید بر استفاده این سیستم‌ها را نشان می‌دهد که شامل جنبه‌های مثبت حرارتی، اثرات مثبت ارتقاء آسایش داخلی، عایق صوت و بهینه سازی مصرف انرژی است.

روش بررسی

معرفی نمونه موردی

سیستم دیوار سبز عمدتاً به دو شیوه کلی تقسیم بندی می-شود. حالت اول استفاده از پیچک‌های بالارونده یا گیاهان مو چسب است. در این روش، یا می‌توان پیچک را بدون زیرسازی بر روی نمای اصلی ساختمان کشت داد و یا با استفاده از یک بستر و ساختار که بر روی نما نصب می‌شود، مسیر رشد و بالا رفتن این پیچک را مشخص کرد. در سیستم دیوار سبز، گیاه بر روی جداره نما حرکت کرده و گیاهان رونده مانند پیچک در حالی که ریشه آن‌ها در زمین یا در یک بستر خاکی قرار دارد، رشد می‌کنند. حالت دوم، استفاده از سازه و یک ساختار برای اتصال و هدایت پوشش‌ها بر روی نمای ساختمان است. این سازه‌ها یا به صورت شبکه‌هایی متصل به دیوار از مصالح مختلفی مانند چوب، فلز، شبکه‌های توری و سیم‌های کابلی است و یا به صورت پانلی و مدولار اجرا می‌شود. در مطالعه حاضر، در ابتدا پنج ساختمان که دارای پوشش گیاهی بالارونده به روش سنتی هستند، در رشت شناسایی شدند (شکل ۱). نویسندگان از طریق جدول ماتریس محقق ساخت، به‌عنوان روش شناسایی و انتخاب ساختمان‌های نمونه، بر اساس معیارهای تعریف شده به هر ساختمان امتیاز دادند. این معیارها و امتیازات کسب شده هر نمونه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

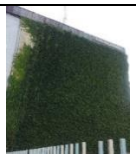


شکل ۱- موقعیت مکانی نمونه‌های شناسایی شده روی نقشه

Figure 1. Location of the identified sample buildings on the map

جدول ۱-ماتریس ارزیابی نمونه‌ها

Table 1. Evaluation of the results obtained from the matrix table

کد	تصویر نمونه	امکان دسترسی	کنترل سیستم مکانیکی	ثابت بودن مصالح	یکسان بودن مشخصات دیوارها	مناسب بودن کاربری ساختمان	امکان دسترسی مجدد برای آزمایش	امتیاز
۱				●				۱
۲				●	●			۲
۳		●		●	●		●	۴
۴		●	●	●			●	۴

۵		●	●	●	●	●	●	۶

با توجه به جدول ۱، نمونه شماره ۵ از بین سایر نمونه‌ها بیشترین امتیاز را کسب کرد که به‌عنوان نمونه پایلوت در این تحقیق انتخاب شد. کاربری این ساختمان با قدمت حدود ۲۰ سال با کاربری مسکونی در دو طبقه در یک زمین با مساحت حدود ۳۵۰ متر مربع احداث شده است و مساحت خود بنا نیز حدود ۲۸۸ متر مربع می‌باشد. مساحت دیوار خارجی با ضخامت ۲۸ سانتی متر که دارای لایه‌های از داخل به خارج شامل ۱۰ میلی متر پوشش گچی، ۲۰ میلی متر ملات ماسه سیمان، ۲۰ سانتی متر دیوار آجری، ۳۰ سانتی متر ملات ماسه سیمان و ۲۰ سانتی متر آستر سیمانی خارجی نما است. نوع پوشش گیاهی که در جبهه شمالی این ساختمان وجود دارد، نوعی پیچک همیشه سبز به ضخامت ۱۵ سانتی متر است که به آن Ivy گفته می‌شود. ضخامت دیوار دارای پوشش سبز با احتساب پوشش گیاهی ۴۳ سانتی است.

