ISSN: 2538-3019, EISSN: 2676-4806
DOI: 10.30479/at.2020.11816.1346
دوفصلنامهٔ اندیشهٔ معماری، نشریهٔ علمی، سال چهارم، شمارهٔ هشتم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، صص ۲۳۷-۲۵۱

ارزیابی حرارتی بام های سبز گسترده در قیاس با سایر بام های مسطح در ساختمان‌های مسکونی (با لایه‌ی فوقانی نقره‌ای و سفید)

سید رحمان اقبالی[۱*]، نگار صادقی[۲]، مهناز رزاق رستمی[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۲۸

چکیده

بیان مساله: حدود ۴۰٪ مصرف انرژی جهان مربوط به بخش سرمایش و گرمایش ساختمان‌های مسکونی بوده است. این امر محققان را بر آن داشته تا با بهره‌گیری از مصالح و شیوه‌های ساخت نوین، میزان مصرف انرژی در این حوزه را کاهش دهند. یکی از موثرترین راهکارهای معماری و ساخت بنا در این رابطه استفاده از مصالح مناسب در مرحله‌ی طراحی و ساخت می‌باشد، که در این میان پوشش بام به دلیل ارتباط با فضای خارجی و تاثیرپذیری از تغییرات اقلیمی و جوی در انتقال حرارت میان فضای باز و محیط داخلی ساختمان از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. بنابراین تاثیر مثبت استفاده از پوشش مناسب بام در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها مساله‌ای اثبات شده است

سوال تحقیق: این مساله که عملکرد هر یک از پوشش‌های بام به تفکیک اقلیم‌های گوناگون تا چه اندازه می‌تواند در جهت کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان موثر واقع شود؟ و هر یک از پوشش‌های بام به چه مقدار می‌توانند در کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی موثر واقع شوند؟ موضوعی است که در این مقاله مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

اهداف تحقیق: هدف پژوهش حاضر ارزیابی حرارتی بام سبز گسترده در قیاس با سایر بام‌های متداول همچون بام نقره‌ای(ایزوگام با رویه آلومینیوم) و بام سفید(با پوشش فوقانی شن) در سه شهر اصفهان، تبریز و بندررانزلی با اقلیم‌های متفاوت می‌باشد.

روش تحقیق: روش تحقیق در این مطالعه رویکردی کمی-مقایسه‌ای داشته و در پی اثبات فرضیه با استناد بر شبیه سازی‌های نرم‌افزاری می‌باشد که با مقایسه‌ی نتایج و آنالیزهای مدل شبیه‌سازی شده در هر یک از شهرها و تحلیل همزمان آن‌ها شکل گرفته است. با شبیه سازی در ان پژوهش با بهره‌گیری از نرم‌افزار دیزاین بیلدر صورت گرفته است و در آن به بررسی و قیاس عملکرد حرارتی سه پوشش عنوان شده برای بام پرداخته شده است.

مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: نتایج شبیه‌سازی‌ها بیانگر تفاوت معنادار در عملکرد هر یک از پوشش‌های بام در سه اقلیم و شهر مورد بحث(اصفهان، تهران و بندرانزلی) بوده است. به عنوان مثال مطالعه‌ی حاضر برای اقلیم گرم و خشک استفاده از بام سفید را انتخابی معقول دانسته و این در حالی است که در اقلیم معتدل و مرطوب عمکرد بام سبز نسبت به سایر بام‌ها مناسب‌تر ارزیابی گردیده است. این نتایج بر لزوم توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی مناطق در جهت انتخاب مواد و مصالح مناسب تاکید دارد.

کلمات کلیدی: معماری پایدار، بام سبز، بهینه‌سازی مصرف انرژی، بام نقره ای، بام سفید

[۱*] دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول) S.r.eghbali@arc.ikiu.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران. n.sadeghi222@gmail.com

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران. mrazaghrostami@gmail.com

۱- مقدمه

از آنجایی که ساختمان‌ها بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده‌اند، بهره‌مندی از استراتژی‌های اقلیمی و غیرفعال یکی از موثرترین راهکارها در بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش می‌باشد(حسینی و همکاران،۱۳۹۷). بام سبز یکی از رویکردهای نوین معماری و شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعه‌ی پایدار شهری است که از آن می‌توان به منظور افزایش سرانه‌ی فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط زیست و توسعه‌ی پایدار شهری به صورت پوشش گیاهی روی بام استفاده نمود(رضوانی،۱۳۹۵). بام سبز در اصل یک اختراع جدید نیست، بام‌های چمنی، یک تکنیک ساختمان‌سازی متعارف و سنتی در بسیاری از نقاط جهان است. تفاوت میان یک بام سبز جدید و یک بام سبز سنتی، مربوط به تفاوت اهداف و مواد به کار رفته در این دو نوع بام می‌باشد. هدف اصلی در گذشته، استفاده از چمن به منظور عایق‌بندی و حذف لایه‌ی آب-بندی بوده است که اغلب با پوست درختان غان صورت می‌گرفته است. اما امروزه بام سبز با هدف حفاظت زیست‌محیطی، اقتصادی و همچنین بهبود مدیریت فاضلاب‌های سطحی در شهر و توجه به مسائل زیبایی شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روند رو به رشد به کارگیری سیستم بام سبز در دهه‌های اخیر به ویژه در کشورهای توسعه یافته، قیمت بالای زمین، افزایش جمعیت و پایین بودن مساحت فضای سبز، موجب شده است این موضوع، که در پی بهبود وضعیت فعلی مصرف انرژی نیز می‌باشد، بیش از پیش حائز اهمیت واقع گردد. بام‌های سبز از لحاظ کیفی در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته‌اند، اما همچنان از نظر عملکرد در کاهش مصرف انرژی و فاز اجرایی آن نیازمند توجه بیشتری می‌باشند. برای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها چندین روش ساخت و ساز نوآورانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، که در میان آن‌ها دیوار سبز و بام سبز به طور فزاینده‌ای در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گرفته می‌شوند. بام‌های سبز به شکل موثری منجر به بهبود اکولوژی شهری شده‌اند و راه‌حلی مفید برای مشکلات زیست محیطی ناشی از ساخت و سازها ارائه داده‌اند.

استفاده‌ی کاربردی از بام‌ها می‌تواند به عنوان امکان بهره‌برداری بهینه از زمین‌های شهری قلمداد شود. بام‌های سبز با عناوینی چون باغبانی در پشت‌بام، و یا فناوری کاشت گیاه در پشت‌بام، بام‌های زنده، زیست-بام و یا بام‌باغ شناخته می‌شوند، بام سبز در واقع اکوسیستمی زنده بوده که توانایی زیست مطلوبی را برای محیط شهری فراهم کرده و آن را بهره‌ورتر می-سازد. به عبارتی دیگر بام‌های سبز شهری با بهبود کیفیت هوا، کاهش حجم فاضلاب سطحی، کاهش آثار جزایر حرارتی، برقراری تعادل حرارتی در محیط داخلی و خارجی بنا، خلق زیستگاه طبیعی، تنوع زیستی و افزایش طول عمر بهره‌برداری از عایق بام، گام مثبتی در جهت بهبود کیفیت محیط شهری می‌باشد. این در حالی‌ست که امروزه در سکونت‌گاه‌های شهری به وفور سطوح پوشانده شده با بتن و یا آسفالت دیده می‌شود، که امکان نفوذ آب را به خاک نمی دهند.

بام‌سبز با توجه به کاربردهای متفاوت آن نسبت به شرایط سازه‌ای و فضای مورد استفاده در انواع مختلفی دسته‌بندی می‌گردد، که از جمله اصلی‌ترین دسته‌بندی-های آن می‌توان از بام سبز گسترده، بام سبز متراکم و بام سبز نیمه‌متراکم نام برد. بام سبز گسترده که از لحاظ اجرایی به دلیل عدم نیاز به تقویت سازه متداول‌ترین نوع بام‌های سبز هستند، عمق کمتری دارند؛ از دیگر مزایای این گونه از بام‌ها وزن کم، نیاز به توجه کم‌تر در حوزه‌ی تعمیر و نگهداری و آبیاری به روش قطره‌ای می‌باشد. سطوح سیاه بام‌ها و سنگ فرش‌ها، انرژی حاصل از نور خورشید را جذب، انباشت و در شب منعکس می‌کنند. در این راستا بام‌های سبز می‌توانند آثار منفی ساختمان‌ها در اکوسیستم محلی و در پی آن مصرف انرژی در بنا را کاهش دهند.

