

ارزیابی کارایی سامانه سبز عمودی بر رفتار حرارتی ساختمان‌های متعارف مسکونی در اقلیم گرم و خشک، شهر اصفهان*

ندا ساوج^۱ - نرگس دهقان^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران (نویسنده مسئول).

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

چکیده

بهینه‌سازی در عملکرد انرژی از مقوله‌های مورد توجه در دوره حاضر بوده که در این راستا بهره‌گیری از روش‌های معماری پایدار و به‌ویژه سبزی‌نگی اهمیت زیادی پیدا کرده است. استفاده آگاهانه از گیاهان در طراحی ساختمان‌ها یکی از راهکارهای کم‌هزینه برای بهینه‌سازی در حال گسترش می‌باشد. از این‌رو، سامانه سبز عمودی به‌عنوان یکی از اثرگذارترین مبان‌ها و مفاهیم توسعه پایدار در معماری نقش پررنگی در کاهش مصرف انرژی دارد. در این مطالعه، با توجه به تنوع ساختاری سامانه سبز عمودی، تأثیر نمای سبز با شش گونه گیاه بالارونده بر عملکرد حرارتی ساختمان متعارف مسکونی در شهر اصفهان بررسی شده است. برای این ارزیابی، مواردی نظیر شاخص سطح برگ گیاهان، فاصله بین گیاه و دیوار (صفر، پنج، ده، پانزده و بیست سانتی‌متر)، ضریب هدایت حرارتی و ارتفاع قرارگیری گیاه (طبقه همکف، دوم و چهارم) مورد سنجش قرار گرفته است. در ابتدا با آزمایش گیاهان بالارونده انتخابی (شش گونه)، شاخص سطح برگ با دوربین عکاسی و نرم‌افزار فتوشاپ و ضریب هدایت حرارتی با دماسنج مادون‌قرمز و برنامه لوکس لایت‌متر جمع‌آوری شد. سپس با داده‌های به‌دست آمده از ضریب هدایت حرارتی، شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شد تا تأثیر نمای سبز در انقلاب تابستانی و زمستانی بر عملکرد حرارتی ساختمان مشخص شود. پس از طبقه‌بندی و تحلیل داده‌ها گیاه پیچ امین‌الدوله با شاخص سطح برگ ۱۰، ضریب هدایت حرارتی $0.21 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ و لایه هوای ۲۰ سانتی‌متری در طبقه همکف به‌عنوان حالت بهینه انتخاب شد. از دیگر یافته‌ها می‌توان به رابطه مستقیم شاخص سطح برگ با عملکرد حرارتی ساختمان و ارتباط غیرمستقیم وجود لایه هوا میان نمای سبز و دیوار خارجی اشاره کرد. همچنین، مؤلفه ارتفاع گیاه در طبقات نسبت به طبقه همکف موجب کاهش نفوذ گرما به محیط داخل می‌شود.

واژگان کلیدی: نمای سبز، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ساختمان متعارف مسکونی، اقلیم گرم و خشک.

۱. مقدمه

نیاز انسان به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی باعث افزایش دی‌اکسیدکربن و ایجاد بسیاری از مشکلات کنونی و تهدید سلامتی انسان شده است (Ebtekar 2017). در دنیای امروز چشم‌انداز انسان از فضای شهری اطرافش تنها از محیطی بی‌روح و ساختگی تشکیل شده که روز به روز در حال گسترش است. ایجاد سبزی‌نگی در فضاهای مسکونی مبنی بر دست یافتن به معماری پایدار و ساختمان سبز با جلوگیری از تابش پرتو خورشیدی موجب خنک‌سازی فضا و کاهش بار سرمایشی در بنا می‌شود و با جبران کمبود فضای سبز بر آب‌وهوای شهر و منطقه با کاهش جزیره گرمای شهری تأثیری مثبت دارد (Mahmoudi Zarandi 2014). در این راستا سطوحی که بیش‌ترین امکان و پتانسیل برای کاشت گیاه را داراست، دیوارها هستند. نمای سبز عمودی به‌عنوان سامانه‌ای غیرفعال در طراحی پایدار، یکی از روش‌های مطلوب صرفه‌جویی در مصرف انرژی است و بشر را از منافع زیست‌محیطی و زیبایی‌شناسانه نیز بهره‌مند می‌گرداند. عوامل گوناگونی از جمله نوع گیاه (Koyama et al. 2013)، نوع سامانه (Coma et al. 2016)، مصالح به‌کار رفته در سامانه (Kokogiannakis et al. 2019)، ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ (Perez et al. 2016)، درصد پوشش گیاه (Morakinyo et al. 2019) و ضخامت گیاه (Cuimin, Jingshu, and Chunying 2019) در کارایی سامانه سبز عمودی تأثیرگذارند. اثرات مثبت سامانه‌های سبز عمودی را می‌توان در سه گروه زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی تقسیم‌بندی کرد.

هدف از این مطالعه، دستیابی به تأثیر گیاهان بالارونده متناسب با اقلیم گرم و خشک اصفهان در سامانه سبز عمودی بر عملکرد حرارتی ساختمان مسکونی است. به این منظور، این سامانه با مشخصات ساختاری متفاوت شامل گونه گیاه، شاخص سطح برگ که بیان‌کننده توانایی گیاه در میزان بهره‌مندی و جذب انرژی خورشیدی است و به دنبال آن ضریب هدایت حرارتی متأثر می‌شود، فاصله سامانه سبز تا دیوار (وجود هوای بین دو لایه) که نوعی عایق به‌حساب می‌آید و ارتفاع موقعیت گیاه در نفوذ حرارت به داخل، همراه با ویژگی‌های اقلیم گرم و خشک می‌تواند بهینه‌سازی انرژی را به حداکثر میزان خود برساند.

۱-۱- پرسش‌های تحقیق

- با به‌کارگیری هر یک از موارد یادشده (نوع گیاه و شاخص سطح برگ، ضریب هدایت حرارتی، فاصله سامانه تا دیوار و ارتفاع قرارگیری گیاه) در سامانه سبز عمودی تا چه میزان می‌توان در طراحی مجتمع مسکونی با اقلیم گرم و خشک (اصفهان) در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد؟ - با تغییر مشخصات (نوع گیاه و شاخص سطح برگ،

ضریب هدایت حرارتی، فاصله سامانه تا دیوار و ارتفاع قرارگیری گیاه)، عملکرد سامانه سبز عمودی در فصل تابستان و زمستان در میزان مصرف انرژی چه رفتاری خواهد داشت؟

۱-۲- فرضیه‌های تحقیق

با انتخاب گیاه مناسب اقلیم و شاخص سطح برگ مطلوب و همچنین با رعایت فاصله بهینه گیاه از کالبد ساختمان در ارتفاعی مناسب، مصرف انرژی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

با بالاتر رفتن ضریب هدایت حرارتی گیاه در تابستان این سامانه مانند عایق عمل کرده و موجب کاهش حرارت ورودی ناشی از تابش خورشید می‌شود و به دنبال آن با ایجاد سایه از گرم‌شدن ساختمان در طول روز جلوگیری می‌کند. در زمستان نیز سبب اتلاف حرارت از داخل ساختمان می‌شود.

به این دلیل که سامانه سبز عمودی با تأکید بر نوع گیاه و شاخص‌های مهم در این سامانه، غالباً در اقلیم‌های معتدل و گرمسیری بررسی شده و همچنان جای خالی بررسی این شاخص‌ها به‌یک‌باره در پهنه‌بندی اقلیمی ایران و به‌ویژه اقلیم گرم و خشک از جمله شهر اصفهان احساس می‌شود، نیازمند مطالعه و پژوهش بیش‌تر در این حوزه است. از طرفی با طراحی مناسب نمای ساختمان و بهره‌مندی از انرژی کافی نور خورشید با توجه به عنصر سبزی‌نگی در ساختار نمای سبز منجر به جایگزینی انرژی‌های نو و افزایش کیفیت محیط زیست شد.

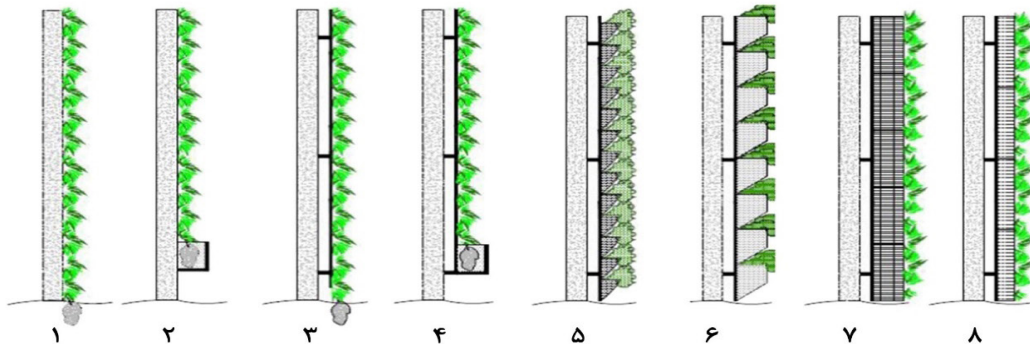
۲. پیشینه تحقیق

سامانه سبز عمودی، سامانه‌ای است که گیاهان را به‌منظور پوشاندن جزئی یا کلی از پوشش گیاهی به سازه‌ها یا دیوارهای ساختمان متصل می‌کند (Mir 2011). سامانه‌های سبز عمودی به‌طور جامع به دو گروه نمای سبز و دیوار زنده تقسیم می‌شود (El Menshawy, Mohamed Abdelaziz, and Fathy 2022). نمای سبز بر اساس رفتار گیاهان، بالارونده یا آویزان است که رشد گیاه به‌صورت عمودی بر سطح نما قرار می‌گیرد و به دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. مستقیم: که در این حالت گیاهان مستقیماً به دیوار می‌چسبند. ۲. غیرمستقیم: در این حالت نیز توسط کابل‌ها یا داربست‌های فولادی تقویت می‌شوند (Ottele 2011). دیوار زنده به‌طور کلی با زیرساخت‌های پیچیده‌تر شامل یک سازه پشتیبان با روش‌های مختلف اتصال است و پوشش گیاهی در بستری متصل به خود دیوار ریشه دارد. دیوارهای زنده در دو نوع سامانه پیوسته و مدولار دسته‌بندی می‌شوند (El Menshawy, Mohamed Abdelaziz, and Fathy 2022). در جدول و شکل ۱ حالت‌های مختلف این سامانه و روش‌های به‌کارگیری آن آمده است.