مواد و روش‌های انجام آزمایشات میدانی

در این تحقیق برای جمع آوری اطلاعات، از آزمایش میدانی و تجربی (Experiment) بهره گیری شد. به این صورت که اطلاعات و شرایط محیطی/اقلیمی داخل و ساختمان بنا با استفاده از دستگاه دیتالاگر مدل مدل Mic 98583 با مشخصات Accuracy: Temp. ±0.6 °C, 40.0°C~85.0°C & RH. ±3 %, 0.1~99.9%RH در بازه زمانی ۲۴ ساعت، به صورت همزمان در دو اتاق، یکی دارای پوشش سبز و دیگری بدون پوشش، در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین (تقریبا ارتفاع انسان) نصب شدند. برای دستگاه‌ها تعریف شد که هر سه ساعت، عدد دما و رطوبت را در محیط داخلی ثبت کنند. همچنین سرعت باد توسط دستگاه بادسنج Benetech GM8902 Air Flow Anemometer در طول آزمایشات میدانی در محیط خارجی در بازه‌های سه ساعتی در فاصله ۵۰ سانتی متری جلوی دیوار با پوشش سبز ثبت شد که این مقدار به دلیل قابلیت حفاظتی پوشش گیاهی، این مقدار ناچیز در نظر گرفته شد. در طول انجام آزمایشات تمامی تاسیسات مکانیکی گرمایشی و سرمایشی داخل ساختمان خاموش شدند. پنجره‌ها و درهای اتاق‌های مورد ارزیابی بسته شده بودند. مساحت پنجره‌های موجود در نمای شمالی به ارتفاع و عرض به ترتیب ۱/۲ × ۱/۵ متر هستند. مساحت دیوارهای با پوشش سبز و بدون پوشش حدود ۸/۶ متر مربع با تناسبات طول و عرض به ترتیب ۳/۲ در ۲/۷ متر است. مساحت دیوار با پوشش سبز و بدون پوشش، با احتساب سطح پنجره حدود ۸/۶ متر و بدون احتساب پنجره در حدود ۶/۸ متر بوده است. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی از طریق پنجره‌ها، پرده پارچه‌ای دولایه در هر دو اتاق نصب گردید. این عمل به دلیل انجام شد تا از وقوع اثر IHG (Internal Heat Gain) توسط تابش مستقیم نور خورشید و ورود آن از طریق پنجره به درون اتاق‌ها جلوگیری شود. ارتفاع کف تا کف طبقات ۲/۹ متر، ضخامت شیشه ۶ میلی متر و مقدار O.K.B پنجره‌ها ۸۰ سانتی متر است (شکل ۲).

شکل ۲- مشخصات و تصاویر ساختمان منتخب و موقعیت دقیق دیتالاگرها بر روی دیوار

Figure 2. Specificaitons of the sample building and the exact location of the data loggers