انرژی در حیات اقتصاد صنعتی جوامع نقش زیربنایی را ایفا می‌کند، به این معنا که هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد، توسعه اقتصادی نیز میسر خواهد بود(شاه‌حسینی و همکاران،۱۳۹۶). به منظور دستیابی به استراتژی‌های طراحی پایدار و کاهش میزان

مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در ابتدا باید نیاز کلی ساختمان به انرژی محدود گردد(Esabegloo et al.,2016). تامین بارهای حرارتی و برودتی در ساختمان‌ها نیازمند بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌باشد، در همین راستا هدف این پژوهش شبیه‌سازی یک مدل ساختمانی با سیستم بام سبز گسترده و ارزیابی عملکرد حرارتی آن در قیاس با سایر مصالح متداول برای پوشش بام‌ها بوده است، که میزان هدر رفت و همچنین کاهش انرژی مصرفی ساختمان را در چند مدل، مورد قیاس و ارزیابی قرار داده، تا بتواند در زمینه‌ی کاهش مصرف انرژی هرچند جزئی، قدمی بردارد.

۲- پرسش‌های تحقیق

این پژوهش در پی پاسخ به این سوالات است:

– عملکرد هر یک از پوشش‌های بام به تفکیک اقلیم مورد استفاده تا چه اندازه می‌تواند در جهت کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان موثر واقع شود؟

– هر یک از پوشش‌های بام به چه مقدار می‌توانند در کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی موثر واقع شوند؟

– کدام یک از پوشش‌های بام، عملکرد حرارتی بهینه‌ای در ساختمان‌های مسکونی و به تفکیک اقلیم‌های مورد بررسی دارند؟

۳- فرضیه تحقیق

فرضیه‌ای که در این پژوهش در نظر گرفته شده آن است که به دلیل تاثیر مستقیم اقلیم و شرایط آب و هوایی بر میزان مصرف انرژی و همچنین عملکرد حرارتی جداره‌ها در یک ساختمان، با شبیه‌سازی و بررسی پوشش‌های مورد بحث در این پژوهش عملکرد هر یک از پوشش‌های مورد بحث در این تحقیق در هر شهر متفاوت بوده و برای هر یک یکی از پوشش‌های بام به عنوان بهینه‌ترین حالت معرفی گردد. این پژوهش با دنبال کردن اهداف زیر در پی تایید و یا رد فرضیات عنوان شده می‌باشد.

هدف پژوهش حاضر ارزیابی حرارتی میان بام سبز گسترده با سایر بام‌های متداول همچون بام نقره-ای(ایزوگام با رویه آلومینیوم) و بام سفید(با پوشش فوقانی شن) می‌باشد. با شبیه سازی یک مدل ساختمانی و ارزیابی حرارتی آن در حالت‌های گوناگون و با مصالح نام برده شده می‌توان به قیاس آن‌ها پرداخت.

اهدافی که در خلال پژوهش دنبال می‌گردد به شرح ذیل می‌باشد:

۱.کاهش مصرف انرژی ساختمان با انتخاب مناسب‌ترین پوشش برای بام: انرژی مصرفی در ساختمان‌ها صرف ایجاد شرایط گرمایشی مناسب در فصول سرد و ایجاد بار برودتی کافی جهت آسایش حرارتی در فصول گرم می-شود. بام یکی از اصلی‌ترین جداره‌های ساختمانی از جهت تبادل انرژی فضای داخلی با فضای خارجی ساختمان است. به همین علت توجه به نوع پوشش و کیفیت مصالح آن می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را به طور چشمگیری کاهش دهد.

۲.بهبود عملکرد حرارتی ساختمان: در یک ساختمان تبادل حرارتی فضای داخلی با فضا و محیط بیرونی، که تحت تاثیر تغییرات دمایی در فصول مختلف است، از سه طریق جابه‌جایی گرمایی، هدایت حرارتی(از دیوارها، سقف ها و بام)، و از طریق انتقال حرارت تشعشعی که بیشترین درصد آن در اثر تابش تشعشع گرمایی خورشیدی است، صورت می‌پذیرد. بنابراین با انتخاب مشخصات درست برای سقف و پوشش بام می‌توان اثر بازتابش طبیعی نور خورشید و میزان گرمایش تابش خورشیدی را در فصول گرم کاهش داد، که به عنوان محافظی در برابر افزایش دمای بیش از اندازه‌ی فصلی عمل می‌کند.

۳. ارائه‌ی راهکارهایی جهت استفاده از بهینه‌ترین روش-های طراحی پوشش بام با هدف کاهش مصرف انرژی و با ارزیابی حرارتی ساختمان‌ها، شامل میزان هدر رفت انرژی و نیز تاثیر عایق بندی پوشش گیاهی در بام ساختمان در قیاس با سایر گزینه‌های ذکر شده، می‌توان بهینه‌ترین نوع پوشش و مصالح مورد استفاده در بام را مشخص نمود، که این امر به نوبه‌ی خود افزایش بهره-وری انرژی و نیز کاهش آلودگی‌های زیست محیطی را به همراه دارد.

۴- پیشینه تحقیق

در تحقیقی که توسط مک فرسون و همکاران صورت گرفته است، به این نتیجه دست یافته‌اند که بکارگیری نماهای سبز با طراحی مناسب تا ۲۰٪ نگهداشت انرژی

را در فصول سرد افزایش داده و منجر به کاهش مصرف انرژی در به کارگیری وسایل گرمایشی می‌گردد(McPherson et al.,1389). کانتواریا و همکاران در طی پژوهشی که در خصوص تاثیر ساختمان‌های سبز در بهبود شرایط آسایش دمایی در فصول سرد سال انجام داده‌اند، دریافته‌اند که این ساختمان‌ها با کاهش چشمگیر انرژی الکتریکی لازم برای به کارگیری تجهیزات تهویه مطبوع و سرمایشی، تا ۵۰٪ همراه است. از اصلی‌ترین دلایل وقوع این امر کاهش دمای مصالح در ساختمان‌های سبز در قیاس با سایر مصالح معمول ساختمانی است(Cantuaria, 1995). در مطالعه‌ی دل باریو، عملکرد بام سبز از طریق شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته شده است که بر این اساس اثر سرمایشی بام سبز، بیشتر عملکردی مشابه با عایق‌بندی بام را ایفا می‌کند تا تاسیسات سرمایشی که قرار است از آن بهره گرفته شود. برای مدلسازی انتقال حرارت در بام سبز باریو مدلی را بر مبنای گیاه، خاک و سازه معرفی کرده است. در مدل وی که یکی از اولین مدل‌های پایه‌ای در بام سبز می‌باشد، به نمایش ساده شده‌ی رفتار حرارتی پویای بام‌های سبز پرداخته شده است(Del Barrio,1998).

در یونان کار نیاچو و همکاران (Niachou et al.,2001) همانند مطالعه‌ی اسپالا و همکاران (Spala et al.,2008) بر روی تحلیل ویژگی‌های حرارتی بام سبز و عملکرد آن در زمینه‌ی مصرف انرژی انجام پذیرفته است. نیاچو و همکارانش اظهار کرده‌اند که میزان تاثیر بام سبز در صرفه جویی مصرف انرژی مربوط به HVAC از ۲ تا ۴۸ درصد متغیر است. همچنین پژوهشگران دیگری نیز از مقادیر بالای کاهش مصرف انرژی گزارش داده‌اند، برای مثال تئودوسیو(Theodosiou,2003) از کاهش ۵۰ درصدی شار حرارتی از طریق سقف به داخل و بلعکس، از طریق دو برابر کردن شاخص سطح برگ (LAI) گزارش می‌دهد. لیو و همکاران بر اساس مطالعاتی که بر روی تحقیقات مرکز تحقیقات ملی کانادا صورت داده‌اند، دریافته‌اند که بام سبز می‌تواند جریان گرمایی بام را در تابستان ۷۰ تا ۹۰ درصد و در زمستان در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش دهد(Liu and Bass,2005).