جدول ۱: انواع سامانه سبز عمودی

سامانه‌های سبز عمودی			
دیوار سبز		نمای سبز	
سامانه مدولار	سامانه پیوسته	اتصال غیرمستقیم	اتصال مستقیم
سامانه پانلی	سامانه گلدانی	ریشه گیاه در خاک	ریشه گیاه در گلدان
سامانه پشم معدنی	سامانه اسفنجی	سامانه نمدی	سامانه گلدانی

شکل ۱: انواع ساختار سامانه سبز عمودی



از چپ به راست: ۱. اتصال مستقیم (ریشه گیاه در خاک)، ۲. اتصال مستقیم (ریشه گیاه در گلدان)، ۳. اتصال غیرمستقیم (ریشه گیاه در خاک)، ۴. اتصال غیرمستقیم (ریشه گیاه در گلدان)، ۵. سامانه نمدی، ۶. سامانه گلدانی، ۷. سامانه اسفنجی، ۸. سامانه پشم معدنی

(Ottele 2011)

انجام شده است (Sudimac et al. 2019; Zolfaghari, Saadatinasab, and Noroozi Jajarm 2019; Othman and Sahidin 2016). سامانه سبز عمودی به صورت جامع بر عملکرد حرارتی و دمای هوای محیط داخل و خارج و رطوبت، اثرگذاری مطلوب دارد (Daemi et al. 2021). در بررسی‌های جزئی‌تر این اثرگذاری بر متغیرهایی چون آسایش حرارتی (Azmoodeh 2021)، عملکرد و اتلاف حرارت (Daemi et al. 2021)، میزان سرمایش و گرمایش (Coma et al. 2019; Tan et al. 2020)، شار حرارتی (Sklje et al. 2019) و در ترکیب با دستگاه تهویه در پشت آن (Davis, Ramirez and Pérez 2016) صورت گرفته که همگی نشان از این تأثیرگذاری در راستای کاهش مصرف انرژی است. با وجود تفاوت در شرایط آب‌وهوایی، گونه گیاه و دیگر متغیرها (Pérez et al. 2017) به این نتیجه رسید که شاخص سطح برگ با ارتفاع گیاه نسبت معکوس دارد و تأثیر جهت‌گیری نما در ذخیره انرژی قابل توجه است. ذخیره نیاز انرژی سرمایش ۳۴ درصد در طول دوره تابستان برای گونه گیاه انتخابی در اقلیم معتدل مدیترانه‌ای است. در مطالعه (Coma et al. 2017) بین تابش خورشید و ذخیره انرژی رابطه مستقیم برقرار است و با توجه به تابش خورشید در اقلیم معتدل مدیترانه‌ای، دیوار سبز ۲۳.۴ درصد و نمای سبز ۱۹.۴ درصد مصرف

سامانه سبز عمودی به عنوان سامانه‌ای غیرفعال در طراحی پایدار (Mohamed Farid et al. 2016, 180) دارای منافع زیادی برای بشر است (Kolyaei et al. 2020). منافع اجتماعی، مانند اثرات مثبت روحی و روانی برای انسان (Safavi 2014) دارد. منافع زیست‌محیطی می‌توان کاهش دی‌اکسیدکربن و افزایش اکسیژن (Taghavi 2014)، کنترل آلودگی هوا (Azmoodeh 2021; Janzadeh 2016)، کنترل صوتی (Davis et al. 2017; Ashianegar 2018) و جلوگیری از ایجاد جزیره گرمای شهری که با کاهش دمای فضای اطراف خود بر بهبود خرد اقلیم نیز تأثیرگذار است (Morakinyo et al. 2019; Azmoodeh 2021; Mahmoudi Zarandi 2014) را نام برد. همچنین از منافع اقتصادی چون کنترل تابش مستقیم آفتاب، صرفه‌جویی در سرمایش و گرمایش ساختمان و دمای محیطی نیز بهره‌مند شد. به طور جامع، پژوهش‌هایی نسبت به فواید وجود سامانه سبز عمودی صورت گرفته است. این پژوهش‌ها، اغلب در اقلیم‌های گروه معتدل (Ramirez Perini et al. 2017; Li et al. 2019; Wong and Baldwin 2016; Convertino, Vox, Ileana, and Evelia 2018; Davis and Pérez et al. 2016; He et al. 2020; Feng et al. 2018) و تعداد محدودی نیز در اقلیم‌های گرمسیری، قاره‌ای و خشک

سبز پیوسته (نمدی) Charoenkit, Yiemwattana, and Rachapradit 2020; Oquendo-Di Cosola et al. 2020; Davis et al. 2017; (Kokogiannakis et al. 2019; Mohammad) و مدولار (Shuhaimi et al. 2022 Oquendo-Di Cosola et al. 2020; Li et al. 2019; Vasigh and Mohammadi (2020; Kokogiannakis et al. 2019 Shafiee, Faizi, and Yazdanfar 2020; Nan) و پانلی (et al. 2020) است، پرداخته‌اند. جدای از آن عوامل، تأثیرگذاری بر انتخاب این سامانه‌ها همچون بودجه، نوع گیاه و سامانه سبز و مشخصات سازه‌ای مورد مطالعه واقع شده است (Torabifar and Suzanchi 2021). از ویژگی‌های گیاه در این سامانه‌ها، به دو متغیر شاخص سطح برگ و ضریب هدایت حرارتی آن‌ها اشاره می‌شود و از ویژگی‌های این سامانه‌ها در ارتباط با ساختمان، متغیرهای ضخامت لایه‌ی هوا بین نمای سبز و جداره خارجی و محل قرارگیری سامانه سبز در ارتفاع طبقاتی بنا می‌توان نام برد که در جدول ۲ قابل مشاهده است. در نهایت با استناد به مطالعات صورت گرفته، در این پژوهش به تحلیل متغیرهای مستقل شاخص سطح برگ، ضریب هدایت حرارتی گیاهان، ضخامت لایه هوا بین نمای سبز و لایه خارجی دیوار، ارتفاع طبقاتی ساختمان و میزان عملکرد حرارتی ساختمان به‌عنوان متغیر وابسته در اقلیم گرم و خشک اصفهان پرداخته شده است.

انرژی را کاهش می‌دهد. یا استفاده از این سامانه در اقلیم مدیترانه‌ای با کاهش ۲۶ درصد انرژی در فصل تابستان برای تهویه مطبوع و کاهش دما تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد در حالت نمای ساده و بدون نمای سبز منجر گردید (Perini et al. 2017). باتوجه به این تحقیقات و در نظر داشتن گوناگونی متغیرها و عوامل تأثیرگذار به‌طور کلی با وجود سامانه سبز عمودی کاهش ۱ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دما و همچنین کاهش مصرف انرژی تا حدود ۶۵ درصد را می‌توان پیش‌بینی نمود (Kolyaei et al. 2020). در نهایت، به تحلیل نمونه‌های موردی در جهان و تأثیر آن در اقلیم‌های مختلف پرداخته شده است که به دلیل کاهش جذب گرما، سرمایه‌ش تبخیری و هدایت حرارتی کم، هر چه اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر باشد بازده دیوار سبز و کاهش دمای ساختمان و شهر بیش‌تر می‌شود (Mahmoudi et al. 2018).

به‌طور کلی به بررسی تفاوت نمای سبز و دیوار سبز پرداخته شده است (Coma et al. 2016). در ادامه پژوهش‌های دیگر به تبیین و تحلیل تفاوت انواع سامانه‌های سبز از جمله نمای سبز با اتصال مستقیم Charoenkit, Yiemwattana, and Rachapradit 2020; Davis et al. 2017; Mohammad Shuhaimi et al. 2022; Li et al. 2019; Kokogiannakis et al. 2019) و اتصال غیرمستقیم Charoenkit, Yiemwattana and Rachapradit 2020; Vasigh and Mohammadi 2020; Kokogiannakis et al. 2022) دیوار

جدول ۲: پیشینه تحقیقات با محوریت تأثیر متغیرها و شاخص‌ها بر عملکرد سامانه سبز عمودی در اقلیم‌های مختلف

متغیر	اقلیم- کشور	نویسنده
	معتدل مدیترانه‌ای- اسپانیا	(Perez et al. 2016)
شاخص سطح برگ	چین	(Li et al. 2019)
	معتدل نیمه‌گرمسیری	
	توکیو ژاپن	(Koyama et al. 2013)
ضخامت شاخ و برگ گیاهان	معتدل نیمه‌گرمسیری- چین	(Li et al. 2019)
جهت‌گیری دیوارها	هنگ کنگ	(Morakinyo et al. 2019)
	معتدل مدیترانه‌ای	
	اسپانیا	(Coma et al. 2016)
میزان پوشش گیاهی	استوایی گرمسیری- اندونزی	(Widiastuti, Zaini, and Caesarendra 2020)
	معتدل نیمه‌گرمسیری- توکیو ژاپن	(Koyama et al. 2013)

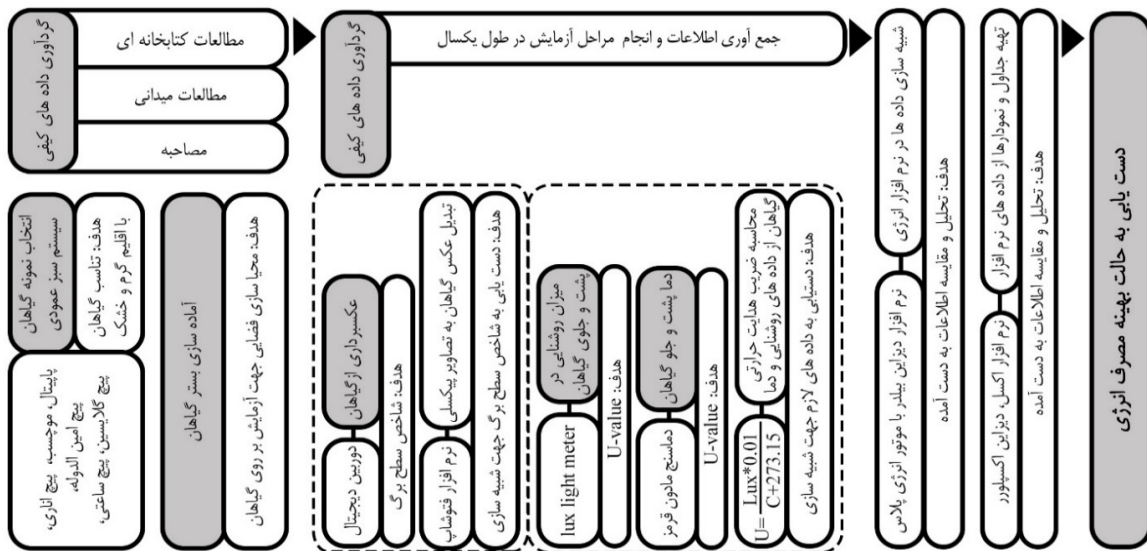
متغیر	اقلیم- کشور	نویسنده
استوایی	گرمسیری- سریلانکا	(Rupasinghe and Halwatura 2020)
	تایلند	(Charoenkit et al. 2020)
گونه‌های گیاه	اقیانوسی- انگلستان	(Thomsit-Ireland et al. 2020)
	نیمه گرمسیری- چین	(Nan et al. 2020)
	معتدل	(Vox, Ileana, and Evelia 2018)
معتدل	مدیترانه‌ای- ایتالیا	(Ileana et al. 2019)
	نیمه گرمسیری- توکیو ژاپن	(Koyama et al. 2013)
مصالح دیوار پشت سامانه سبز مانند عایق و نوع آجر	معتدل اقیانوسی- اتریش	(Tudiwer, Florian, and Azra 2019)
	معتدل مدیترانه‌ای- اسپانیا	(Pérez-Urrestarazu et al. 2019)
تبخیر و تعرق شاخ و برگ گیاه	معتدل نیمه گرمسیری- چین	(Zhang et al. 2019)
	معتدل نیمه گرمسیری- چین	(He et al. 2020)
فتوسنتز	معتدل نیمه گرمسیری- چین	(Zhang et al. 2019)
میزان انتقال موج، بازتابندگی، جذب نور	معتدل نیمه گرمسیری- هنگ کنگ	(Lee and Jim 2019, 3)
	معتدل نیمه گرمسیری- آمریکا جنوبی	(Davis et al. 2017)
فاصله هوایی سامانه سبز و دیوار		

۳. روش تحقیق

روش تحقیق شبیه‌سازی و از نظر هدف کاربردی است. مرحله اول تعیین گیاهان بالارونده سامانه سبز عمودی با هدف تناسب در اقلیم گرم و خشک اصفهان است که به روش مصاحبه و مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفت. بستر کاشت برای آزمایش و جمع‌آوری داده‌های موردنظر گیاهان در مرکز تحقیقات شماره ۲ سازمان پارک‌ها و فضای سبز استان اصفهان در محدوده محمودآباد در نظر گرفته شد. گیاهان در محدوده‌ای دارای نور جنوب خورشید، در فضاهای یک اندازه و پوشش سطح یکسان کاشته شدند. نوع ساختار استفاده شده به صورت نمای سبز و اتصال غیرمستقیم؛ ریشه گیاه در گلدان با توری مشبک پلی‌اتیلن برای نگهداری ساقه گیاه به صورت عمودی است. در مرحله دوم روش جمع‌آوری داده‌های کمی از طریق مشاهده و آزمایشات انجام گرفت. در طول یک سال داده‌ها در یک روز از اواسط هر ماه و در ظهر شرعی که تابش نور خورشید در بیش‌ترین میزان خود است در حدود ساعت ۱۱:۳۰ الی ۱۳:۳۰ جمع‌آوری شد. ابزار مربوطه دماسنج مادون قرمز^۱، لوکس لایت‌متر^۲ به ترتیب برای اندازه‌گیری ضریب رسانش حرارتی و