یافته‌های تحقیق

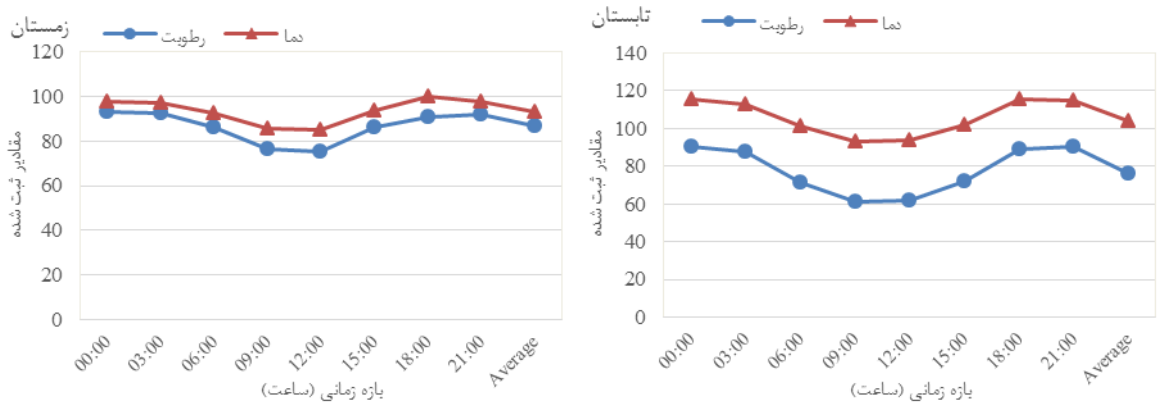
این آزمایش در دو فصل زمستان به تاریخ ۷ بهمن و تابستان به تاریخ ۷ تیر ۱۳۹۷ انجام شد. دیوار سبز در جبهه شمالی ساختمان قرار داشته و به دلیل موقعیت خود، صبح‌ها بین ساعت‌های ۷:۳۰ تا ۹:۰۰ و بعد از ظهرها بین ساعت‌های ۵:۳۰ تا ۷:۰۰ از دریافت نور مستقیم خورشید برخوردار است. اطلاعات مربوط به مشخصات ثبتی دما و رطوبت استخراج شده از دستگاه دیتالاگر مربوط به فصل زمستان و تابستان در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- مشخصات دما و رطوبت ثبت شده برای فصل سرد و گرم

Table 2. Experimental monitoring output of the bare and green walls for winter and summer conditions