در پژوهشی دیگر توسط لازارین و همکاران توانایی بام سبز برای کاهش بار گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان به وسیله‌ی داده‌های تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه‌ی این پژوهش مشاهده می‌شود که بام سبز جذب حرارت توسط لایه‌های زیرین خود را در قیاس با بام سنتی با یک لایه‌ی عایق با خاک خشک، در فصول گرم سال تا ۶۰٪ کاهش می‌دهد، که این مسئله به دلیل افزایش بازتابش خورشید از سطح گیاهان و همچنین جذب بخشی از تابش خورشید توسط آن‌ها بوده است. همچنین در این پژوهش دیده می‌شود زمانی که خاک مرطوب است نه تنها حرارت از محیط خارج به سمت لایه‌های زیرین بام حرکت نمی‌کند، بلکه حرارت در جریانی بلعکس از سمت فضای داخلی به سمت خارج جریان دارد، بنابراین بام سبز به عنوان یک خنک‌کننده‌ی غیر فعال عمل می‌کند(Lazzarin et al., 2005). در مطالعه‌ای دیگر، ماریوس و همکاران دریافته‌اند که بام سبز می‌تواند نیاز انرژی ساختمان را تا ۴۶٪ کاهش دهد، که بیش‌ترین تاثیر آن مربوط به طبقه‌ی آخر می‌باشد (Santamouris et al., 2007). الکساندری و جونز مدلی را ارائه داده‌اند که شامل معادله‌ی انتقال حرارت ماده و رطوبت متغیر هوا می‌باشد، اما نقش متابولیسم گیاه در آن نادیده گرفته شده است. در مطالعه‌ای دیگر، یک مدل فیزیکی از تعادل انرژی بام سبز به وجود آمده است و نقش عمق پوشش گیاهی، آبیاری و فشردگی گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است اما رطوبت هوا در همه ی لایه‌های گیاهی ثابت در نظر گرفته شده است(Alexandri,2007). سیلر در پژوهش دیگری به بررسی تاثیر کلی طراحی بام سبز در مصرف انرژی

ساختمان از طریق ایجاد تغییر در فشردگی گیاهان کاشته شده و عمق این عنصر واسط می‌پردازد. در این پـژوهش دو نمونه ساختمان با کاربری متفاوت، یک نمونه اداری و یک نمونه بنای مسکونی چنـد واحـدی مـدل شـده‌انـد. همچنین این پژوهش به بررسـی میـزان تـاثیر اقلـیم در چهار شـهر مختلـف در ایالـات متحـده و مقایسـه میـان عملکرد بام سبز و سایر بام‌های متداول از نوع بام سیاه و بام سفید پرداخته است. در این پژوهش تاثیر بام سـبز از سه وجه مختلف مورد بررسی قـرار گرفتـه شـده اسـت، میزان کل مصرف انرژی، حد بیشـینه‌ی مصـرف انـرژی الکتریکی و میزان کل هزینه، کـه از لحـاظ میـزان کـل مصرف انرژی، بام‌های سـبز در اقلـیم‌هـای سـرد بـرای ساختمان‌هایی که به گرمایش شبانه نیاز دارنـد، بهتـرین عملکرد را دارنـد. بـرای سـاختمان‌هـایی کـه اغلـب بـه سرمایش نیاز دارند شاخص سطح برگ پارامتر مهم‌تـری است(Sailor,2008).

ویلیامز و همکاران در پژوهش خود، اقلیم‌هـا، گیاهـان و لایـه‌هـای خـاک اسـترالیا را در قیـاس بـا نمونـه‌هـای کشـورهای اروپـایی ارزیـابی کـرده‌انـد (Williams et al.,2010). اونگ عملکرد حرارتی چندین نوع از بام‌های خورشیدی غیرفعال را مورد بررسی قرار داده است. وونگ و همکاران مزایای حرارتی یک بام سبز را در سنگاپور در خلال یک آزمایش تجربی که پیش و پس از ساخت بـاغ در بـام انجـام پذیرفتـه را مـورد بررسـی قـرار داده-اند(Ong,2011)(Wong et al.,2011).

محمودی و همکاران(۱۳۹۱) در تحقیق خود بـه ارزیـابی عملکرد پوشش بام(به تفکیک بام معمولی، بام سبز و بام سبز با جزئیات اجرایی خاص) در کـاهش دمـای محـیط پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهـد کـه بـام سبز نسبت بـه بـام معمـولی ۵۰ درصـد انتقـال حرارتـی کمتری داشته است و بام سـبز بـا لایـه‌ی فـایبر گلـاس نسبت به بام سبز اجرایی ۴۰ درصـد بهینـه‌سازی شـده است. در مطالعه‌ای که توسط تابارس و همکـاران انجـام شد، مدلی را بر مبنای مشاهدات تجربی و راه‌حل پایـدار به کار رفته برای تحلیل‌های تئـوری، معرفـی کـرده‌انـد. تحقیق دیگری بر مبنای مدل تغییر یافته‌ی سـیلر انجـام پذیرفته که نقش انتقال آب در لایه‌هـای خـاک محاسـبه شده است. اما اینرسی حرارتی لایه‌ی واسط در حال رشد و رطوبت متغیر هوا در مدلسـازی در نظـر گرفتـه نشـده اسـت(Tabares,2012)(Sailor et al.,2012). در پژوهشی که توسط زرندی و همکـاران صـورت گرفتـه، دریافته‌اند که به دلیل افزایش سطح اختصاص یافتـه بـه پوشش گیاهی در مناطق شهری، اثر جزایر حرارتـی نیـز در این مناطق رو بـه کـاهش بـوده و همچنـین در ایـن پژوهش به حفظ رطوبت محیط توسط پوشش گیاهی به کار رفته در بام سبز و به تبع آن تعدیل دمای محیط بـه عنوان یکی از مزایای بام سبز اشاره شده است(محمودی زرندی،۱۳۹۲).

در پژوهشی دیگر در این راستا، یو و همکاران (Yew et al.,2013) یک سیستم بام را با پوشش عایق حرارتـی و حفره‌ی عبور هوا پیشنهاد داده‌اند. اولیویری و همکـاران (Olivieri et al.,2013) رفتار حرارتی یک بـام سـبز را در طول تابستان مورد مطالعـه قـرار داده‌انـد. ابـزار ایـن پژوهش یک مدل کمّی ساده سازی شده بر مبنای داده-های تجربی برای محاسـبه‌ی مقاومـت حرارتـی بـام در طول تابستان بوده است. هدف از شبیه‌سازی ایـن مـدل ارزیابی عملکرد انرژی بام های سبز بر مبنای سه متغیـر شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاهـان و رسـانایی حرارتـی لایه‌ها بوده است. با این حال به گفته ی مـودی و سـیلر (Moody and Sailor,2013)این رویکرد با وجود آنکه برای یک بام شاخص در تابستان در یک اقلیم مشـخص معتبر است اما نمی‌تواند به فصل‌های دیگـر تعمـیم داده شود.

در تحقیقـی دیگـر پـل سـلی و همکـاران (Pulselli et al.,2014) برخی از فاکتورهـای مسـتقیم و غیرمسـتقیم مربوط به دیوارهای سبز را مورد ارزیـابی قـرار داده‌انـد و

دریافته‌اند که سیستم‌های دیوار سبز می‌توانند در طی ۲۵ سال به پایداری کامل دست یابند. همچنین ال اوبیدی و همکاران(Al-Obaidi et al.,2014) سیستمی را پیشنهاد داده‌اند شامل مصالح بازتاب‌دهنده و تشعشعی که با تهویه ترکیب شده است. اسکارپا و همکاران در طی پژوهش خود، یک مدل ریاضی، که ویژگی‌های مختلف دیوارهای سبز را محاسبه می‌کند، ایجاد کرده‌اند. اعتبارسنجی این مدل با اندازه گیری‌های میدانی دو نوع از دیوارهای سبز صورت گرفته است (Scarpa et al.,2014). در مطالعه‌ای که توسط حیدری نژاد و اسماعیلی انجام شده است، محاسبه‌ی کل پدیده‌ی تعویض حرارت و ماده با یک راه حل دقیق عددی از طریق به کارگیری معادلات دیفرانسیل چندبخشی با دخالت دادن اثر متابولیسم‌های گیاهی صورت گرفته شده است(Heidarinejad et al., 2015).

در پژوهشی که توسط ججینگ و همکاران صورت گرفته یک مدل پیشرفته‌ی پوسته‌ی سبز که پیش از این مدل ایجاد و با مطالعات تجربی در دانشگاه لاراشال مقایسه شده به نرم افزار ترنسیس الحاق شد. مدل ایجاد شده پدیده‌های اصلی دمایی، هوایی و آبی را در محاسبات وارد کرده و به محدودیت و فرضیات رویکردهای مدل-سازی پیشین که حالت انتقال حرارت را نیمه پایدار فرض می‌کردند و اثر انتقال آب را بر انتقال گرما نادیده می‌گرفتند، غلبه می‌کنند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود به این نتیجه دست یافتند که اثر پوسته‌ی سبز در اقلیم‌های گرم بیشتر است زیرا تا حد زیادی بارهای سرمایشی را کاهش داده و کمتر موجب کاهش بار گرمایشی می-شوند(Djedjig et al.,2015).