شاخص سطح برگ گیاهان در پشت و جلوی گیاه است. مرحله سوم مشخص کردن شاخص سطح برگ گیاهان با استفاده از دوربین عکس‌برداری دیجیتال است و توسط نرم‌افزار فتوشاپ به تصاویر پیکسلی تبدیل شد. در مرحله چهارم به کمک نرم‌افزار تحلیل انرژی دیزاین بیلدر^۳ با موتور انرژی پلاس^۴ داده‌ها سامان‌دهی شده و شبیه‌سازی گردیده است. مراحل اجرای پژوهش در شکل ۲ به نمایش درآمده است. شبیه‌سازی‌ها در هفت حالت (شش گیاه به علاوه حالت مرجع) در فضایی با کاربری مسکونی در نظر گرفته شد. شاخص سطح برگ^۵، ضریب هدایت حرارتی^۶ گیاه، ضخامت لایه هوا بین نمای سبز و لایه خارجی دیوار، ارتفاع طبقاتی ساختمان و میزان عملکرد حرارتی متغیرهای شبیه‌سازی می‌باشند. برای رفتار حرارتی سامانه سبز عمودی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر انقلاب زمستانی و تابستانی به دلیل زاویه قرارگیری خورشید و میزان تابش آن در حالت مختلف انتخاب شد تا با توجه به تراکم گیاهان، نفوذ نور به داخل و گرفتن حرارت در شرایط کمینه و بیشینه تحلیل شود. در آخر با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و وب سایت دیزاین اکسپلورر به تحلیل داده‌ها و دستیابی به حالت بهینه منجر گردید.

شکل ۲: فرآیند پژوهش



در اقلیم گرم و خشک و ناحیه نیمه بیابانی (Bwk) جای دارد. در این اقلیم تابش مستقیم آفتاب شدید و آسمان در بیش تر اوقات بدون ابر است. در جدول ۳ شرایط آب و هوایی شهر اصفهان بیان شده است.

۳-۱- اقلیم شهر اصفهان

شهر اصفهان دارای طول جغرافیایی 51.67° شرقی و عرض جغرافیایی 32.65° شمالی و با ارتفاع ۱۵۷۴ متر از سطح دریا قرار دارد. باتوجه به تقسیم بندی کوپن، اصفهان

جدول ۳: میانگین سالانه دمای هوا و رطوبت نسبی اصفهان ۱۹۵۰-۲۰۱۰

کمترین دمای هوا (C°)	بیشترین دمای هوا (C°)	میانگین دمای هوا (C°)	کمترین رطوبت نسبی (%)	بیشترین رطوبت نسبی (%)	میانگین رطوبت نسبی (%)
-۱۹.۴	۴۳	۱۶.۲	۱۱	۸۱	۳۵.۴۱

(Hasehzade Haseh, Khakzand, and Ojaghloou 2018)

۳-۲- معرفی مدل پایه

برای شبیه سازی آمده است.

در مطالعه‌ای (Dahanayake and Chow 2017) به منظور اعتبارسنجی دقت سامانه سبز عمودی در انرژی پلاس دمای هوای داخلی شبیه سازی شده و دمای سطح بیرونی و داخلی نما با نتایج دو آزمایش تأیید شده شامل یک نمونه آزمایشی مستطیل شکل حرارتی و یک ساختمان مسکونی مقایسه گردید. با استفاده از ضریب همبستگی و تحلیل آن تطابق خوبی (R^2 به یک نزدیک می شود) میان نتایج شبیه سازی و داده های تجربی به دست آمد و این سامانه پیش بینی کافی برای درک عملکرد حرارتی ارائه می کند.

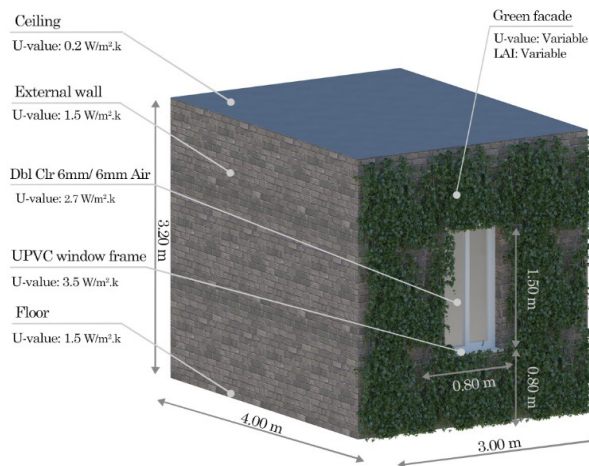
مدل انتخاب شده برای شبیه سازی نمای سبز مطابق با شکل ۳ بر اساس الزامات عمومی مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شد. بر همین اساس اتاقی به ابعاد ۳ در ۴ متر (حداقل سطح به مترمربع برای فضای اقامت اصلی واحد مسکونی) و ارتفاع ۳.۲ متر (حداقل ارتفاع برابر ۲.۶ متر مفید که با در نظر گرفتن سقف و کف ارتفاع نهایی برابر با ۳.۲ متر) است. فضا از جهت جنوب دارای پنجره بوده و نسبت سطح نورگذر به کف برابر ۱:۸ بر اساس الزامات نور و هوا در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان است. ویژگی های مدل پایه در جدول ۴

جدول ۴: ویژگی های ساختاری اتاق جهت شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر

عنوان	ویژگی
موقعیت	اصفهان
طول و عرض جغرافیایی	۳۲.۶۵ و ۵۱.۶۷
نوع کاربری ساختمان ^۷	مسکونی

عنوان	ویژگی
تراکم اشغال افراد (نفر بر مترمربع) ^۸	۰.۰۱۸۸
دمای نقطه تنظیم گرمایش ^۹	۲۱
دمای تنظیم گرمایش در زمان عدم استفاده ^{۱۰}	۱۲
دمای نقطه تنظیم سرمایش ^{۱۱}	۲۵
دمای تنظیم گرمایش در زمان عدم استفاده ^{۱۲}	۲۸
مدل پنجره	شیشه دوجداره شفاف، بدون سایه بان
نوع شیشه	شیشه ۶ میلی متر شفاف - هوا ۶ میلی متر
ساختار قاب پنجره	یوپی وی سی ^{۱۳}
روشنایی	ال ای دی ^{۱۴}
نوع سامانه گرمایش ^{۱۵}	روش بهینه ^{۱۶}
تهویه هوا ^{۱۷}	بدون تهویه مکانیکی

شکل ۳: نمایه اتاق شبیه سازی شده برای محاسبات در نرم افزار



و لایه خارجی دیوار، ارتفاع طبقاتی ساختمان و میزان عملکرد حرارتی ساختمان می شود که در جدول ۵ به آن ها اشاره شده است و در ادامه به شرح جزئیات پرداخته می شود.

۳-۳- متغیرهای تحقیق

متغیرهای پژوهش شامل شاخص سطح برگ، ضریب هدایت حرارتی گیاه، ضخامت لایه هوا بین نمای سبز

جدول ۵: جدول متغیرهای پژوهش

عنوان متغیر	شاخص سطح برگ گیاهان	ضریب هدایت حرارتی گیاهان	ضخامت لایه هوا بین نمای سبز و لایه خارجی دیوار	ارتفاع طبقاتی ساختمان	میزان عملکرد حرارتی ساختمان
واحد اندازه گیری	----	$W/m^2.k$	Cm	طبقه (۳.۲ متر)	KWh/m^2
نقش متغیر			مستقل		وابسته
نوع متغیر			کمی		



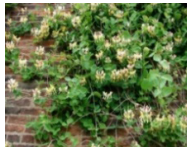



۴. یافته‌های تحقیق

۴-۱- مرحله اول: انتخاب گیاهان متناسب با اقلیم

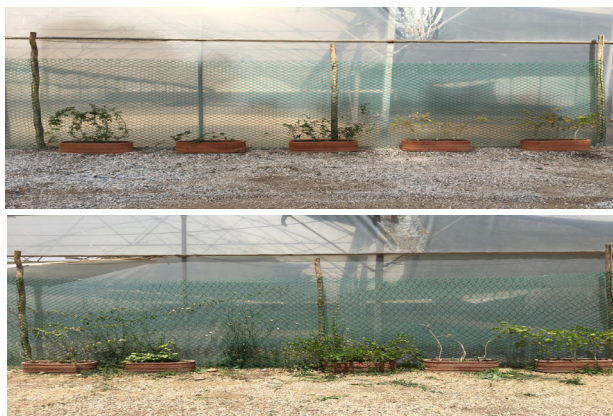
نحوه انتخاب گیاهان در این مقاله باتوجه به تنوع ساختاری سامانه سبز عمودی، محدود به نمای سبز شده است که گیاه مدنظر در این سامانه از نوع گیاهان بالارونده به‌شمار می‌آید. در دسته‌بندی گیاهان بالارونده، این گیاهان به حدود ۲۷ گونه تقسیم‌بندی می‌شوند (Farahmand, 2017, 34). باتوجه به ویژگی‌های اقلیمی شهر اصفهان از جمله تابستان‌های گرم و خشک، تنوع گیاهی محدودتری مقاوم به خشکی هوا و تابش زیاد خورشید به دست آمد. به همین منظور روش جمع‌آوری داده‌ها در این مرحله با

رجوع به کتاب گیاهان بالارونده زینتی (پیچ‌های زینتی) و درختچه‌های دیوارپوش (Farahmand 2017, 22) و از طریق مصاحبه با مهندسان و متخصصین در رشته‌های کشاورزی و باغبانی به‌دست آمد. نتیجه این مرحله شناسایی گیاهان پاپیتال، موچسب، پیچ گلیسین، پیچ اناری، امین‌الدوله و پیچ ساعتی است که در جدول ۶ و شکل ۴ قابل مشاهده است. همه گیاهان اشاره شده در مدول‌هایی واحد به طول یک متر به صورت خطی کاشته شدند. برای مقایسه صحیح بین گیاهان مورد آزمایش، سن گیاهان یکسان در نظر گرفته شده است.

جدول ۶: گیاهان نمونه جهت انجام آزمایشات

پیچ گلیسین	پیچ اناری	پیچ امین‌الدوله	پاپیتال (عشقه)	موچسب معمولی	پیچ ساعتی
Wisteria Sinensis	Campsis Radicans	Lonicera Japonica	Hedera Helix	Parthenocissus Tricuspidata	Passiflora incarnata
برگریز	برگریز	همیشه‌سبز	همیشه‌سبز	برگریز	همیشه‌سبز
					

شکل ۴: گیاهان انتخاب‌شده در مرحله اول، فصل پاییز و بهار



برنامه لوکس لایت‌متر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از فرمول‌های زیر، اختلاف میزان روشنایی و دما در پشت و جلوی گیاهان که به ترتیب بر حسب لوکس و درجه سانتی‌گراد است به وات بر مترمربع و کلورین تبدیل گشت (جدول ۷). با تقسیم این دو عدد ضریب رسانش حرارتی هر گیاه به‌دست می‌آید که در ادامه این متغیر جهت شبیه‌سازی نمای سبز در نرم‌افزار دیزاین بیلدر تعریف می‌شود.