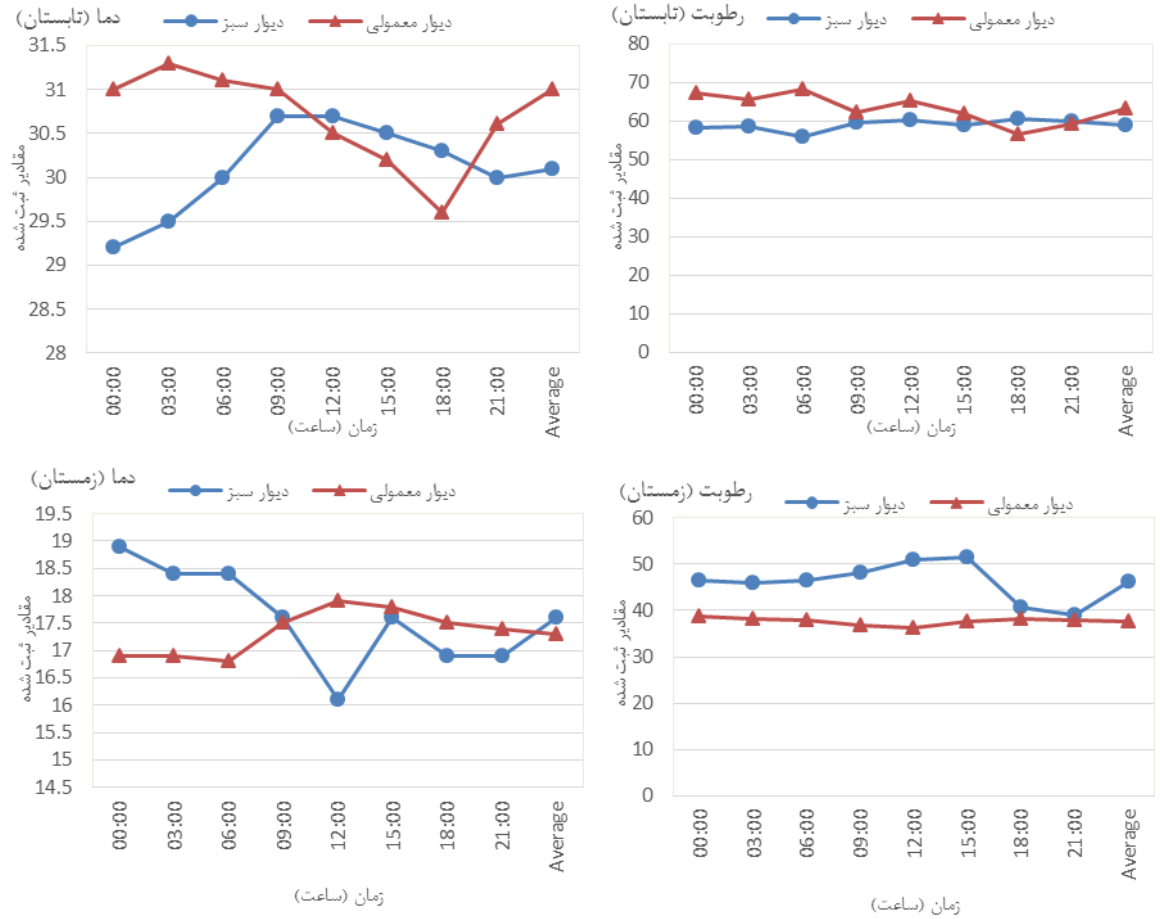
بازه زمانی	تابستان (۷ تیر ۱۳۹۷)						زمستان (۷ بهمن ۱۳۹۷)					
	داده‌های‌خارجی (داخلی)		دیوار سبز (داخلی)		دیوار معمولی (داخلی)		داده‌های خارجی		دیوار سبز (داخلی)		دیوار معمولی (داخلی)	
	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما
۰:۰۰	۹۰/۱	۲۹/۲	۵۸/۲	۲۵	۶۷/۲	۳۱	۹۲/۸	۵/۱	۴۶/۵	۱۸/۹	۳۸/۸	۱۶/۹
۳:۰۰	۸۷/۹	۲۹/۵	۵۸/۶	۲۴/۸	۶۵/۵	۳۱/۳	۹۲/۳	۵	۴۶	۱۸/۴	۳۸/۲	۱۶/۹
۶:۰۰	۷۱/۳	۳۰	۵۵/۸	۲۹/۷	۶۸/۱	۳۱/۱	۸۶	۶/۶	۴۶/۴	۱۸/۴	۳۷/۹	۱۶/۸
۹:۰۰	۶۱/۳	۳۰/۷	۵۹/۶	۳۲	۶۲/۲	۳۱	۷۶/۵	۹/۲	۴۸/۱	۱۷/۶	۳۶/۸	۱۷/۵
۱۲:۰۰	۶۱/۷	۳۰/۷	۶۰/۴	۳۲/۱	۶۵/۲	۳۰/۵	۷۵/۵	۹/۷	۵۱	۱۶/۱	۳۶/۳	۱۷/۹
۱۵:۰۰	۷۱/۹	۳۰/۵	۵۹	۲۹/۸	۶۱/۸	۳۰/۲	۸۶/۲	۷/۵	۵۱/۴	۱۷/۶	۳۷/۵	۱۷/۸
۱۸:۰۰	۸۹	۳۰/۳	۶۰/۵	۲۶/۵	۵۶/۷	۲۹/۶	۹۰/۸	۶/۴	۴۰/۶	۱۶/۹	۳۸/۳	۱۷/۵
۲۱:۰۰	۹۰/۱	۳۰	۶۰	۲۴/۵	۵۹/۳	۳۰/۶	۹۱/۹	۵/۵	۳۹	۱۹/۹	۳۸	۱۷/۴
میانگین	۷۶/۱	۳۰	۵۹	۲۸	۶۳/۲	۳۰/۵	۸۶/۵	۶/۸	۴۶/۱	۱۸	۳۷/۷	۱۷/۳