جولیا کوما و همکاران موضوع "ارزیابی حرارتی بام‌های سبز گسترده به عنوان ابزار غیرفعال برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان" را از طریق ساخت نمونه-های آزمایشگاهی دنبال کرده‌اند. آن‌ها با ساخت سه مدل مکعبی با مشخصات و حجم یکسان، به عنوان ساختمان‌های مورد مطالعه، که تنها عنصر متغیر در آن‌ها مصالح سقف بوده است مشخصات هر یک را ارزیابی و مورد قیاس قرار داده‌اند(Coma et al.,2016). لوکای و همکاران در پژوهش خود به بررسی تاثیر بام سبز بر کاهش میزان مصرف انرژی و همچنین انتشار دی‌اکسید در محیط‌زیست پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌های انرژی نشان می‌دهد که سقف سبز با عملکرد حرارتی مناسب در حفظ گرما و همچنین عملکرد عایق حرارتی، در واحد سطح می‌تواند تا ۱۱,۵۳ کیلو وات ساعت در سال میزان مصرف انرژی را کاهش دهد(Cai et al.,2019). همچنین الگرامی به بررسی عملکرد حرارتی بام‌های سرد ساختمان‌های مسکونی در نقاط اقلیمی متفاوت عربستان پرداخته است. بر اساس نتایج این پژوهش بام-های سبز میزان مصرف انرژی سالانه‌ی ساختمان‌ها را تا مقدار ۱۱۰,۳-۱۸۱,۸۹ کیلو وات ساعت بر متر مربع کاهش می‌دهد. این تحقیق اثبات می‌کند 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).

۵- روش تحقیق

پژوهش حاضر ضمن مرور اهمیت کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، به عنوان یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در جوامع، در پی آن است تا با تحلیل یک نمونه‌ی موردی در سه اقلیم متفاوت در کشور ایران به بررسی عملکرد حرارتی پوشش‌های بام بپردازد. باید توجه داشت که بررسی میزان انرژی مصرفی بدون شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و محاسبات دقیق عددی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ لذا در سال‌های اخیر شبیه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها مورد توجه بسیاری از مهندسان و طراحان قرار گرفته است.

نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر یکی از دقیق‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها می‌باشد که در عین

برطرف کردن نیازهای مرتبط با محاسبات انرژی ساختمان‌ها، از فضای گرافیکی و رابط کاربری بسیار مناسبی نیز برخوردار است. به همین منظور با توجه به آنکه یکی از اهداف اصلی پژوهش بررسی عملکرد حرارتی بام در یک ساختمان مسکونی و در اقلیم‌های متفاوت و همچنین قیاس میزان انرژی مصرفی در حوزه‌های سرمایشی و گرمایشی در آن بوده است، نسخه‌ی۵ نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با پایه‌ی محاسباتی انرژی پلاس مناسب دیده شد. لذا روش تحقیق در این مطالعه رویکردی کمی-مقایسه‌ای داشته و در پی اثبات فرضیه با استناد بر شبیه سازی‌های نرم‌افزاری می‌باشد که با مقایسه‌ی نتایج و آنالیزهای مدل شبیه‌سازی شده در هر یک از شهرها و تحلیل همزمان آن‌ها شکل گرفته است.

در مرحله‌ی نخست سه مدل ساختمانی در نرم افزار دیزاین بیلدر با مشخصات فرمی و ابعاد یکسان ترسیم شده و تنها وجه تمایز میان آن‌ها، پوشش بام در نظر گرفته می‌شود. به هریک از مدل‌های ساختمان بامی با مشخصات متفاوت، شامل بام سبز گسترده، بام مسطح با لایه‌ی فوقانی شن(بام سفید) و در نهایت پوشش ایزوگام با رویه‌ی آلومینیمی(بام نقره ای) نسبت داده می شود. سپس مشخصات حرارتی هر یک را در شرایط یکسان به دست آورده و به بررسی تفاوت‌های موجود میان مدل‌ها و نمودارهای به دست آمده پرداخته می‌شود.

مدل ساختمانی شبیه‌سازی شده، ساختمانی دو طبقه با زیر بنای ۴۶۴ مترمربع و کاربری مسکونی بوده است که مشخصات آن در هر سه مدل مورد بررسی یکسان است. مساحت بام ۱۵۵مترمربع بوده که از این مساحت حدود ۱۳۱,۵مترمربع، مساحت موثر در اندازه‌گیری‌ها است. مصالح جداره‌ها، نوع فعالیت و دمای تنظیم شده هر فضا با استفاده از بانک اطلاعاتی جامع نرم افزار، جداگانه و مخصوص همان فضا تعریف شده است، ساختمان در سه اقلیم آب و هوایی متفاوت بررسی شده است، شهر بندر انزلی (معتدل و مرطوب)، اصفهان(گرم و خشک) و تبریز (سرد و کوهستانی)، به عنوان شهرهای منتخب جهت بررسی نمونه‌ی شبیه‌سازی شده انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته شدند. سازه‌ی بام در هر سه مدل یکسان در نظر گرفته شده است، همچنین ضخامت و نوع عایق حرارتی(۵سانتی متر پلی اورتان)، بتن زیر استفاده شده برای کف سازی و شیب بندی بام و عایق رطوبتی از جنس پلی استر و به ضخامت ۱سانتی متر نیز با مشخصات یکسان در هر سه مدل، شبیه سازی شده است. بام سبز مدل شده از ۱۱ سانتی متر ضخامت لایه ی خاک و ارتفاع گیاه(۶ سانتی متر خاک و ۵ سانتی متر ارتفاع چمن بام) تشکیل شده است. تمامی محاسبات توسط نرم افزار دیزاین بیلدر بر پایه ی محاسباتی انرژی پلاس انجام می شود. جدول۱ مشخصات حرارتی هریک از پوشش‌های بام را نشان می‌دهد.

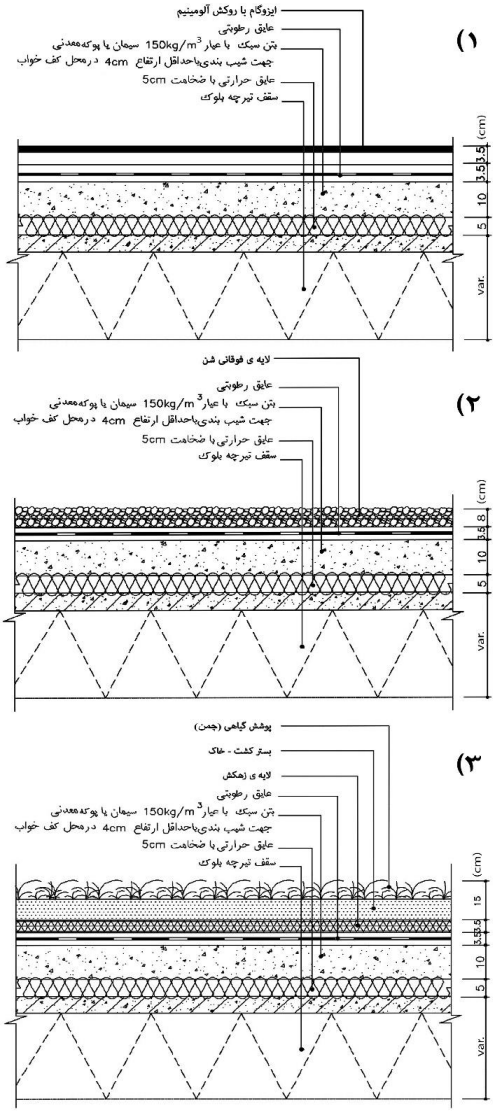
بر اساس محاسبات نرم‌افزار دیزاین بیلدر مقاومت حرارتی در سه بام با پوشش ایزوگام، شنی و بام سبز به ترتیب ۳,۶۶، ۳,۷۹ و ۴,۳۷ متر مربع درجه کلوین بر وات محاسبه گردیده شده است. همچنین در حالی که ضریب هدایت حرارتی دو پوشش شنی و ایزوگام بسیار نزدیک بوده است، هدایت حرارتی بام سبز کمتر از دو بام مذکور و ۰,۲۲ وات بر مترمربع درجه کلوین ارزیابی شده است.