۴-۲- مرحله دوم: محاسبه ضریب رسانش حرارتی گیاهان

برای شبیه‌سازی نمای سبز در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نیاز به ضریب رسانش حرارتی هر گیاه است و به دلیل در دسترس نبودن این اطلاعات موجب شد تا با انجام آزمایشات و داده‌های به‌دست آمده از روشنایی و دما بتوان به این ضریب بر حسب لوکس دست پیدا کرد. داده‌های میزان دما و نور تابشی خورشید با دماسنج فرورسرخ و

$$Lux * 0.01 = w/m^2$$

$$(w/m^2) / ^\circ k = (w/m^2) * (1/^\circ k) = U$$

$$^\circ c + 273.15 = ^\circ k$$

$$U = (Lux * 0.01) / (^\circ c + 273.15)$$

تبدیل واحد میزان روشنایی از لوکس به وات بر مترمربع

ضریب رسانش حرارتی با تقسیم میزان روشنایی بر دما

تبدیل واحد دما از درجه سانتی‌گراد به کلوین

فرمول کلی

جدول ۷: مشخصه ضریب رسانش حرارتی گیاهان نیمه اول و دوم سال به واحد وات بر مترمربع کلوین

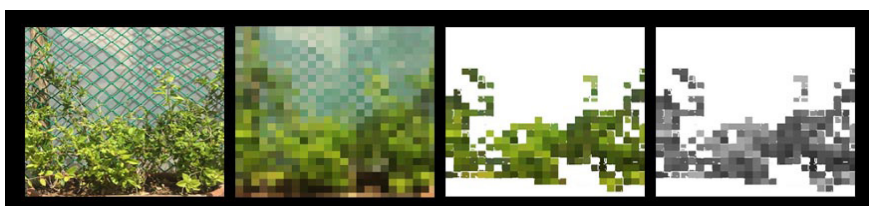
پیچ گلابیسین	پیچ اناری	پیچ امین‌الدوله	پاپیتال	موچسب	پیچ ساعتی
۰.۴۱۴	-	۰.۱۱۸	۰.۲۲۵	۰.۰۷۸	۰.۱۷۵
۰.۲۱۶	-	۰.۲۶۰	-	۰.۰۸۶	۰.۰۹۵
۰.۳۶۸	۰.۰۷۶	۰.۳۴۱	-	۰.۱۶۰	۰.۴۲۸
۰.۳۶۷	۰.۲۱۲	۰.۳۶۶	-	۰.۰۹۲	۰.۴۸۴
۰.۲۹۹	۰.۲۳۶	۰.۱۱۶	-	۰.۲۳۷	۰.۴۳۷
۰.۲۱۴	۰.۲۲۷	۰.۲۵۱	-	۰.۱۹۵	۰.۴۲۲
۰.۳۳۳	۰.۱۷۵	۰.۲۱۵	۰.۲۲۵	۰.۱۳۱	۰.۳۲۴
۰.۲۲۳	۰.۱۱۰	۰.۱۱۰	۰.۱۲۷	۰.۰۹۹	۰.۱۵۴
۰.۳۳۹	۰.۰۴۱	۰.۱۸۲	۰.۱۲۴	۰.۱۶۵	۰.۰۴۳
۰.۰۹۴	-	۰.۱۳۷	۰.۱۶۸	۰.۱۸۵	۰.۰۸۳
-	-	۰.۲۰۳	۰.۲۴۶	-	۰.۰۷۳
-	-	۰.۱۲۸	۰.۰۴۵	-	۰.۱۵۵
۰.۲۱۹	۰.۰۷۵	۰.۱۵۲	۰.۱۴۲	۰.۱۴۹	۰.۱۰۲

و تصاویر به شکل سیاه و سفید درآمد. باتوجه به پیکسلی بودن تصاویر نهایی برای همه گیاهان در ماه‌های مختلف به منظور سنجش شاخص سطح برگ هر تصویر به صورت درصد بیان شده است تا میزان این شاخص که عددی بین ۰ تا ۱۰ است، برای هر گیاه به دست آید. در شکل ۶ و جدول ۸ در ماه‌های مختلف سال این ساده‌سازی برای شاخص سطح برگ گیاهان در نمای سبز به صورت درصد به نمایش گذاشته شده است.

۴-۳- مرحله سوم: اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

برای به‌دست آوردن شاخص سطح برگ هر گیاه در طول یک سال در یک روز از اواسط هر ماه با استفاده از دوربین دیجیتال به عکسبرداری از گیاهان در فاصله دو متری پرداخته شد. مطابق با شکل ۵ عکس‌ها به شکل مربع و یکسان تبدیل شدند و ساده‌سازی تصاویر به شکل شطرنجی با نرم‌افزار فتوشاپ ۲۰۱۸ انجام شد. قسمت‌های اضافی تصویر که فاقد برگ هستند، حذف شد

شکل ۵: روند ساده‌سازی تصویر گیاهان برای شاخص سطح برگ



ساوج، ندا و دیگران

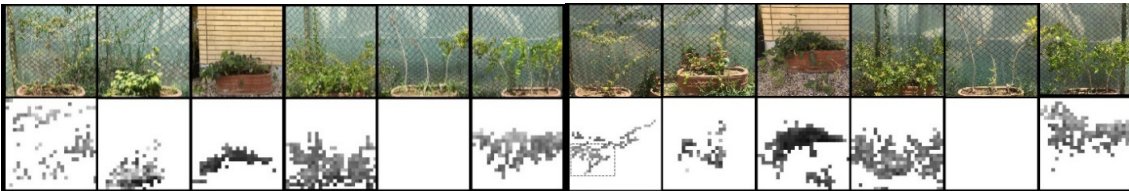
شکل ۶: ساده‌سازی تصویر گیاهان در طول سال



۱۶ آبان - ۲۱ آذر



۶ بهمن - ۱۸ فروردین



۲۹ اردیبهشت - ۲۵ خرداد



۲۶ تیر - ۱۶ مرداد

جدول ۸: شاخص سطح برگ گیاهان بدون واحد متغیر بین ۰ تا ۱۰

	پیچ ساعتی	موچسب	پاپیتال	پیچ امین‌الدوله	پیچ اناری	پیچ گلابسین
۹۹.۸.۱۶	۵.۴	۱.۵	۳.۱	۴.۹	۳.۶	۳.۶
۹۹.۹.۲۲	۴.۹	-	۴.۹	۳.۶	-	-
۹۹.۱۱.۶	۴.۴	-	۴.۹	۶.۱	-	-
۱۴۰۰.۱.۱۸	۲.۳	۲.۰	۳.۹	۶.۱	-	۱.۱
۱۴۰۰.۲.۲۹	۴.۲	۵.۴	۲.۷	۸.۱	-	۶.۱
۱۴۰۰.۳.۲۵	۴.۹	۳.۰	۵.۷	۸.۵	-	۶.۴
۱۴۰۰.۴.۲۶	۵.۶	۵.۹	-	۱۰.۰	۱.۵	۶.۷
۱۴۰۰.۵.۱۶	۵.۷	۵.۶	-	۹.۹	۲.۰	۶.۹
۱۴۰۰.۵.۳۰	۵.۹	۶.۱	-	۱۰	۲.۵	۷.۲

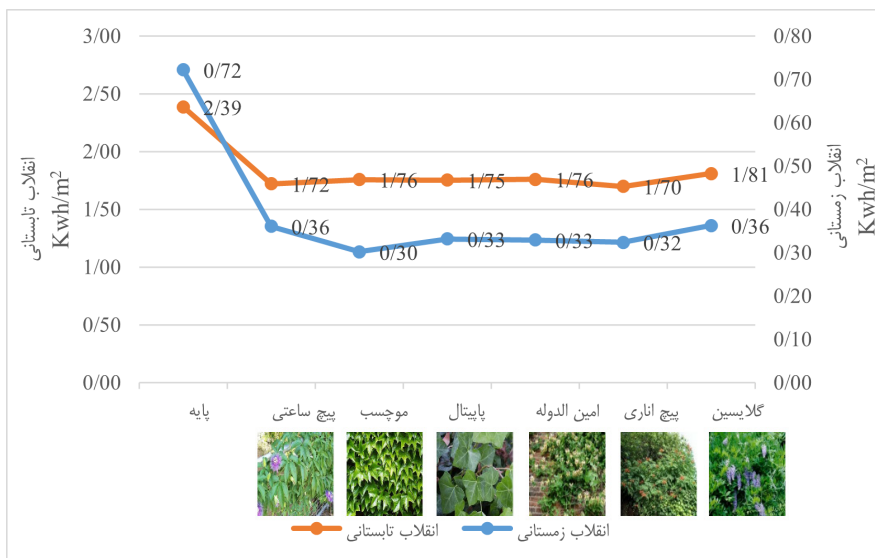
۴-۴-۴ مرحله چهارم: شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر

این نرم‌افزار، از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در حوزه انرژی است. موتور شبیه‌سازی آن انرژی پلاس می‌باشد. با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر و داده‌های به‌دست آمده از ضریب هدایت حرارتی و شاخص سطح برگ نمای سبز با گیاهان مختلف انتخاب شده، مدل‌ها شبیه‌سازی گردید و مورد تحلیل واقع شد.

۴-۴-۱- تأثیر نمای سبز و ضریب هدایت حرارتی

با بررسی میزان تاثیر ضریب هدایت حرارتی گیاهان در نمای سبز مطابق با شکل ۷ با ثابت در نظرگرفتن میزان شاخص سطح برگ در اتاقک مدل‌سازی شده در انقلاب تابستانی و زمستانی تفاوت بیش از ۴۰۰ و ۶۰۰ وات ساعت به ازای هر مترمربع نسبت به مدل پایه نشان داده می‌شود که خود گویای اثر وجود نمای سبز است.

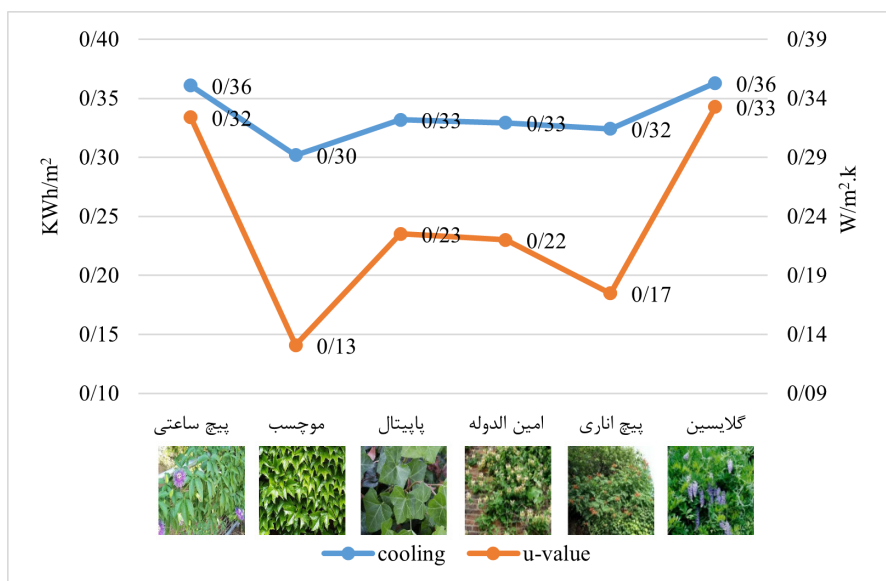
شکل ۷: تأثیر نمای سبز در کاهش مصرف انرژی در انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی



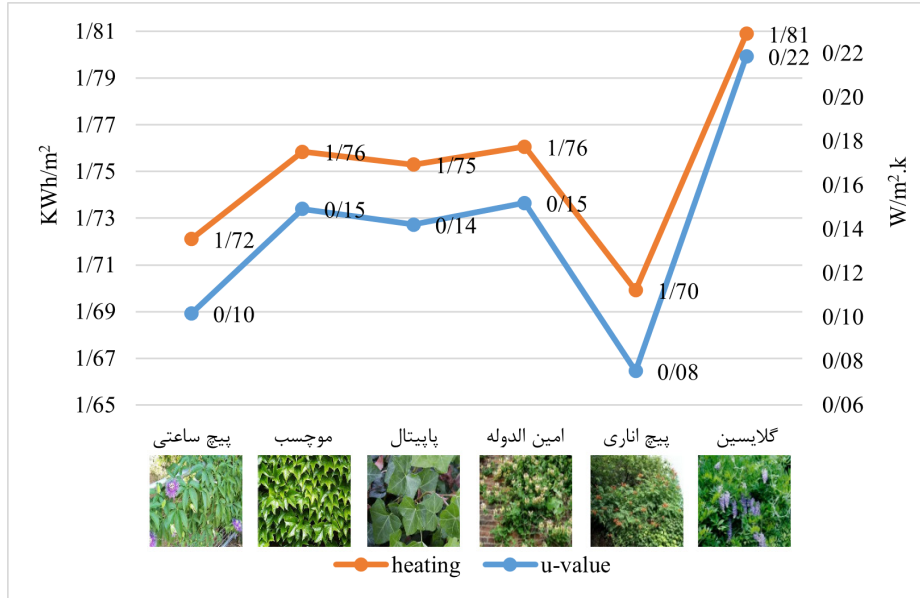
همچنین، باتوجه به انقلاب زمستانی با افزایش ضریب هدایت حرارتی گیاهان انرژی مصرفی برای گرمایش در مدل شبیه‌سازی شده نیز افزایش می‌یابد.