با توجه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که در ابتدا برای فصل زمستان، رفتار حرارتی دیوار سبز در مقایسه با دیوار معمولی بررسی شد. همچنین رفتار حرارتی دیوار سبز برای وضعیت گرم نیز با نتایج بدست آمده در فصل زمستان مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته شد. با توجه به مقادیر ارائه شده در این جدول، میانگین دما در محیط داخلی دیوار معمولی و دیوار سبز در فصل زمستان به ترتیب ۱۷/۳ درجه و ۱۸ درجه سانتی گراد ارزیابی شد. به این معنی که پوشش گیاهی در دیوار سبز توانست به‌عنوان یک عایق حرارتی در فصل سرد میزان انتقال حرارت از محیط گرم‌تر (داخل) به محیط سردتر (خارج) را تا حدود ۰/۷ درجه کاهش دهد. میانگین دما در محیط داخلی دیوار معمولی و دیوار سبز در فصل تابستان نیز به ترتیب ۳۰/۵ درجه و ۲۸ درجه سانتی گراد ارزیابی شد. به این معنی که پوشش گیاهی در دیوار سبز توانست انتقال حرارت کمتری را از محیط خارج به داخل در فصل تابستان داشته باشد که این مقدار حدود ۲/۵ درجه ارزیابی شد. در شکل ۳ نمودار مقایسه‌ای دما و رطوبت خارجی، در جداره دارای پوشش سبز و بدون پوشش برای فصل زمستان و تابستان و در شکل ۴ نمودار مقایسه‌ای دما و رطوبت برای محیط داخلی، در دیوار سبز و دیوار معمولی برای فصل تابستان و زمستان نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای شرایط اقلیمی در بستر سایت

Figure 3. Field measurements of outdoor temperature and humidity in summer and winter



شکل ۴- نمودار مقایسه‌ای دما و رطوبت ثبت شده داخلی در فصل زمستان و تابستان

Figure 4. Comparison of the relevant bare and green wall indoor temperatures in winter and summer

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این آزمایش تجربی و میدانی، ارزیابی عملکرد حرارتی دیوار سبز در دو فصل سرد و گرم بود تا مشخص شود دیوار سبز تا چه میزان می‌تواند در فصل زمستان باعث گرم نگه داشتن محیط داخلی (نقش عایق حرارتی) و در تابستان نیز

محیط داخلی خنک‌تری را ارائه دهد. به همین جهت با استفاده از یک ساختمان مسکونی اجرا شده در شهر رشت که دارای پوشش گیاهی از نوع رونده سنتی در جبهه شمالی خود است، این ارزیابی شکل گرفت. جمع آوری اطلاعات محیطی دما و رطوبت داخلی و خارجی در دو فصل زمستان و تابستان به کمک دیتالاگر انجام شد. با توجه به آزمون تجربی انجام شده، مشخص شد که میزان انتقال حرارت دیوار معمولی در مقایسه با دیوار سبز در فصل زمستان بیشتر بوده است. همین طور میزان انتقال حرارت دیوار معمولی در مقایسه با دیوار سبز در فصل تابستان نیز بیشتر بوده است. با توجه به داده‌های جمع آوری شده توسط دیتالاگرها، مشخص شد که میانگین دما در محیط داخلی دیوار معمولی و دیوار سبز در فصل زمستان و فصل تابستان به ترتیب حدود ۱۷/۳ و ۱۸، ۳۰/۵ و ۲۸ درجه سانتی گراد است. بر این اساس، دیوار سبز در فصل زمستان توانست حدود ۰/۷ درجه سانتی گراد دمای داخلی را در مقایسه با دیوار معمولی گرم‌تر نگه دارد و بیانگر نقش عایق حرارتی بودن موثر آن را نشان داده است. در ادامه نیز، در فصل تابستان نیز مشخص شد که دیوار سبز قادر بود تا در حدود ۲/۵ درجه سانتی گراد دمای محیط داخلی را خنک‌تر نگه دارد که این ویژگی به کمک خاصیت عملکرد عایق حرارتی دیوار سبز انجام شده است. چنین می‌توان بیان کرد دیوار سبز در فصل زمستان در مقایسه با دیوار معمولی حدود ۴ درصد و در فصل تابستان حدود ۹ درصد عملکرد حرارتی بهتری را از خود نشان داده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «مطالعه‌ای بر عملکرد حرارتی دیوار و سقف سبز به منظور بهینه سازی مصرف انرژی در شرایط آب و هوایی مختلف» که توسط باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت با کد ۹۵۳۰۵ تصویب شده و دارای پوشش مالی است.