جدول۱: مشخصات حرارتی پوشش‌های بام شبیه‌سازی شده

پوشش سقف	ضخامت سقف (cm)	مقاومت حرارتی (m2-K/W)	هدایت حرارتی (W/m2-K)
ایزوگام	۴۲	۳/۶۶	۰/۲۷
شنی	۴۵	۳/۷۹	۰/۲۶
سبز	۴۸	۴/۳۷	۰/۲۲

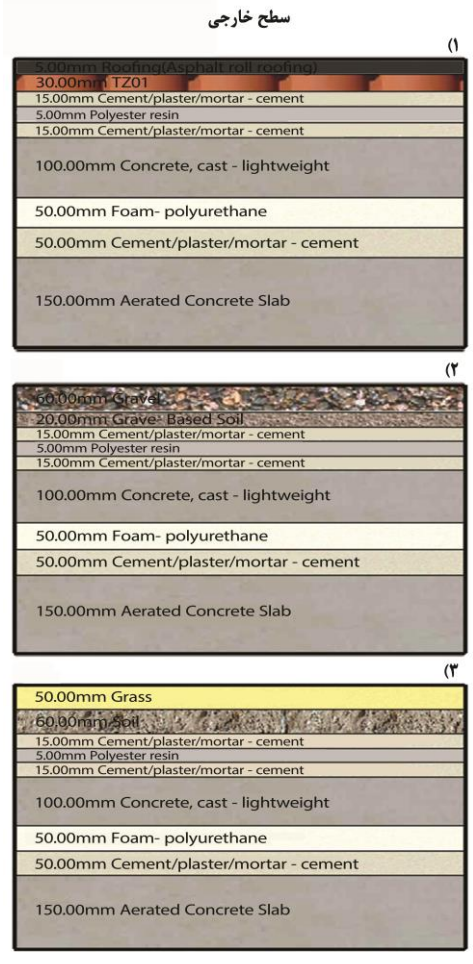
محاسبات برای یک سال و با استفاده از فایل‌های اطلاعات هواشناسی مخصوص کشور ایران صورت گرفته است و نتایج به دست آمده با یک ساختمان با بام شنی و

ساختمان دیگری با پوشش ایزوگام در بام، مقایسه می گردد؛ که در مدل نخست سقفی شامل ۵ سانتی متر شن به قطر ۴ سانتی متر(۱/۶ اینچ) و در مورد دیگر بام ذکر شده، سقفی با لایه‌ی ۵ میلی‌متری ایزوگام بر روی ۳سانتی‌متر کف‌پوش موزائیک خواهیم داشت، در همین راستا تصویر۱ به معرفی جزئیات اجرایی و طراحی هر یک از پوشش‌های بام مورد بحث و نمایش ترتیب و ضخامت هر لایه پرداخته است.



تصویر(۱):جزئیات اجرایی پوشش‌های بام مورد بحث. ۱) ایزوگام ۲) شنی ۳) بام سبز

همچنین تمامی این جزئیات و مشخصات ذکر شده در تصویر۱ در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز به همین ترتیب و با مشخصات یکسان تعریف و شبیه‌سازی شده‌است. تصویر۲ خروجی مصالح و مشخصات هریک از پوشش-های بام را با جزئیات عنوان شده در نرم‌افزار نمایش می‌دهد.



تصویر(۲):نمایش جزئیات بام‌های مدل‌سازی شده در نرم افزار شبیه ساز.
۱) بام با لایه‌ی فوقانی ایزوگام ۲) بام شنی ۳) بام سبز

۵-۱-اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از نرم‌افزار، به مدلسازی و مقایسه‌ی بخشی از نتایج پژوهش الگرنی(Algarni,2019) پرداخته شده است. به این منظور ساختمان مسکونی یک طبقه با متراژ ۱۰۰مترمربع و با مشخصات عنوان شده در پژوهش مذکور مدلسازی

شده و عملکرد حرارتی بام با جزئیات اجرایی مربوطه در سه حالت با مقاومت حرارتی ۰/۳۵، ۰/۸۹ و ۱/۷۵ مترمربع درجه کلوین بر وات، بررسی شده است. بر اساس جدول۲ نتایج مدل‌سازی در تحقیق حاضر با دقت کافی بر نتایج پژوهش بررسی شده منطبق است و به این ترتیب اعتبار نتایج حاصل از این پژوهش احراز می‌گردد.

جدول۲: اعتبارسنجی نرم‌افزار با شبیه‌سازی بام در پژوهش آلگرنی

نتایج	مقاومت حرارتی (m^2K/W)	گرمایش سالانه (kWh/m^2)	سرمایش سالانه (kWh/m^2)
آلگرنی (Algarni,2019)	۰/۳۵	۲۵/۷	۶۲۷/۵
	۰/۵۹	۱۹/۳	۵۷۴/۱
	۱/۷۵	۱۲/۹	۵۱۰/۱
پژوهش حاضر	۰/۳۵	۱۸/۰۵	۶۳۸/۸۹
	۰/۵۹	۱۷/۲۷	۵۶۷/۷
	۱/۷۵	۱۱/۳۳	۵۲۶/۶

ابتدا نتایج مربوط به حداکثر و میانگین دمای داخل در طول یک سال و سپس میزان مصرف انرژی سالانه به تفکیک گرمایش و سرمایش را برای دو مدل ساختمانی با بام مسطح نقره ای و سفید به دست آورده، سپس همین پارامترها برای ساختمانی که بام سبز دارد، با ضخامت لایه خاک مشخص، مورد قیاس قرار گرفته و از میان آن‌ها، بهینه‌ترین حالت در قیاس با سایر گزینه‌های مورد بررسی، مشخص و ارائه می‌گردد. این نتایج می‌تواند به تشویق طراحان و مهندسان جهت انتخاب صحیح پوشش مناسب برای بام، با هدف افزایش بهره‌وری انرژی و نیز کاهش آلودگی‌های زیست محیطی منجر شود. لازم به تذکر است که نتایج به دست آمده در این مطالعه با تکیه بر عملکرد حرارتی بام‌ها بوده است و فاکتورهای دخیل دیگر همچون هزینه‌ی تمام شده در اجرا و نگه‌داری و سایر مراحل هر یک از بام‌ها در حوزه‌ی اهداف این پژوهش نبوده است.

۶- مبانی نظری:

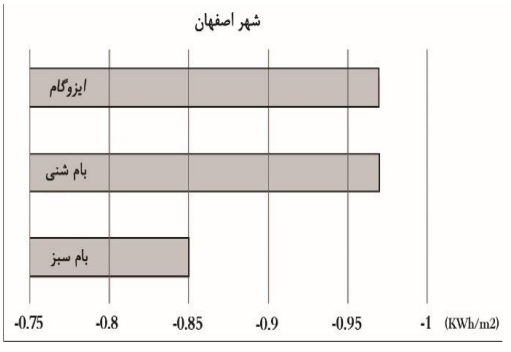
از اوایل قرن بیستم با مورد توجه قرار گرفتن کیفیت محیط‌زیست در بافت شهری و چالش‌های زیست‌محیطی شهرهای بزرگ به خصوص در مناطق مرکزی شهر، ظهور پدیده‌ی جزیره‌ی گرمایی و بحران انرژی، موج جدید به کارگیری بام‌های سبز در مفهوم جدید و امروزی، از اروپای شمالی آغاز شد(نهرلی،۱۳۹۰). بام سبز یک فناوری در جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان است که نقش مهمی در تنظیم دما و انتقال حرارت دارد(Chen et al., 2015). تحقیقات بسیاری نشان می‌دهد که پس از تبدیل یک بام با پوشش معمول به بام سبز نیاز انرژی ساختمان به میزان زیادی کاهش و آسایش حرارتی در فضای داخلی افزایش یافته است(Silva et al., 2016). علاوه بر مزایای مربوط به صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق بام‌های سبز، این پوشش بام می‌تواند به طور مستقیم بر کیفیت هوای اطراف تاثیر گذاشته و منجر به کاهش تولید آلاینده‌های جوی و اثرات جزایر گرمایی شود.

۷- مطالعات و بررسی‌ها

ساختمان در سه اقلیم آب و هوایی متفاوت بررسی شده است، شهر بندر انزلی (معتدل و مرطوب)، اصفهان (گرم و خشک) و تبریز (سرد و کوهستانی)، از شهرهای ایران هستند، که در این پروژه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. محاسبات برای یک سال و با استفاده از فایل‌های اطلاعات هواشناسی مخصوص ایران برای سه شهر مذکور انجام شده است. ابتدا نتایج مربوط به این سه شهر را مقایسه کرده و بهترین مصالح برای بام را در هریک از اقلیم‌های آب و هوایی معرفی می‌کنیم. برای اعلام نتایج، در هر اقلیم، ابتدا نتایج مربوط به میزان هدر رفت انرژی در روز بحرانی سال مورد بحث قرار داده شده است و سپس در ارتباط با میزان مصرف انرژی سالانه در ساختمان به تفکیک حوزه‌های گرمایشی و سرمایشی در هر اقلیم بحث شده است و سپس از میان آن‌ها، بهترین حالت بر اساس میزان دمای سالانه و مصرف انرژی در یک ساختمان مشخص می‌گردد. در ارتباط با جداول مصرف انرژی، می‌توان گفت مقادیر مثبت، کاهش مصرف را نشان می‌دهد و مطلوب است و مقادیر منفی نشانگر افزایش مصرف انرژی و نامطلوب است.