با مقایسه ضریب هدایت حرارتی در شش گیاه مذکور در انقلاب تابستانی چنانچه در شکل ۸ مشخص است میزان ضریب هدایت حرارتی با میزان انرژی که صرف سرمایش فضای داخل می‌گردد، ارتباط مستقیم دارد.

شکل ۸: تأثیر ضریب هدایت حرارتی گیاهان در انقلاب تابستانی و زمستانی



ساوج، ندا و دیگران

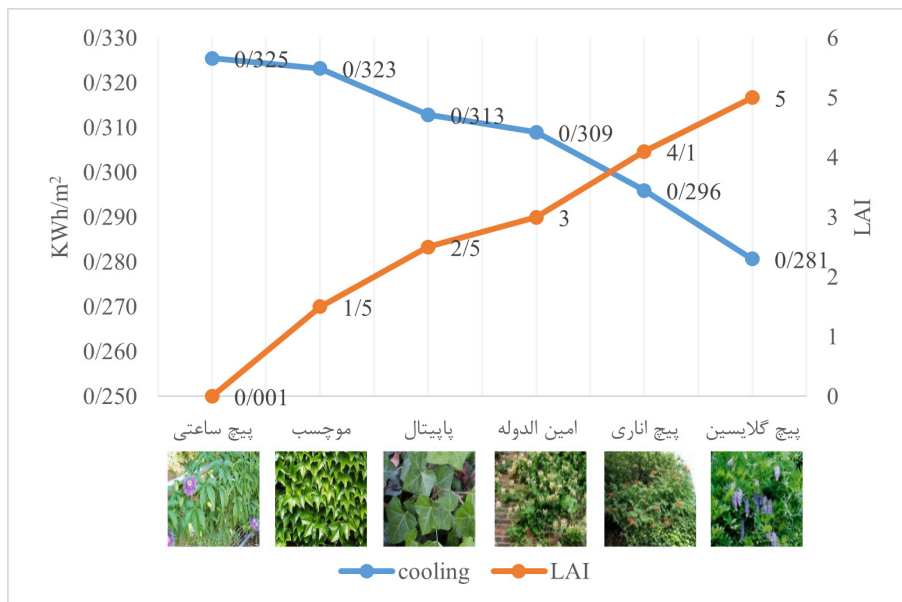


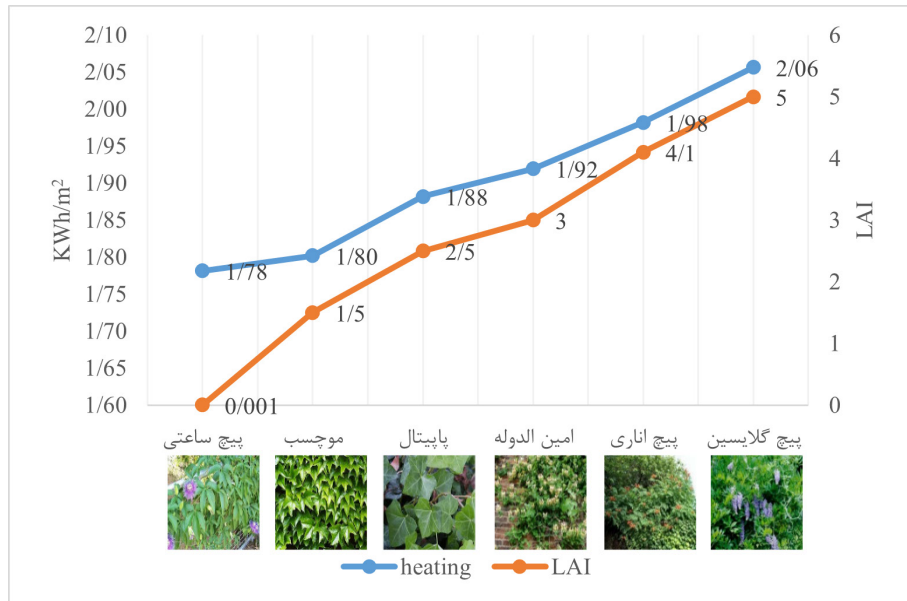
تابستانی با افزایش شاخص سطح برگ در گیاه که موجب افزایش میزان سایه می‌شود، کاهش میزان بار سرمایشی مشاهده شد. همچنین با داده‌های به‌دست آمده در انقلاب زمستانی افزایش شاخص سطح برگ و میزان سایه افزایش بار گرمایشی را نیز به‌همراه دارد.

۴-۴-۲- تأثیر نمای سبز و شاخص سطح برگ

در شکل ۹ اثربخشی شاخص سطح برگ گیاهان در انقلاب تابستانی و زمستانی با تحلیل رفتار یک گیاه به منظور ثابت بودن ضریب هدایت حرارتی آن صورت گرفت. گیاه پیچ امین‌الدوله به دلیل برگ‌ریز نبودن آن در فصل زمستان انتخاب مناسب است. در انقلاب

شکل ۹: تأثیر شاخص سطح برگ در انقلاب تابستانی و زمستانی



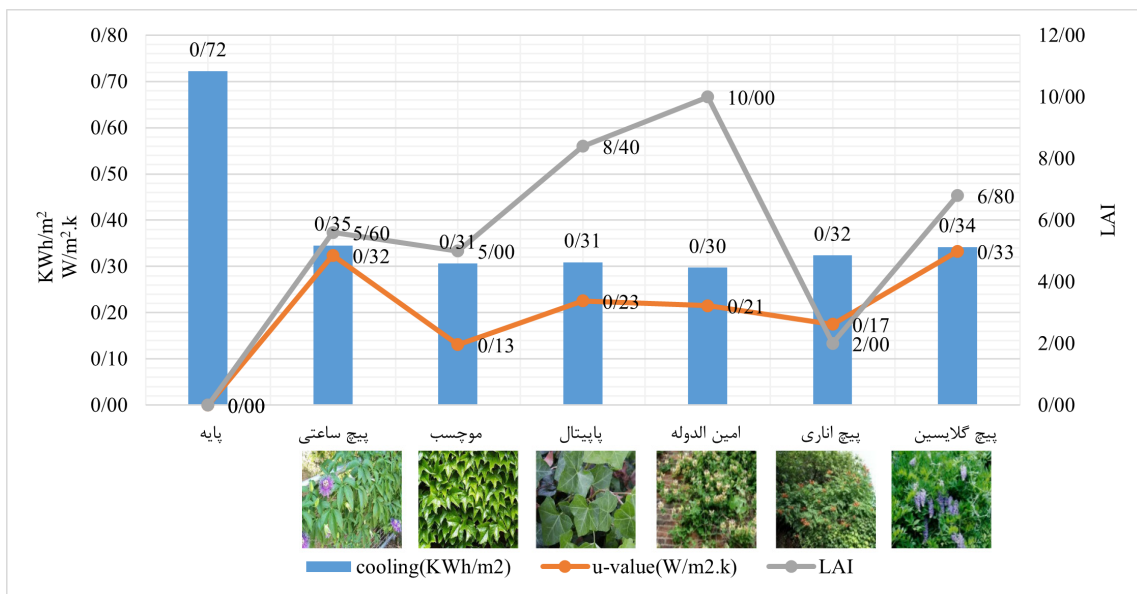


پایه بیش از ۳۷۰ وات ساعت به ازای هر مترمربع از انرژی مصرفی برای سرمایه‌سازی ساختمان کاهش داد. بیشترین تأثیر در کاهش مصرف انرژی توسط گیاه پیچ امین‌الدوله است و پس از آن به ترتیب گیاهان موچسب، پاپیتال، پیچ اناری، پیچ گلابسین و در آخر پیچ ساعتی اثرگذار بوده‌اند.

۴-۳- تأثیر نمای سبز و مصرف انرژی

هر شش گیاه در انقلاب تابستانی و زمستانی با ویژگی‌های ضریب هدایت حرارتی و شاخص سطح برگ بررسی شدند تا این دو ویژگی که از عناصر جدانشدنی گیاهان هستند، با یکدیگر تحلیل شوند. در شکل ۱۰ تأثیر هم‌زمان این دو ویژگی در انقلاب تابستانی در نمای سبز نسبت به حالت

شکل ۱۰: مقایسه تأثیر عملکرد حرارتی شش گیاه در انقلاب تابستانی



از موارد تأثیر نهایی بر مصرف انرژی برگرفته از افزایش یافتن درصد هر یک از این دو مؤلفه است. در مجموع، دو حالت اشاره شده به‌دور از انتظار نیست؛ اما در پانزده حالت با مقایسه دوبه‌دو گیاهان، دو مورد (گیاهان ۵-۶ و ۵-۶) با وجود غالب بودن شاخص سطح برگ، مؤلفه ضریب هدایت حرارتی بر میزان مصرف انرژی اثرگذار بوده است.

در نمودار بالا مشاهده می‌شود که شاخص سطح برگ با میزان سرمایه‌سازی در تابستان رابطه معکوس دارد؛ اما یک گیاه به‌صورت هم‌زمان تأثیر شاخص سطح برگ و ضریب هدایت حرارتی را به‌همراه دارد. چنانچه در جدول ۹ استخراج شده است، در برخی حالات تغییر شاخص سطح برگ و ضریب هدایت حرارتی هم‌سو با یکدیگر هستند که نتیجه تغییر مصرف انرژی روشن است. اما در برخی دیگر

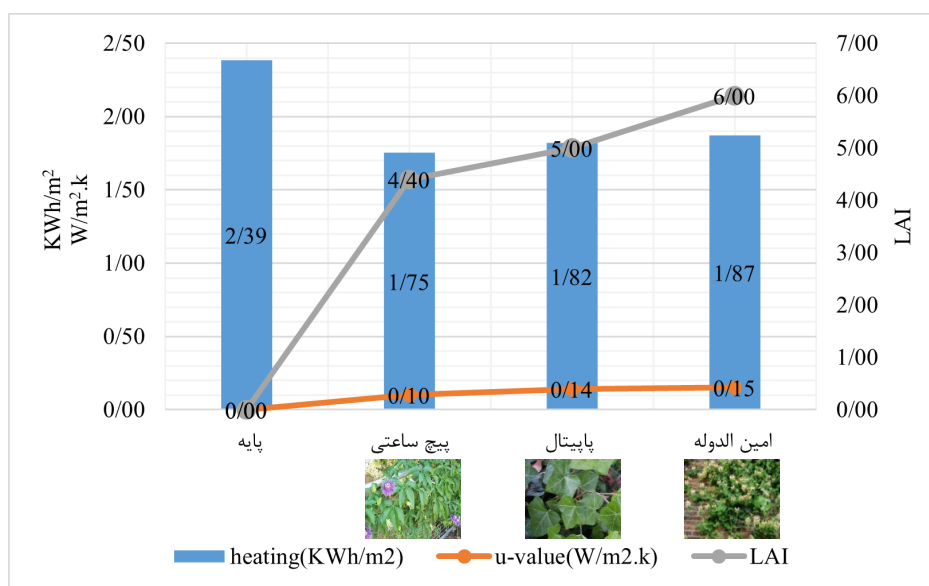
جدول ۹: مقایسه میزان تأثیرگذاری شاخص سطح برگ و ضریب هدایت حرارتی

اثرگذاری غالب	تغییرات غالب	تغییر مصرف انرژی سرمایشی (%)	تغییر ضریب هدایت حرارتی (%)	تغییر شاخص سطح برگ (%)
uvalue	uvalue	-۱۱	-۵۹	-۱۱
تغییرات همراستا	LAI	-۱۱	-۲۸	۵۰
تغییرات همراستا	LAI	-۱۴	-۳۴	۷۹
uvalue	LAI	-۹	-۴۷	-۶۴
LAI	LAI	-۳	۳	۲۱
تغییرات همراستا	uvalue	۰	۷۷	۶۸
LAI	LAI	-۳	۶۲	۱۰۰
تغییرات همراستا	LAI	۳	۳۱	-۶۰
uvalue	uvalue	۱۰	۱۵۴	۳۶
تغییرات همراستا	LAI	-۳	-۹	۱۹
LAI	LAI	۳	-۲۶	-۷۶
تغییرات همراستا	uvalue	۱۰	۴۴	-۱۹
LAI	LAI	۷	-۱۹	-۸۰
تغییرات همراستا	uvalue	۱۳	۵۷	-۳۲
uvalue	LAI	۶	۹۴	۲۴۰

را دارا هستند. ضریب هدایت حرارتی گیاهان در فصل زمستان به دلیل تغییرات فصلی بسیار نزدیک به هم بوده و حتی می‌توان آن‌ها را یکسان در نظر گرفت و تأثیر اصلی از جانب شاخص سطح برگ و میزان سایه‌اندازی روی دیوار است که با افزایش آن در فصل زمستان مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد.