Reference

1. Zalba, B; Marín, J.M; Cabeza, L.F; and Mehling, H (2003), Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering 23(3): 251-283.
2. Niachou, A., et al. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Energy and Buildings 33(7): 719-729.
3. Çomaklı, K; and Yüksel, B (2003), Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, Applied Thermal Engineering 23(4): 473-479.
4. Khudhair, A.M; and Farid, M.M (2004), A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials, Energy Conversion and Management 45(2): 263-275.
5. Al-Homoud, D.M.S (2005), Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials, Building and Environment 40(3): 353-366.
6. Dombaycı, Ö.A; Gölcü, M; and Pancar, Y (2006), Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, Applied Energy 83(9): 921-928.
7. Sailor, D.J (2008), A green roof model for building energy simulation programs, Energy and Buildings 40(8): 1466-1478.
8. R. Widiastuti, E. Prianto, WS. Budi, Investigation on the Thermal Performance of Green Facade in Tropical Climate Based on the

Modelling Experiment, International Journal of Architecture, Engineering and Construction. 7 (2018) 26-33, https://doi.org/10.7492/ijaec.2018.004.

9. Susorova, I; Angulo, M; Bahrami, P; and Stephens, B (2013), A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance, Building and Environment 67: 1-13.
10. Perini, K; and Rosasco, P (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems, Building and Environment 70: 110-121.
11. Jo, H.K; and McPherson, E.G (2001). Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA, Journal of Environmental Management 61(2): 165-177.
12. Kleerekoper, L; Esch, M.V; and Salcedo, T.B (2012), How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect, Resources, Conservation and Recycling 64: 30-38.
13. Alexandri, E; and Jones, P (2008), Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, Building and Environment 43(4): 480-493.
14. Sheweka, S.M; and Mohamed, N.M (2012), Green Facades as a New Sustainable Approach towards Climate Change, Energy Procedia 18: 507-520.
15. Wong, N.H; Kwang Tan , A.Y; Tan, P.Y; and Wong, N.C (2009), Energy simulation of vertical greenery systems, Energy and Buildings 41(12): 1401-1408.
16. Wong, N.H; Kwang Tan, A.Y; Chen, Y; Sekar, K; Tan, P.Y; Chan, D; Chiang, K; and Wong, N.C (2010), Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, Building and Environment 45(3): 663-672.
17. Azkorra, Z; Pérez, G; Coma, J; Cabeza, L.F; Bures, S; Álvaro, J.E; Erkoreka, A; and Urrestarazu, M (2015), Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings, Applied Acoustics 89: 46-56.
18. Pérez, G., et al. (2011), Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings, Applied Energy 88(12): 4854-4859.
19. Mehrinejad Khotbehsara, E; Baghaei Daemei, A; and Asadi Malekjahan, F (2019), Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones, Results in Engineering, Volume 2: 100010.
20. Mehrinejad Khotbehsara, E; Purshaba, F; Noormousavi Nasab, S; Baghaei Daemei, A; Eghbal Yakhdani, P; and Vali, R (2018), Traditional Climate Responsible Solutions in Iranian Ancient Architecture in Humid Region, Civil Engineering Journal, Volume 4, Issue 10: 2502-2512.
21. Baghaei Daemei, A; Eghbali, S.R; and Mehrinejad Khotbehsara, E (2019), Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones, Journal of Building Engineering, Volume 25: 100758.
22. Baghaei Daemei, A; Haghgooy Osmavandani, P; and Samim Nikpey, M (2018), Study on Vernacular

Architecture Patterns to Improve Natural Ventilation Estimating in Humid Subtropical Climate, Civil Engineering Journal, Volume 4, Issue 9: 2097-2110.