۷-۱- اقلیم شهر اصفهان

بر اساس نتایج به دست آمده میزان هدر رفت انرژی سردترین روز سال از طریق بام در شهر اصفهان و برای هر یک از مصالح بام، برابر است با ۰,۸۵کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام سبز، ۰,۹۷ کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام نقره ای و ۰,۹۷کیلووات ساعت بر متر مربع برای بام سفید؛ که می‌توان تفاوت محسوسی را در بام سبز نسبت به دو مورد دیگر مشاهده کرد که قطعا در کاهش میزان مصرف انرژی در روزهای سرد سال در این اقلیم بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این شهر بام سفید و نقره ای در سردترین روز سال عملکرد مشابهی در هدر رفت انرژی دارند(نمودار۱).



نمودار(۱): میزان هدر رفت انرژی از طریق بام به تفکیک روش ساخت، سردترین روز سال در شهر اصفهان

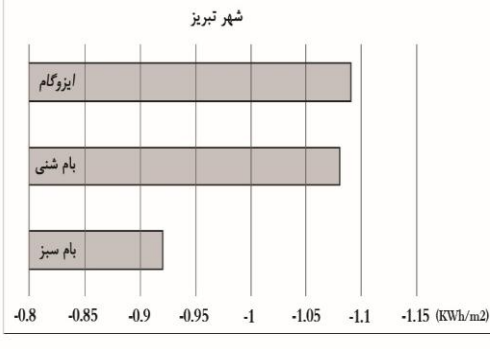
نتایج در سرمایش و گرمایش در اقلیم شهر اصفهان کاملا برعکس نتایج بالا می‌باشد، با وجود عملکرد مطلوب بام سبز در سردترین روز سال در زمینه‌ی اتلاف انرژی، در مجموع مصرف انرژی ساختمان در حوزه‌ی گرمایش و سرمایش، بام شنی عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده است و با کاهش ۷,۵ درصدی انرژی سالانه‌ی مصرفی در حوزه‌ی گرمایش و ۱۳,۴۲ درصدی در حوزه‌ی سرمایش در قیاس با بام سبز مناسب‌ترین بام برای این اقلیم شناخته می‌شود(جدول۱).

جدول(۱): میزان مصرف انرژی در سال در شهر اصفهان

نوع بام	دمای داخل(^oC)		مصرف انرژی(KWh/m^2)		
	میانگین	حداکثر	گرمایش	سرمایش	مجموع
بام سبز	۲۵	۲۸	۱۹,۴۲	۶۶,۳۵	۱۱۰,۹۶
بام‌شنی	۲۵	۲۸	۱۷,۹۷	۵۷,۴۵	۱۱۰,۰۲
ایزوگام	۲۵	۲۸	۱۷,۴۴	۵۹,۰۷	۱۱۱,۱۰

۷-۲-اقلیم شهر تبریز

بر اساس نتایج به دست آمده میزان هدر رفت انرژی در سردترین روز سال از طریق بام در هر یک از پوشش-های بام مورد بحث، در شهر تبریز برابر است با۰,۹۲ کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام سبز، ۱,۰۸کیلو وات ساعت بر مترمربع برای بام سفید و همچنین ۱,۰۹ کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام نقره‌ای ارزیابی شده است. در این مورد نیز بام سبز با اختلاف قابل توجهی در قیاس با بام‌های نقره‌ای و سفید، هدر رفت انرژی کمتری داشته است. بنابر این می‌توان اذعان داشت که اختلاف میان میزان هدر رفت انرژی در هر یک از ساختمان‌ها با پوشش بام سفید و نقره‌ای در این مورد قابل توجه نبوده است و بام سفید بهتر از بام نقره-ای عمل می‌کند(نمودار۲).



نمودار(۲): میزان هدر رفت انرژی از طریق بام به تفکیک روش ساخت، در سردترین روز سال در شهر تبریز

در حوزه‌ی مصرف انرژی سالانه‌ی ساختمان در اقلیم شهر تبریز، نتایج میان انرژی مصرفی در هر یک از نمونه‌های پوشش بام بسیار نزدیک ارزیابی شده است، به این صورت که مجموع مصرف انرژی سالانه در این اقلیم در بام سبز تنها ۰,۱ درصد کمتر از بام شنی ارزیابی شده

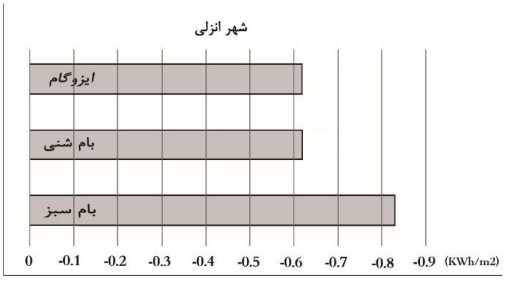
است، که با وجود شرایط ویژه‌ی این اقلیم در نگه‌داری و بهره مندی از بام سبز، و افزایش هزینه‌های نهایی در بهره‌گیری از این پوشش بام، به نظر می‌رسد بام سفید عملکرد مناسب‌تری در این اقلیم داشته باشد(جدول۲).

جدول(۲): میزان مصرف انرژی در سال در شهر اصفهان

نوع بام	دمای داخل(°C)		مصرف انرژی(KWh/m²)		
	میانگین	حداکثر	گرمایش	سرمایش	مجموع
بام سبز	۲۵	۲۸	۴۹/۵۶	۴۳/۱۱	۱۱۷/۱۱
بام شنی	۲۵	۲۸	۴۵/۱۲	۳۷/۴۱	۱۱۷/۱۲
ایزوگام	۲۵	۲۸	۴۴/۵۹	۳۸/۳۶	۱۱۷/۵۴

۷-۳-اقلیم شهر بندر انزلی

بر اساس نتایج به دست آمده میزان هدر رفت انرژی در سردترین روز سال از طریق بام در هر یک از بام ها در شهر انزلی برابر است با۰،۸۳ کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام سبز، ۰،۶۲کیلو وات ساعت بر مترمربع برای بام سفید و ۰،۶۲کیلو وات ساعت بر متر مربع برای بام نقره‌ای. بام سبز در میان سه نمونه بام موجود بیشترین هدر رفت انرژی را داشته در حالی که بام های نقره‌ای و سفید در این اقلیم عملکردی مشابه را نشان می‌دهند.



نمودار(۳): میزان هدر رفت انرژی از طریق بام به تفکیک روش ساخت، در سردترین روز سال در شهر بندر انزلی

در اقلیم شهر بندر انزلی بام سبز با کاهش ۷،۲درصد در بخش گرمایش سالانه نسب به بام سفید عملکرد مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهد و این در حالی است که این مقدار در حوزه‌ی سرمایش با ۲درصد افزایش در رتبه‌ی دوم نسبت به بام سفید قرار می‌گیرد. اما نکته‌ی حائز اهمیت آن است که در مجموع بام سبز نسبت به بام سفید و نقره‌ای عملکرد سالانه‌ی بهتری را در حوزه‌ی مصرف انرژی از خود نشان می‌دهد(جدول۳).

جدول(۳): میزان مصرف انرژی در سال در شهر بندر انزلی

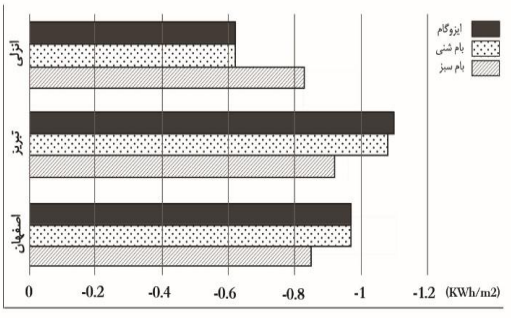
نوع بام	دمای داخل(°C)		مصرف انرژی(KWh/m²)		
	میانگین	حداکثر	گرمایش	سرمایش	مجموع
بام سبز	۲۵	۲۸	۱۵/۲۳	۶۰/۲۰	۱۱۰/۰۲
بام شنی	۲۵	۲۸	۱۶/۴۹	۵۹/۰۳	۱۱۰/۱۲
ایزوگام	۲۵	۲۸	۱۶/۲۳	۶۰/۲۹	۱۱۱/۲۱

۸- یافته‌های تحقیق

با توجه به اهمیت روز افزون مباحث مرتبط با انرژی در حوزه‌های معماری و شهرسازی، و همچنین شناخت ساختمان‌ها به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان عمده‌ی انرژی، طراحان و محققان به دنبال یافتن راهی در جهت کاهش نیاز به منابع تجدیدناپذیر در این عرصه می‌باشند. نکته‌ی غیرقابل انکار در این میان آن است که تامین بارهای حرارتی و برودتی در ساختمان‌ها نیازمند بهره-مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر می‌باشد، در همین راستا در این پژوهش ضمن مرور اهمیت کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، به عنوان یکی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در جوامع، در پی آن است که با تحلیل یک نمونه موردی در سه اقلیم متفاوت در کشور ایران به بررسی عملکرد حرارتی پوشش‌های بام بپردازد. به همین منظور در مرحله‌ی نخست سه مدل ساختمانی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با مشخصات فرمی و ابعاد یکسان ترسیم شده و تنها وجه تمایز میان آن‌ها، پوشش بام در نظر گرفته شده است. به هریک از مدل‌های ساختمان بامی با مشخصات متفاوت، شامل بام سبز گسترده، بام مسطح با لایه‌ی فوقانی شن(بام سفید) و در نهایت پوشش ایزوگام با رویه ی آلومینیمی(بام نقره‌ای) نسبت داده شده است.