مطابق با شکل ۱۱ در انقلاب زمستانی گیاهان برگ‌ریز موجب پیچ اناری و پیچ گلابی از آزمایش حذف شده و گیاهان مانده که همیشه سبز هستند، مورد مقایسه قرار گرفتند. در این حالت، تغییرات مصرف انرژی در حدود ۵۰۰ تا بیش از ۶۰۰ وات ساعت به‌ازای مترمربع است. در مرتبه اول پیچ ساعتی و پس از آن گیاهان پاپیتال و پیچ امین‌الدوله بیش‌ترین کاهش مصرف انرژی گرمایشی

شکل ۱۱: مقایسه عملکرد حرارتی چهار گیاه از شش گیاه در انقلاب زمستانی

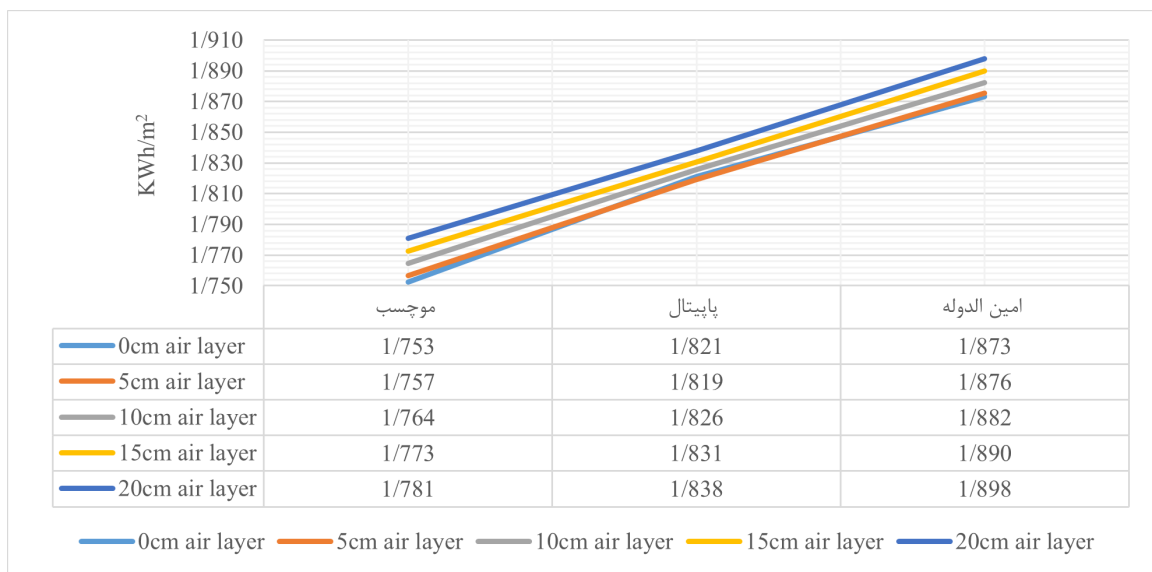
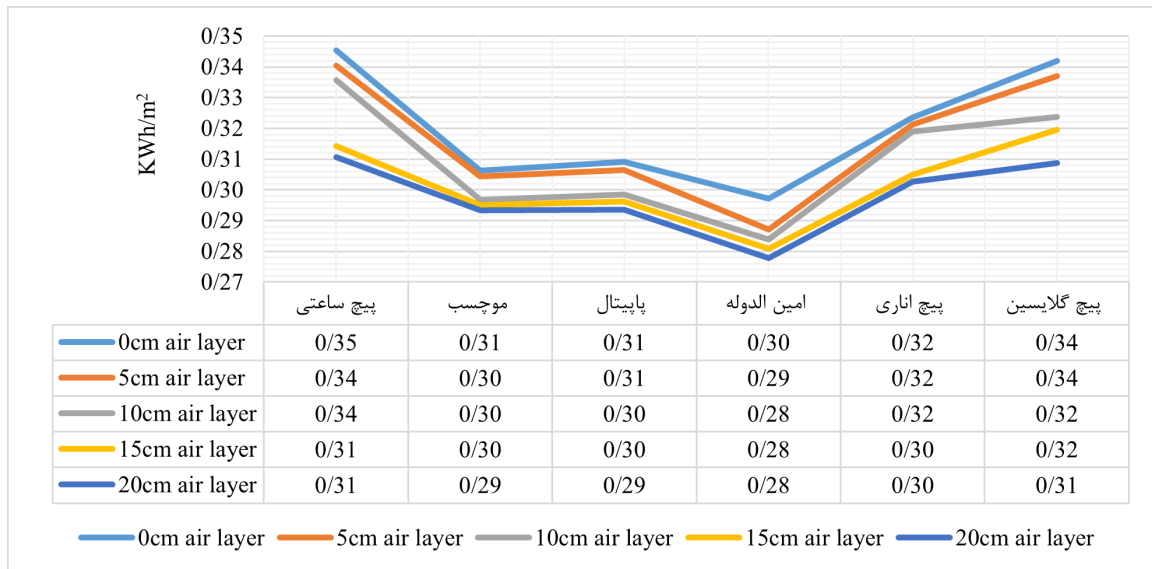


هوا و امین‌الدوله با ۵ سانتیمتر لایه هوا با کم‌ترین میزان مصرف انرژی هستند. در انقلاب زمستانی برعکس انقلاب تابستانی قرار دادن لایه هوا بین نمای سبز و لایه خارجی دیوار موجب افزایش مصرف انرژی به منظور گرمایش می‌گردد. لذا بیش‌ترین کاهش مصرف انرژی در انقلاب زمستانی مربوط به پیچ ساعتی بدون لایه هوا است و پس از آن به ترتیب پیچ ساعتی با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ سانتی‌متر، پایتال با ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ سانتی‌متر و در نهایت پایتال بدون در نظر گرفتن لایه هوا بوده و که این ۱۰ مورد نیز نسبت به کلیه شبیه‌سازی‌های صورت گرفته دارای کم‌ترین میزان مصرف انرژی هستند.

۴-۴-۴- تأثیر نمای سبز و ضخامت لایه هوا

ضخامت لایه هوا بین نمای سبز و لایه خارجی دیوار به ترتیب در ضخامت‌های صفر، پنج، ده، پانزده و بیست سانتی‌متر مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است در انقلاب تابستانی با افزایش ضخامت لایه هوا، انرژی مصرفی کاهش می‌یابد که اثرگذارترین لایه هوا با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر است. کم‌ترین میزان مصرف انرژی را پیچ امین‌الدوله با ۲۰ سانتی‌متر لایه هوا به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب پیچ امین‌الدوله با ۱۵، ۱۰، ۵ سانتی‌متر لایه هوا، موجسب با ۲۰، ۱۵، ۱۰ سانتی‌متر لایه امین‌الدوله بدون لایه هوا، پیچ اناری با ۲۰ سانتی‌متر لایه

شکل ۱۲: مقایسه تأثیر انواع ضخامت لایه هوای هر گیاه در عملکرد حرارتی انقلاب تابستانی و زمستانی

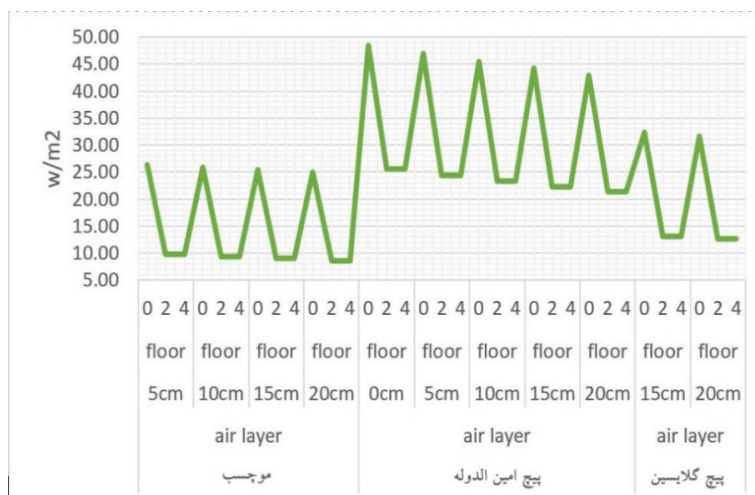
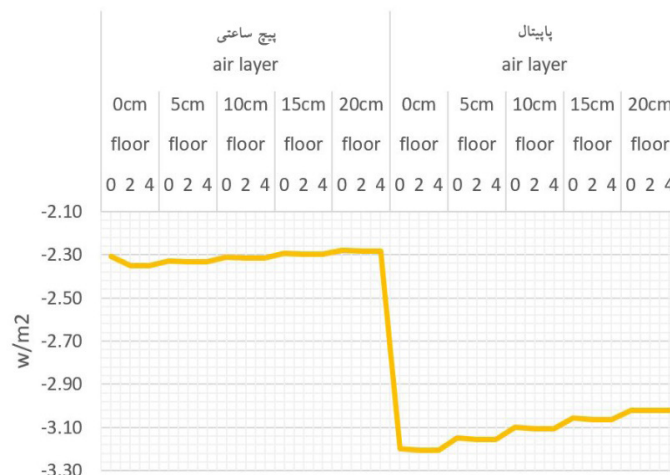


۴-۴-۵- تأثیر نمای سبز در ارتفاع طبقاتی ساختمان با لایه هوا

تفاوت محسوسی بین طبقاتی که در ارتفاع قرار گرفته‌اند، وجود نداشت. گیاه موجسب نسبت به دو گیاه دیگر شرایط بهتری را از نظر تاثیرگذاری در کاهش مصرف انرژی داشت. حالت بهینه که باعث نفوذ هوای کم‌تر به داخل بنا می‌شود، نمای سبز با گیاه موجسب، با لایه هوای ۲۰ سانتیمتر در طبقه دوم و چهارم است. در انقلاب زمستانی، گیاه پیچ ساعتی نسبت به گیاه پاپیتال رفتار بهتری در جهت کاهش مصرف انرژی از خود نشان داده است که بیانگر مقاومت بیشتر آن نسبت به از دست دادن حرارت داخل بنا به بیرون است. حالت بهینه مصرف انرژی در انقلاب زمستانی گیاه پیچ ساعتی با ۲۰ سانتی‌متر لایه هوا در کلیه طبقات است.

با کمک شبیه‌سازی نمای سبز با گیاهان یاد شده، به بررسی میزان اثرگذاری در ارتفاع‌های متفاوت پرداخته شد. با گزینش از شبیه‌سازی بخش پیش، ۱۰ حالت در انقلاب تابستانی و زمستانی که رفتار بهینه از خود نشان داده‌اند، انتخاب گردید. در این مرحله ارتفاع شبیه‌سازی شده باتوجه به ارتفاع معمول ساختمان‌سازی در شهر اصفهان در سه حالت؛ همکف، دوم و چهارم صورت گرفته است. باتوجه به شکل ۱۳ در انقلاب تابستانی، اختلاف ارتفاع در طبقات تأثیر زیادی از خود نشان نمی‌دهد. با قرارگیری نمای سبز در طبقه دوم و چهارم نسبت به همکف، کاهش نفوذ گرما به داخل بنا ملاحظه شد، اما

شکل ۱۳: مقایسه نفوذ گرما به داخل در یک روز تابستانی (راست) و مقایسه گرمای از دست‌رفته در یک روز زمستانی (چپ) در اختلاف ارتفاع‌های متفاوت

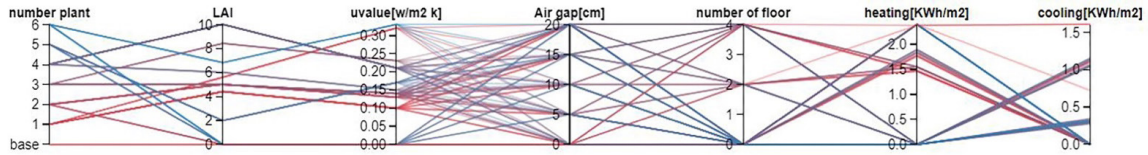


۴-۵- یافته‌های کلی

برای دسته‌بندی بهتر نتایج شبیه‌سازی‌ها از دیزاین

اکسپلورر استفاده شد و نمودار خطی آن در شکل ۱۴ به نمایش درآمده است.

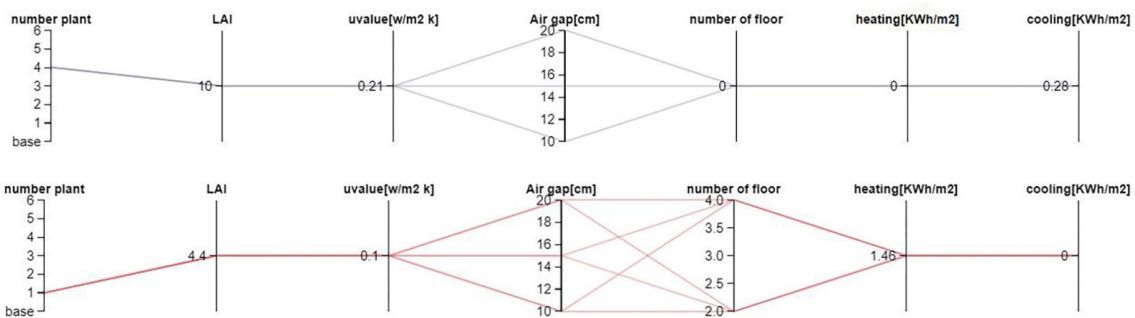
شکل ۱۴: مشخصات کلیه مدول‌های شبیه‌سازی شده



همچنین در انقلاب زمستانی، گیاه پیچ ساعتی با شاخص سطح برگ ۴.۴ و ضریب هدایت حرارتی $0.1 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ و لایه هوای ۲۰ سانتی‌متر در طبقات بالا (طبقه ۲ و ۴) کم‌ترین میزان مصرف انرژی گرمایش را داشته که نسبت به حالت مرجع ۳۸ درصد به‌ازای هر مترمربع کاهش مصرف داشته است.

تحقیقات انجام‌شده طبق شکل ۱۵ نشان داد که در انقلاب تابستانی گیاه پیچ امین‌الدوله با شاخص سطح برگ ۱۰ و ضریب هدایت حرارتی $0.21 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ با وجود لایه هوای ۲۰ سانتی‌متری در بین نمای سبز و لایه بیرونی ساختمان در طبقه همکف، حالت بهینه در کاهش میزان مصرف انرژی سرمایش را دارد و موجب کاهش ۶۱ درصد مصرف انرژی به‌ازای هر مترمربع نسبت به حالت پایه شده است.



شکل ۱۵: نمایش مشخصه‌های حالت بهینه در انقلاب تابستانی و زمستانی





برق به انرژی اولیه، به ترتیب ۱.۱ و ۳.۷ است. در مجموع باتوجه به یافته‌های پژوهش، گیاه پیچ ساعتی بیش‌ترین میزان کاهش مصرف انرژی را دارد؛ اما با در نظر گرفتن و محاسبه انرژی اولیه، در نهایت گیاه پیچ امین‌الدوله با کاهش بیش‌تری از مصرف انرژی در انقلاب‌های تابستانی و زمستانی تأثیرگذار است، در جدول ۱۱ به نمایش درآمده است.

در جدول ۱۰ درصد کاهش مصرف انرژی این دو گیاه در انقلاب‌های تابستانی و زمستانی جداگانه بیان گردیده است. باتوجه به استاندارد برچسب انرژی در ایران معیار مصرف انرژی ساختمان بر اساس انرژی اولیه^{۱۸} است. جهت محاسبه انرژی اولیه ساختمان‌های مسکونی لازم است که تمامی حامل‌های انرژی به‌صورت معادل انرژی مصرفی در مبدأ در نظر گرفته شوند. ضرایب تبدیل سوخت گاز و

جدول ۱۰: میزان کاهش مصرف انرژی موارد بهینه در انقلاب تابستانی و زمستانی

پیچ ساعتی	پیچ امین‌الدوله	متغیر
		
۵۷٪	۶۱٪	کاهش مصرف انرژی جهت سرمایش (به‌ازای هر مترمربع)
۳۸٪	۲۱٪	کاهش مصرف انرژی جهت گرمایش (به‌ازای هر مترمربع)
۴۷.۵٪	۴۱٪	مجموع

جدول ۱۱: احتساب ضرایب ارزشی گاز و برق در میزان کاهش مصرف انرژی موارد بهینه در انقلاب تابستانی و زمستانی

پیچ امین الدوله	پیچ ساعتی	متغیر
		
۱.۰۴	۱.۱۵	سرمایش برق (به ازای هر مترمربع)
۲.۰۹	۱.۶	گرمایش گاز (به ازای هر مترمربع)
۳.۱۳	۲.۷۵	مجموع
٪۶۳	٪۴۸	کاهش مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش در انقلاب‌های تابستانی و زمستانی (به ازای مترمربع)

۵. نتیجه‌گیری

نمای سبز یکی از الگوهای قابل استفاده در معماری است که نه تنها به جلوه بصری محیط زندگی کمک می‌کند، بلکه مزایای محیط زیستی و اجتماعی از جمله کاهش آلودگی و افزایش سبزی‌نگی شهری را به همراه دارد. رطوبت حاصل از گیاهان نمای سبز به کاهش خشکی هوا به خصوص در اقلیم‌های خشکی مانند اصفهان کمک شایانی می‌کند. علاوه بر مزایای یاد شده، می‌توان به تأثیر سامانه سبز عمودی در کاهش مصرف انرژی اشاره کرد. باتوجه به مطالب بیان شده، نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که دو عامل شاخص سطح برگ و ضریب هدایت حرارتی از ویژگی‌های ذاتی گیاهان بر عملکرد حرارتی ساختمان اثرگذار هستند. این اثرگذاری به ویژه در مصرف انرژی سرمایشی، در برخی از موارد از عامل ضریب هدایت حرارتی ساختار شکنی کرده و غالب بر عامل شاخص سطح برگ رفتار کرده است. با افزایش مولفه فاصله هوایی بین نمای سبز و دیوار ساختمان در تابستان موجب کاهش مصرف انرژی و در زمستان افزایش آن می‌گردد. متغیر قرارگیری در ارتفاع طبقاتی نسبت به طبقه همکف موجب کاهش نفوذ گرما به داخل می‌شود. حالت بهینه در بین موارد شبیه‌سازی شده گیاه پیچ امین الدوله با شاخص سطح برگ ۱۰ و ضریب هدایت حرارتی $0.21 \text{ w/m}^2.k$ با وجود لایه هوای ۲۰ سانتیمتری

در طبقه همکف با ۶۱ درصد کاهش مصرف انرژی در انقلاب تابستانی و گیاه پیچ ساعتی با شاخص سطح برگ 4.4 و ضریب هدایت حرارتی $0.1 \text{ w/m}^2.k$ و لایه هوای ۲۰ سانتی‌متر در طبقات بالا (طبقه ۲ و ۴) با ۳۸ درصد کاهش مصرف انرژی در انقلاب زمستانی است. در صورت استفاده از این دو گیاه مجموع کاهش مصرف انرژی در طول یک سال به ترتیب برابر است با ۴۱ و ۴۷.۵ درصد. همچنین با احتساب ضرایب ارزشی گاز و برق در داخل مجموع کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش در این دو گیاه به ترتیب ۶۳ و ۴۸ درصد است که کارایی بهتر نمای سبز با گیاه پیچ امین الدوله را نشان می‌دهد.

در این پژوهش با ارزیابی شاخصه‌های سامانه سبز عمودی در ساختمان مسکونی با اقلیم گرم و خشک اصفهان رفتار حرارتی مورد سنجش قرار گرفت و در نهایت تأثیر هر یک از ویژگی‌های نمای سبز بر مصرف انرژی و انتخاب حالت بهینه با در نظر گرفتن مؤلفه‌ها به طور هم‌زمان تعیین شد. در پژوهش‌های آتی می‌توان مولفه‌های دیگر شامل پوشش گیاه، ساختار نمای سبز و دیوار پشت آن و جهت‌های دیگر ساختمان در شرایط آب‌وهوایی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که نور روز در کیفیت محیط داخلی و شرایط سرزندگی و آسایش دارای اهمیت بالایی است، شاخص‌های نور روز و اثرات آن هم می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافی است.

تأییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

درصد مشارکت

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته‌اند.

پی‌نوشت

1. TES1326 Model
2. Lux Light Meter 2.1.1
3. Designbuilder, 7,0,0,096 Version
4. Energyplus, 9.4 Version
5. Leaf Area Index (LAI)
6. U-Value
7. Activity
8. Occupancy Density(People/m²)
9. Heating Temperature
10. Heating Set Back Temperature
11. Cooling Temperature
12. Cooling Setback Temperature
13. UPVC
14. LED
15. HVAC
16. Best Practice
17. Ventilation
18. Primary Energy