23. X. Nan, H. Yan, R. Wu, Y. Shi, Z. Bao, Assessing the thermal performance of living wall systems in wet and cold climates during the winter, Energy and Building, 208 (2020) 109680, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109680.
24. Azmoodeh, M.; and Heidari, S (2014). Investigation of spatial and temporal distributions of air pollutants over Tehran in cold months of 2011-2013. Journal of Environmental Science and Technology 16(1): 361-370 (in Persian).
25. Azmoodeh, M.; and Heidari, S (2017). Effect of Urban Green Walls on Reduction of Temperature in Microclimates and Urban Heat Island. Journal of Environmental Science and Technology 19(5): 597-606. doi: 10.22034/jest.2017.11398 (in Persian).
26. Azmoodeh, M.; Heidari, S.; and Zamani, Z (1970). CBA Evaluation of Green Walls Implementation in Tehran City. Journal of Environmental Science and Technology 21(3): 237-247. doi: 10.22034/jest.2019.14556 (in Persian).
27. Kolyaei, M.; Hamzenejad, M.; Litkouhi, S.; and Bahrami, P. (2020). The impact internal and external indicators green wall On Environmental and Energy Savings Performance. Journal of Environmental Science and Technology 21(11): 253-267. doi: 10.22034/jest.2018.20435.2946 (in Persian).
28. Kolyaei, M.; Hamzenejad, M.; Bahrami, P.; and Litkouhi, S (2018). Comparing different types of green wall in order to achieve sustainability. Journal of Environmental Science and Technology, doi: 10.22034/jest.2018.16480.2505 (in Persian).
29. Bjerre, A.L (2011), "Green Walls." Bachelor of Architectural Technology and Construction Management, VIA University College, Horsens, Denmark.
30. Susorova, I; Azimi, P; and Stephens, B (2014). The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations, Building and Environment 76: 113-124.
31. Olivieri, F., et al. (2014), Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate, Building and Environment 77: 61-76.
32. Cameron, R.W.F; Taylor, J; and Emmett, M (2015), A Hedera green façade – Energy performance and saving under different maritime-temperate, winter weather conditions, Building and Environment 92: 111-121.
33. Djedjig, R; Bozonnet, E; Belarbi, R (2016), Modeling green wall interactions with street canyons for building energy simulation in urban context, Urban Climate, Volume 16: 75-85.

34. Wong, I; Baldwin, A.N (2016), Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region, Building and Environment, Volume 97: 34-39.
35. Hoelscher, M.T; Nehls, T; Jänicke, B; and Wessolek, G (2016), Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation, Energy and Buildings, Volume 114: 283-290.
36. Coma, J; Pérez, G; Gracia, A.D; Burés, S, Urrestarazu, M; and Cabeza, L.F (2017), Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades, Building and Environment, Volume 111: 228-237.
37. Serra, VL; Candelari, BE; Giordano, R; Montacchini, E; Tedesco, S; Larcher, F; Schiavi, A (2017). A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project, Energy and Buildings, Volume 146: 333-352.
38. Pérez, G; Coma, J; Sol, S; and Cabeza, LF (2017), Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect, Applied Energy, Volume 187: 424-437.
39. Helge, S (2016), Modeling urban microclimate: development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met, Dissertation Universit¨at Mainz Geographisches Institut. URL: https://publications.ub.uni-mainz.de/theses/frontdoor.php?source_opus=100000507.
40. Radić, M; Dodig, MB; Auer, T (2019), Green facades and living walls-A review establishing the classification of construction types and mapping the benefits, Sustainability, Volume 11 (17): 4579, https://doi.org/10.3390/su11174579.