سپس مشخصات حرارتی هر یک را در شرایط یکسان به دست آورده و به بررسی تفاوت‌های موجود میان مدل‌ها و نمودارهای به دست آمده پرداخته شده است.

در تحلیلی مقایسه‌ای میان میزان هدر رفت انرژی در سرد ترین روز سال (به عنوان بحرانی ترین روز) در سه شهر انزلی، تبریز و اصفهان مشاهده می‌شود که در این روز بام سبز در شهر انزلی بیش‌ترین هدر رفت انرژی را داشته و بهترین عملکرد آن مربوط به اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان است. در این میان کم‌ترین هدر رفت انرژی و به تبع آن بهترین عملکرد پوشش‌ها در سردترین روز سال برای اقلیم شهر تبریز مربوط به بام سبز و برای اقلیم انزلی هر دو پوشش بام سفید و نقره‌ای عملکرد مشابهی را ارائه می‌دهند.



نمودار(۴): میزان هدر رفت انرژی از طریق بام به تفکیک روش ساخت، در سردترین روز سال در سه شهر مورد مطالعه

۹- نتیجه تحقیق

با جمع بندی نتایج به دست آمده در حوزه‌ی مجموع مصرف انرژی سالانه‌ی ساختمان در سه شهر اصفهان، تبریز و بندرانزلی و به تفکیک مصالح رویه‌ی بام‌ها می‌توان مشاهده نمود که در بندرانزلی و به طور کلی در اقلیم معتدل و مرطوب مناسب‌ترین مصالح برای بام ساختمان‌ها بام سبز بوده است و این در حالی است که در مورد شهر اصفهان و به طور خاص اقلیم گرم و خشک این نتیجه صادق نمی باشد و پوشش بام سفید یا شنی عملکرد بهتری در این زمینه از خود نشان داده است. در ارتباط با شهر تبریز و اقلیم سرد و کوهستانی اختلاف میان دو پوشش بام سبز و بام سفید بسیار اندک ارزیابی می‌گردد، این در حالی است که بام نقره‌ای در رقابت با دو پوشش دیگر نتایج قابل قبولی از خود نشان نداده است(جدول۴).

جدول(۴): میزان کل مصرف انرژی ساختمان در سال در شهرهای مورد مطالعه(واحدKWh/m^2)

نوع بام	اصفهان	تبریز	بندرانزلی
بام سبز	۱۱۰/۹۶	۱۱۷/۱۱	۱۱۰/۰۲
بام شنی	۱۱۰/۰۲	۱۱۷/۱۲	۱۱۰/۱۲
بام ایزوگام	۱۱۱/۱۰	۱۱۷/۵۴	۱۱۱/۲۱

از تفسیر مجموع اطلاعات به دست آمده از نرم‌افزار می‌توان دریافت که بررسی عملکرد بام‌ها به تفکیک نوع مصالح به کار گرفته در پوشش نهایی آن‌ها می‌تواند در اقلیم‌های آب و هوایی متفاوت، نتایج گوناگونی را در اختیار ما قرار دهد. مطالعه‌ی حاضر برای اقلیم گرم و خشک استفاده از بام سفید را انتخابی معقول دانسته و این در حالی است که در اقلیم معتدل و مرطوب عمکرد بام سبز نسبت به سایر بام‌ها مناسب تر ارزیابی گردیده است. در ارتباط با شهر تبریز و اقلیم سرد و کوهستانی عملکرد بام سبز و بام سفید تقریبا مشابه بوده است، اما با توجه به شرایط اقلیمی این منطقه به نظر می‌رسد به کارگیری از بام سبز و بهره مندی از آن در تمامی فصول امری دشوار باشد. با انتخاب صحیح در به کارگیری از مصالح ساختمان و به طور خاص پوشش بام، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و نیل به هدف بهینه‌سازی ساختمان‌ها در این حوزه یاری رساند. لازم به تذکر است که نتایج به دست آمده در این مطالعه با تکیه بر عملکرد حرارتی بام‌ها بوده است و فاکتورهای دخیل دیگر همچون هزینه‌ی تمام شده در اجرا و نگه‌داری و سایر مراحل هر یک از بام‌ها در حوزه‌ی اهداف این پژوهش نبوده است.

۱۰- تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از حمایت دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) کمال تشکر را دارند.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

این مقاله پی‌نوشت ندارد.

۱۲- منابع فارسی و لاتین

- حسینی، سیدمهدی و حامد مصلحی. (۱۳۹۷). امکان سنجی استفاده از آتریوم جهت کاهش نیاز انرژی سیستم تهویه مطبوع ساختمان منطقه ۴ شهرداری مشهد، کنفرانس بین المللی نقش مهندسی مکانیک در ساخت و ساز شهری، تهران، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران –شورای مرکزی سازمان نظام مهندسی ساختمان.
- رضوانی، محمد، پایروند، محمدمهدی، نوجوان، مهدی و مهدی صهبا. (۱۳۹۶). بررسی نقش بام های سبز به عنوان راهبردی در جهت ارتقای کیفیت محیط زیست شهری از منظر معماری پایدار. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، ویژه نامه شماره۲.
- شاه‌حسینی، مهدی و هادی کارگر شریف آباد. (۱۳۹۶). مدلسازی انرژی ساختمان اداری در شهر گرمسار با نرم‌افزار دیزاین بیلدر و بررسی تاثیر راهکارهای مختلف در بهینه سازی انرژی، نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک و ارتعاشات، دوره ۸، شماره۳، شماره پیاپی۲۸، صفحه ۴۴-۴۸.
- محمودی زرندی، مهناز، پاکاری، ندا. (۱۳۹۲). طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان .*معماری و شهرسازی آرمان شهر*. ۱۴۱-۱۵۱، ۶(۱۱).
- نهرلی، داود، عبداللهی، مهدی، ولی بیگی، مجتبی. (۱۳۹۰). بررسی عوامل محدودکنندهٔ توسعهٔ بام‌های سبز در ایران بر پایهٔ تحلیل سلسله مراتبی.محیط شناسی۸۹-۹۸. ۳۷(۶۰).
- Alexandri, E., & Jones, P. (2007). Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results. *Building and Environment*, *42*(8), 2835-2849.
- 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.
- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Rahman, A. M. A. (2 m 014). Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. *Energy Conversion and Management*, *85*, 488-504.
- Cai, L., Feng, X. P., Yu, J. Y., Xiang, Q. C., & Chen, R. (2019). Reduction in carbon dioxide emission and energy savings obtained by using a green roof. *Aerosol and Air Quality Research*, *19*, 2432-2445.
- Cantuaria, G. A. C. (1995). *Microclimatic impact of vegetation on building surfaces* (Doctoral dissertation).
- 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.
- Del Barrio, E. P. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and buildings*, *27*(2), 179-193.
- Djedjig, R., Bozonnet, E., & Belarbi, R. (2015). Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. *Energy and buildings*, *86*, 93-103.
- Esabegloo, A., Haghshenas, M., & Borzoui, A. (2016). Comparing the results of thermal simulation of rasoulian house in Yazd by design builder software, with experimental data. *Iran University of Science & Technology*, *26*(2), 121-130.
- Heidarinejad, G., & Esmaili, A. (2015). Numerical simulation of the dual effect of green roof thermal performance. *Energy Conversion and Management*, *106*, 1418-1425.
- Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling

- Sailor, D. J., Elley, T. B., & Gibson, M. (2012). Exploring the building energy impacts of green roof design decisions–a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics*, *35*(4), 372-391.
- Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A., & Patargias, P. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*, *32*(9), 1781-1788.
- Scarpa, M., Mazzali, U., & Peron, F. (2014). Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate. *Energy and Buildings*, *79*, 155-163.
- Spala, A., Bagiorgas, H. S., Assimakopoulos, M. N., Kalavrouziotis, J., Matthopoulos, D., & Mihalakakou, G. (2008). On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. *Renewable Energy*, *33*(1), 173-177.
- Tabares-Velasco, P. C., & Srebric, J. (2012). A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer conditions. *Building and Environment*, *49*, 310-323.
- Theodosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, *35*(9), 909-917.
- Williams, N. S., Rayner, J. P., & Raynor, K. J. (2010). Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, *9*(3), 245-251.