فهرست منابع

- Ashineghar ,Sajedah ,Mohamad Reza Salehi Salmi ,Mohamad Hosein Daneshvar ,and Saman Abdanan Mehdizadeh .2021 .Evaluation of Noise Absorption by Dodonaea Viscosa L .Plant as a Common Green Wall in Ahwaz City .*Journal of Research in Environmental Health* .143-53 :(2)7 <https://doi.org/10.22038/jreh.2021.57179.1421>. [in Persian]
- Azmoodeh, Maryam. 2021. Effects of Plants on the Parameters Involved in Thermal Comfort in Urban Space: A Case Study of Urban Green Wall in Tehran City. *Geography and Environmental Planning* 32(3): 67-80. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.128810.1424>. [in Persian]
- Baştanfard, Matin. 2018. Air pollution control by bio-based shells (a solution to control air pollution in Tehran). *Bagh Nazar* 15(65): 25-40. <https://doi.org/10.22034/bagh.2018.74077>. [in Persian]
- Charoenkit, Sasima, Suthat Yiemwattana, and Ninnart Rachapradit. 2020. Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon. *Energy and building* 225. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778820300372>.
- Coma, Julià, Gabriel Pérez, Alvaro de Gracia, Silvia Burés, Miguel Urrestarazu, and Luisa F. Cabeza. 2016. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green façades. *Building and Environment* 111: 228-237. doi: 10.1016/j.buildenv.11.014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316304383>.
- Coma, Julia, Chafer Marta, Perez Gabriel, and Cabeza Luisa F. 2019. How internal heat loads of buildings affect the effectiveness of vertical greenery systems? An experimental study. *Renewable Energy* 151: 919-930. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119317707>.
- Convertino, Fabiana, GiulianoVox, and Evelia Schettini. 2019. Heat transfer mechanisms in vertical green systems and energy balance equations. *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics* 14(1): 7-18. <https://www.semanticscholar.org/paper/Heat-transfer-mechanisms-in-vertical-green-systems-Convertino-Vox/45554007932508cf4fd33e8330e2224969b5f88>.
- Cuimin, Li, Wei Jingshu, and Li Chunying. 2019. Influence of foliage thickness on thermal performance of green façades in hot and humid climate. *Energy and building* 199: 72-87. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819303834>.
- Daemi Baghaei, Abdollah, Elham Shafiee, Amir Arash Chitgar, and Somayeh Asadi. 2021. Investigating the thermal performance of green wall: Experimental analysis, deep learning model, and simulation studies in a humid climate. *Building and environment* 205. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321006028>.
- Dahanayake, K.W.D. Kalani C., and Cheuk Lun Chow. 2017. Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems: Using EnergyPlus simulation program. *Energy and Buildings* 138: 4759-. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816317480>.
- Davis, M. J. M. F. Ramirez, and M.E. Pérez. 2016. More than just a Green Façade: vertical gardens as active air conditioning units. *Procedia Engineering* 145: 1250-1257. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816301680>.
- Davis, M.J.M. F. Ramirez, and M.E. Pérez. 2017. More than just a Green Façade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants. *Building and Environment* 116: 64-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317300100>.
- Ebtekar, Taqi. 2017. *Heart in pure air*. Tehran: Publications of Environmental Protection Organization. [in Persian]
- El Menshawy, Adel Samy, Farouk Mohamed Abdelaziz, and Mahmoud Fathy Nayera. 2022. A comparative study on green wall construction systems, case study: South valley campus of AASTMT. *Case Studies in Construction Materials*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-COMPARATIVE-STUDY-ON-GREEN-WALL-CONSTRUCTION-CASE-Menshawy-Mohamed/cbf540c2fa8aeaf0861a3a2c8d36e6c6820a7dd8>.
- Farahmand, Homayoun. 2017. *Ornamental climbing plants (ornamental vines) and wall covering shrubs*. First edition, Mashhad: Mashhad University Jihad Publications] .in Persian]
- Feng Yang ,Feng Yuan ,Feng Qian ,Zhi Zhuang ,and Jiawei Yao .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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717316177>.
- Hasehzade Haseh, Roya, Mehdi Khazand, and Morteza Ojaghloou. 2018. Optimal thermal characteristics of the courtyard in the hot and arid climate of Isfahan. *Buildings* 8: 166. <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/12/166>.
- He, Yawen, Yamei Zhang, Chao Zhang, and Hongyu Zhou. 2020. Energy-Saving Potential of 3d Printed Concrete Building with Integrated Living Wall. *Energy and Buildings* 222: 110110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110110>.
- Janzadeh, Amirhossein. 2016. Estimate the Mitigation of Environmental Pollutant in Buali street's Multi-Story Car Park of Qazvin by Green Walls. *Hoviatshahr* (1) : 75-84. <http://sanad.iau.ir/fa/Article/Download/795478>. [in Persian]

- Kokogiannakis, Georgios, Jo Darkwa, Sofia Badeka, and Li Yilin. 2019. Experimental comparison of green facades with outdoor test cells during a hot humid season. *Energy & Building* 185: 196-209. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818329906>.
- Koyama, Takuya, Mika Yoshinaga, Hideki Hayashi, Kei-ichiro Maeda, and Akira Yamauchi. 2013. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using free-standing walls. *Building and Environment* 66: 96-103. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313001315>.
- Lee, Louis S. H., and C. Y. Jim. 2019. Energy Benefits of Green-Wall Shading Based on Novel-Accurate Apportionment of Short-Wave Radiation Components. *Applied Energy* 238: 1506-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.161>.
- Li, Zhilei, David H.C. Chow, Jian Yao, Xiao Zheng, and Wei Zhao. 2019. The effectiveness of adding horizontal greening and vertical greening to courtyard areas of existing buildings in the hot summer cold winter region of China: A case study for Ningbo. *Energy and building* 196: 227-239. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818336296>.
- Mahmoudi Zarandi, M., and M. Pourmousa. 2018. A comparative study on details of green walls in different climates. *Environmental Resources Research* 6(2). https://www.researchgate.net/profile/Mahnaz-Mahmoudi-Zarandi-2/publication/343523396_A_comparative_study_on_details_of_green_walls_in_different_climates/links/5f2e27b292851cd302e760c0/A-comparative-study-on-details-of-green-walls-in-different-climates.pdf?origin=publication_detail.
- Mahmoudi Zarandi, Mahnaz, and Nada Pakari. 2014. Extracting Optimized Detail of Green Roof for Decreasing Building Energy Consumption. *Armanshahr Architecture & Urban Development* 6(11): 141-51. https://www.armanshahrjournal.com/article_33471_c0f5860509d3a81d55ec11d3ca9e819c.pdf. [in Persian].
- Kolyaei, Mahyar, Mahdi Hamzenezad, Sanaz Litkoohi, and Payam Bahrami. 2020. The Impact Internal and External Indicators Green Wall on Environmental and Energy Savings Performance. *Journal of Environmental Science and Technology* 1: 253-67. <http://sanad.iau.ir/fa/Article/837143>. [in Persian]
- Mir M. A. 2011. Green facades and building structure. Msc thesis, Delf university of technology, Netherlands. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Af262c218-8801-4425-818f-08726dde5a6c>.
- Mohamed Farid, Faridah Hanim, Sabarinah Sh Ahmad, Abu Bakar Abd. Raub, and Mariam Felani Shaari. 2016. Green "Breathing Facades" for Occupants' Improved Quality of Life. *Procedia – social and behavioral sciences* 234: 173-184. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042816314859>.
- Mohammad Shuhaim, Nur Dinie Afiqah, Suzaini Mohamed Zaid, Masoud Esfandiari, and Eric Lou. 2022. The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates. *Building engineering* 45. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221012870>.
- Morakinyo, Tobi Eniolu, Alan Lai, Kevin Ka-Lun Lau, and Edward Ng. 2019. Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: Case study of Hong Kong. *Urban forestry & urban greening* 37: 42-55. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866717305551>.
- Xinge, Nan, Yan Hai, Wu Renwu, Shi Yan, and Bao Zhiyi. 2020. Assessing the thermal performance of living wall systems in wet and cold climates during the winter. *Energy & building* 208. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819319784>.
- Cosola, V. Oquendo-Di, F. Olivieri, L. Ruiz-Garcia, and J. Bacenetti. 2020. An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. *Journal of environmental management* 254. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31706121/>.
- Othman, Ahmad Ridzwan, and Norshamira Sahidin. 2016. Vertical greening wall as sustainable approach. *Asian Journal of Quality of Life* 1(3). <https://scholar.archive.org/work/mewfw7dc3nbhppo5jsrncngtmry>.
- Ottele M. 2011. The green building envelope vertical greening. Ph.D. thesis, Delf university of technology, Netherlands. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d>.
- Perez, Gabriel, Julià Coma, Salvador Sol, and Luisa F. Cabeza. 2016. Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Applied energy* 187: 424-437. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916316397>.
- Perez-Urrestarazu, Luis, Rafael Fernandez-Canero, Patricia Campos-Navarro, Carlos Sousa-Ortega, and Gregorio Egea. 2019. Assessment of Perlite, Expanded Clay and Pumice as Substrates for Living Walls. *Scientia Horticulturae* 254: 48-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.078>.
- Perini, Katia, Francesca Bazzocchi, Lorenzo Croci, Adriano Magliocco, and Enrica Cattaneo. 2017. The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energyandbuilding* 143: 35-42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817309015>.
- Rupasinghe, H.T., and R. U. Halwatura. 2020. Benefits of implementing vertical greening in tropical climates. *Urban Forestry and Urban Greening* 53. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866719309951>.
- Safavi, Seyed Mohammad Mahdi. 2014. The Role of Green Roofs and Facades from the Passive Defense View, the Case of Green Bodies in the City of Tehran. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design* 1(2): 29-41.

- https://jsaud.sru.ac.ir/article_174_58c7fa02f5e3c0b28085c3fbccf9b44e.pdf. [in Persian]
- Shafiee, Elham, Mohsen Faizi, and Seyed-abbas Yazdanfar. 2020. Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and environment* 181. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320302821>.
 - Sudimac, Budimir, Bratislav Ilic, Vladimir Muncan, and Aleksander S. Anelkovic. 2019. Heat flux transmission assessment of a vegetation wall influence on the building envelope thermal conductivity. *Journal of Cleaner Production* 223: 907-916. <https://www.semanticscholar.org/paper/Heat-flux-transmission-assessment-of-a-vegetation-Sudimac-Ili%C4%87/6e5a16488766b6a97110690c1d43800cc6c74de8>.
 - Taghavi, Lobat. 2014. The role of green roofs and walls in sustainable urban development (case study: Tehran). *Sustainability, development and environment first year* 1: 36-19. [in Persian]
 - Tan, Hang, Xiaoli Hao, Pinhan Long, Qingwei Xing, Yaolin Lin, and Jinhua Hu. 2020. Building Envelope Integrated Green Plants for Energy Saving. *Energy Exploration & Exploitation* 38(1): 222-34. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0144598719875529>.
 - Thomsit-Ireland, Faye, Emmanuel A. Essah, Paul Hadley, and Tijana Blanus. 2020. The impact of green facades and vegetative cover on the temperature and relative humidity within model buildings. *Building and Environment* 181. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320303899>.
 - Torabifar, Samane, and Kiyanoosh Suzanchi. 2021. The investigation, classification, and prioritization of factors affecting the selection of vertical greenery systems as building façade and their structural components. *Naqshejahan- basic studies and new technologies of architecture and planning* 11(1): 64-82. https://bsnt.modares.ac.ir/browse.php?mag_id=1515&slc_lang=en&sid=2. [in Persian]
 - Tudiwer, David, Florian Teichmann, and Azra Korjenic. 2019. Thermal Bridges of Living Wall Systems. *Energy and Buildings* 205: 109522. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109522>.
 - Vasigh, Behzad, and Sara Mohammadi. 2020. Measuring the Efficiency and Thermal Performance of Different Types of Green Walls. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design* 8(2): 185-73. <https://doi.org/10.22061/jsaud.2021.6408.1654>. [in Persian]
 - Vox, Giuliano, Ileana Blanco, and Evelia Schettini. 2018. Green Façades to Control Wall Surface Temperature in Buildings. *Building and Environment* 129: 154-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002>.
 - Widiastuti, Ratih, Juliana Zaini, and Wahyu Caesarendra. 2020. Field Measurement on the Model of Green Facade Systems and Its Effect to Building Indoor Thermal Comfort. *Measurement* 166: 108212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108212>.
 - Irene, Wong, and Andrew N. Baldwin. 2016. Investigating the Potential of Applying Vertical Green Walls to High-Rise Residential Buildings for Energy-Saving in Sub-Tropical Region. *Building and Environment* 97: 34-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.028>.
 - Lei, Zhang, Deng Zhichao, Liang Lisha, Zhang Yu, Meng Qinglin, Wang Junsong, and Mattheos Santamouris. 2019. Thermal behavior of a vertical green facade and its impact on the indoor and outdoor thermal environment. *Energy & building* 204. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881931597X>.
 - Zolfaghari, Alireza, Mehran Saadatnasab, and Elaheh Noroozi Jajarm. 2019. Investigation of the Effect of Green Double Skin Facades on Energy Consumption of High-Rise Buildings in Tehran's Climatic Conditions. *Journal of Modeling in Engineering* 17(56): 51-61. https://modelling.semnan.ac.ir/article_3801_0d93a0d3d1c84404b-606d41302e72815.pdf. [in Persian]

نحوه ارجاع به این مقاله

ساوج، ندا، و نرگس دهقان. ۱۴۰۳. عنوان. نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر ۱۷(۴۶): ۲۲-۱.

DOI: 10.22034/AAUD.2024.376179.2742

URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_187158.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