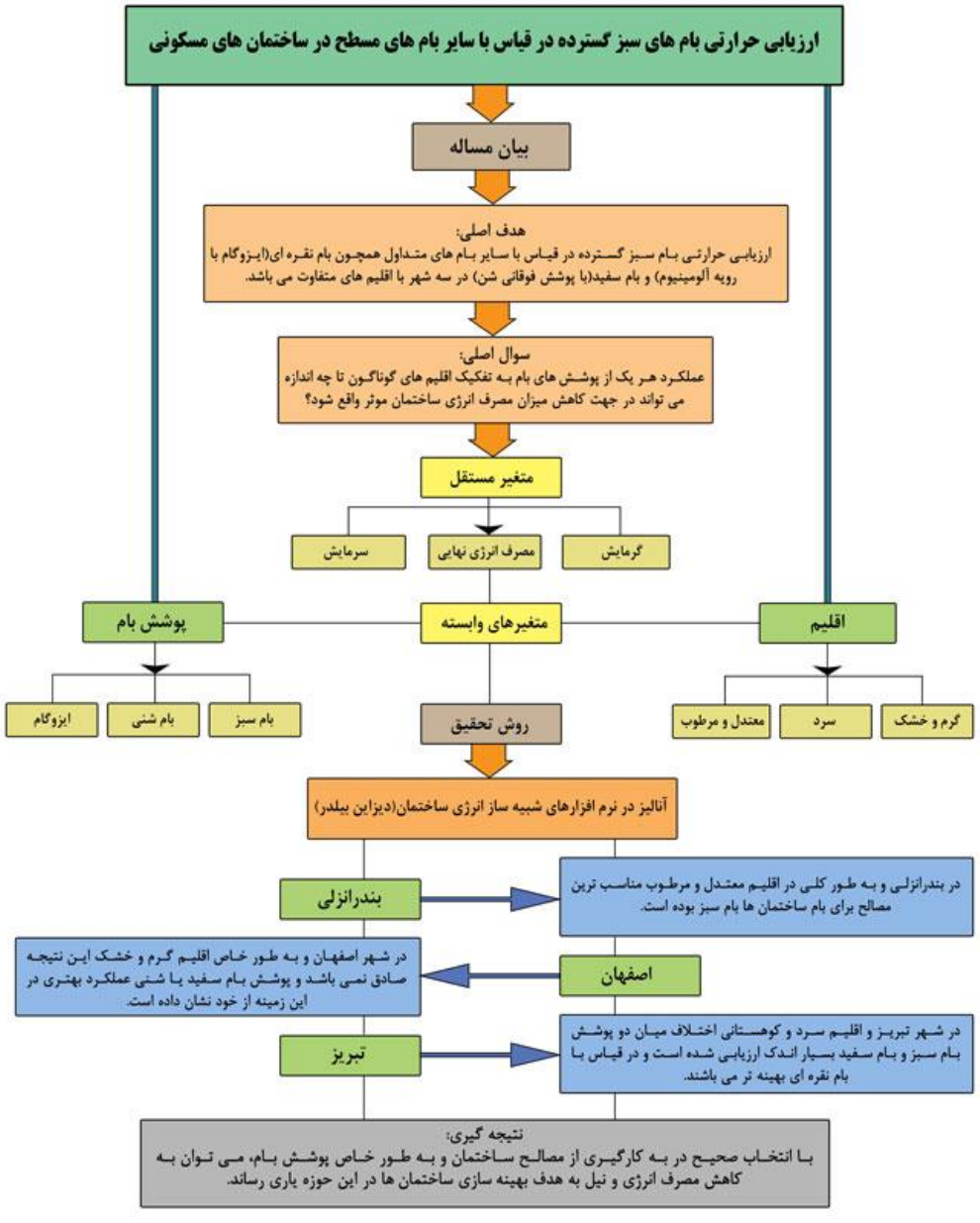
of a green roof. *Energy and Buildings*, *37*(12), 1260-1267.

- Liu, K., & Bass, B. (2005). Performance of green roof systems. *National Research Council Canada, Report No. NRCC-47705, Toronto, Canada*.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., & Livingston, M. (1989). Effects of three landscape treatments on residential energy and water use in Tucson, Arizona. *Energy and Buildings*, *13*(2), 127-138.
- Moody, S. S., & Sailor, D. J. (2013). Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy and Buildings*, *60*, 262-269.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and buildings*, *33*(7), 719-729.
- Olivieri, F., Di Perna, C., D'Orazio, M., Olivieri, L., & Neila, J. (2013). Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*, *63*, 1-14.
- Ong, K. S. (2011). Temperature reduction in attic and ceiling via insulation of several passive roof designs. *Energy Conversion and Management*, *52*(6), 2405-2411.
- Pulselli, R. M., Pulselli, F. M., Mazzali, U., Peron, F., & Bastianoni, S. (2014). Emergy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems. *Energy and Buildings*, *73*, 200-211.
- Sailor, D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and buildings*, *40*(8), 1466-1478.

(2013). Integration of thermal insulation coating and moving-air-cavity in a cool roof system for attic temperature reduction. *Energy conversion and management*, *75*, 241-248.

- Wong, E., Akbari, H., Bell, R., & Cole, D. (2011). Reducing urban heat islands: compendium of strategies. *Environmental Protection Agency*, *retrieved May*, *12*, 2011.
- Yew, M. C., Sulong, N. R., Chong, W. T., Poh, S. C., Ang, B. C., & Tan, K. H.

۱۳- چکیده تصویری



ISSN: 2538-3019, EISSN: 2676-4806
DOI: 10.30479/at.2020.11816.1346
Journal of Architectural Thought, Volume 4, Issue 8, Autumn and Winter 2020-2021

Thermal evaluation of large green roofs in comparison to other flat roofs (With the upper layer of silver and white)

Seyed Rahman Eghbali*[1], Negar Sadeghi[2], Mahnaz Razagh Rostami[2]

Submitted: 2019-10-13

Accepted: 2020-06-17

Abstract

About 40% of the world's energy consumption is attributed to the cooling and heating of residential buildings. This has led researchers to reduce the amount of energy consumed in the field by using modern materials and techniques. One of the most effective architectural and construction solutions in this regard is the use of suitable materials in the design and construction of the buildings, with regard to outdoor space and the impact of climate and climate change on heat transfer between outdoor and indoor. The interior of the building was of great importance. So the positive impact of using proper roofing to reduce energy consumption of buildings has been proven, but how much of each of the conventional roofing materials has reduced the amount of energy wasted and consumed in the heating and cooling areas along with This is a subject that has been analyzed and addressed in this article. Green roofing is one of the new approaches of architecture and urbanization and derives from the concepts of sustainable urban development that can be used in roofing vegetation. Green roofs are not originally a new invention; grass roofs are a traditional construction technique in many parts of the world. The difference between a new green roof and a traditional green roof is due to the different purposes and materials used in these two types of roofs. The main purpose in the past has been to use grass to insulate and remove the sealing layer that is often applied to birch bark. But nowadays, green roofs are aimed at environmental, economic, and health-related improvements to surface sewage management in the city and to address aesthetic issues. The increasing use of the green roof system in recent decades, especially in developed countries, high land prices, population growth and low green space, has led to improvements in the current state of energy consumption, Become more important than ever. Green roofs have grown substantially in recent years, but have not yet developed significantly in terms of performance in reducing energy use and its operational phase. Several innovative construction methods are being used to reduce the energy consumption of buildings, among which green walls and green roofs are increasingly used in buildings, with green roofs effectively improving urban ecology. And provide a useful solution to environmental problems caused by construction. To this end, the present study investigates the thermal performance of three types of roofing (green, white and silver) in three different climatic conditions in Iran to simulate the structure and properties of each type of roofing in Design builder software. Design Builder will examine and compare their performance in the three climates in question. The results show the different impact of each roofing in three different climates and cities (Isfahan, Tehran and Bandar Anzali). The present study found that the use of white roofing is a reasonable choice for hot and dry climates, whereas in temperate and humid climates, the performance of green roofs was evaluated better than other roofs. These results emphasize on the necessity of considering the climatic conditions of the regions in order to select the appropriate materials.

Keyword: Sustainable architecture, Green roof, Energy efficiency optimization, Silver roof, White roof

[1] Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin
[2] MSc Student in Energy and Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran