

## ارزیابی چگونگی تأثیرگذاری بام سبز در کاهش دمای محیط\*

مهناز محمودی زرنندی\*\*  
ندا پاکاری\*\*\*  
حسن بهرامی\*\*\*\*

### چکیده

بام سبز بامی است که با محیط کشت روینده پوشانده می‌شود. ایجاد سبزی‌نگی در فضای پشت بام بر آب و هوای شهر و منطقه و هوای داخل ساختمان تأثیر مثبت داشته و با ممانعت از تابش اشعه‌های خورشیدی در خنک‌سازی فضا نقش دارد. این خنک‌سازی با کاهش نوسانات گرمایی بر روی سطح خارجی بام و از طریق افزایش ظرفیت گرمایی بام صورت می‌گیرد که فضای زیر بام را در تابستان خنک نگه داشته و میزان گرمایش را در طی زمستان افزایش می‌دهد.

یکی از راهکارهایی که برای کاهش مصرف انرژی در شهرهای کلان پیشنهاد می‌شود، احداث باغ بام است. باغ بام یا بام سبز چنانچه صحیح طراحی و اجرا و در آن ملاحظات اقلیمی در نظر گرفته شود علاوه بر مزایای مختلف می‌تواند تا حد زیادی به کاهش مصرف انرژی کمک کند.

در این تحقیق مزایای بام سبز مورد ارزیابی قرار گرفته و برای اثبات این فرضیه که "بام سبز و چگونگی طراحی آن نقش مؤثری در کاهش انتقال حرارت دارد" از نرم‌افزاری تحلیلی به نام انسیس استفاده شده است. سه نمونه بام معمولی، بام سبز معمولی، بام سبز با جزئیات اجرایی خاص (لایه فایبرگلاس) آنالیز شده و انتقال حرارت آنها مورد مقایسه تطبیقی قرار گرفت و معلوم شد که بام سبز نسبت به بام معمولی ۵۰ درصد انتقال حرارت کمتری دارد و بام سبز با لایه فایبرگلاس نسبت به بام سبز اجرایی ۴۰ درصد بهینه‌سازی شده است. سایه‌اندازی و خنک‌سازی تبخیری گیاهان و همچنین لایه‌های سقف به عنوان عایق تأثیر مؤثری در کاهش انتقال حرارت دارند. رویکرد این پژوهش علمی- کاربردی بوده است. روش تحقیق در بخش‌های مربوط به مزایای بام سبز، توصیفی و نوع تحقیق، کیفی و در بخش‌های مربوط به تحلیل نرم‌افزاری نوع تحقیق کمی و روش، تحلیلی بوده است.

### واژگان کلیدی

بام سبز، انتقال حرارت، کاهش مصرف انرژی، نرم‌افزار انسیس.

\*. این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «تحلیل و ارزیابی چگونگی تأثیرگذاری فضای سبز در کاهش دمای محیط» در مرکز تحقیقات بتن و ساختمان دانشگاه آزاد اسلامی قزوین و در راستای پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری خانم ندا پاکاری است که در دانشگاه آزاد اسلامی قزوین توسط خانم دکتر «مهناز محمودی» راهنمایی شده است.

\*\* دکتري معماری، استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین. ایران. نویسنده مسئول ۰۵۸-۳۶۷۰-۲۸۱

Mahnaz\_Mahmoody@yahoo.com

\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران.

Nedapakari@yahoo.com

\*\*\*\* دانشجوی کارشناسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، ایران.

Hassan\_bahrami63@yahoo.com

## مقدمه

بام سبز<sup>۱</sup> با هدف تبدیل فضای مرده پشت بامها به یک فضای پویا ساخته می‌شود. این بامها اگرچه جزء فضاهای خصوصی و نیمه عمومی به حساب می‌آیند، اما در بازدهی اکولوژیکی شهری و ایجاد کیفیت مطلوب به زندگی شهری نقش مؤثری دارند. تأثیرگذاری بام سبز در مقیاس شهر قابل توجه است. تبدیل بام خانه‌ها به فضای سبز، تبادل هوا بین مناطق با تراکم ساختمانی زیاد و فضاهای آزاد بین آنها را بهبود بخشیده و رطوبت هوای شهر را تعدیل می‌کند.

بامهای سبز علی‌رغم اینکه در مقیاس شهر کارکردهایی همانند زیبا و مفرح ساختن منظره شهر و رفع آلودگی‌های شهری و کاهش تنش‌های روانی دارند؛ در تبادل انرژی و حرارت از بیرون به درون فضاها نیز بسیار مؤثر هستند. بامهای سبز یکی از راه حل‌های مدرن برای مشکلات شهری است. این فناوری با مزایای فراوانی از جمله کاهش بار گرمایش و سرمایش، تصفیه هوا، حفاظت از فاضلاب، کاهش آلودگی صوتی و از همه مهم‌تر کاهش مصرف انرژی، تلاشی برای پایدار کردن شهرهاست. این نوشتار با تأکید بر نقش کارکرد حرارتی بام سبز، تحقیقی میان رشته‌ای محسوب می‌شود که با نگاهی نو، پیوندی میان رشته مکانیک سیالات و معماری ایجاد کرده و با کمک نرم‌افزار انسیس<sup>۲</sup> به تحلیل انتقال حرارت بامهای سبز و مقایسه آن با بامهای معمولی پرداخته است.

بام سبز به طور کلی به سه نوع "متراکم"<sup>۳</sup>، "گسترده"<sup>۴</sup> و "نیمه متراکم"<sup>۵</sup> طبقه‌بندی می‌شود. بامهای سبز متراکم<sup>۳</sup> اصولاً به عنوان مکان‌های عمومی طراحی می‌شود و شامل درختان، درختچه‌ها و بوته‌ها و شبیه محوطه‌سازی در سطح زمین است. این بامها دارای محیط کشتی با عمق ۴۰۰-۱۵۰ میلی‌متر هستند. همچنین به تعمیر و نگهداری بالایی نیازمندند. وزن معمولی بام سبز متراکم بین ۵۰۰-۱۸۰ کیلوگرم بر متر مربع است. به دلیل بار وزنی قابل توجه این نوع بامها، طراحی سازه‌های بام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به همان نسبت نیز پرهزینه‌تر است. در بام سبز گسترده<sup>۴</sup> با توجه به عمق کم و محدودیت در گسترش ریشه، نوع پوشش گیاهی آن به چمن‌ها، گیاهان علفی دائمی، سالانه و مقاوم در برابر خشکسالی محدود می‌شود.

بستر بام سبز گسترده معمولاً بین ۲۰۰-۶۰ میلی‌متر است. نیاز به نگهداری این بامها کم است و آبیاری آنها نیز بسته به نوع آب و هوا ناچیز است. وزن معمولی بام سبز گسترده بین ۱۵۰-۶۰ کیلوگرم بر متر مربع و برای سطوح بزرگ مناسب است. اما بام سبز نیمه متراکم<sup>۵</sup> بین بام سبز گسترده و متراکم قرار دارد. این بامها دارای لایه‌های زهکشی، خاک و گیاه عمیق‌تر و گونه‌های گیاهی متنوع‌تر نسبت به بام گسترده است. عمق لایه‌ها حداکثر ۲۵۰-۱۲۰ میلی‌متر و وزن آن حدوداً بین ۲۰۰-۱۲۰ کیلوگرم بر متر مربع است.

جهان احداث بام سبز به صورت یک دستورالعمل اجرایی در ساختمان‌سازی درآمده است و این در حالیست که در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان اشاره‌ای به آن نشده است. بام سبز در برنامه‌ریزی شهری شمال آمریکا در جاهایی مثل شیکاگو، پرتلند، اورگن و تورنتو کانادا مؤثر بوده و در نظر گرفته می‌شود [www.rokhbam.ir]. با توجه به آلودگی‌های ناشی از گرد و غبارهایی که از کشورهای جنوب غربی وارد ایران می‌شود و همچنین آلودگی‌های ناشی از سوخت بنزینی که سلامت افراد را در شهرهای بزرگ به خطر انداخته است، توجه به اثرات زیست‌محیطی و تأثیرات مثبت بام سبز ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این بام سبز نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی دارد، و از آنجا که بهینه‌سازی مصرف سوخت در حال حاضر یکی از موارد با اهمیت در زندگی شهروندان شده است، استفاده از آن می‌تواند مفید واقع شود. از سایر فواید آن می‌توان به کاهش اثرات جزیره گرمایی، جذب سر و صدا، خنک‌سازی محیط، کاهش آلودگی آب و فاضلابها اشاره کرد.

## بررسی اجمالی مزایای کمی و کیفی بام سبز در مقایسه با بام معمولی

حفاظت بنا در برابر گرما یکی از ویژگی‌های بام سبز است که می‌تواند در طی دوره تابستان به میزان زیادی بار گرمایی وارده از بالا را کاهش دهد. ایجاد بام سبز یک راه حل اکولوژیکی مقبولی است که نه تنها به کاهش بار گرمایی قسمت خارجی ساختمان کمک می‌کند، بلکه به ارتقای کیفی مراکز شهری متراکم که محیط زیست طبیعی کمی دارند نیز کمک می‌کند. شاخ و برگ گیاهان ساختمان را در برابر اشعه‌های خورشید محافظت و درجه حرارت و رطوبت محیط داخل ساختمان را کنترل می‌کند. در مکان‌های بسته‌ای که بر بام آنها گیاه کاشته می‌شود، درجه حرارت هوای زیر این گیاهان کمتر از درجه حرارت هوای بالای آنهاست.

تفاوت بین بامهای گیاه‌کاری شده و بامهای معمولی را می‌توان به دو دسته تفاوت‌های کمی و کیفی دسته‌بندی کرد. فرآیند انتقال گرمایی در بامهای گیاه‌کاری شده کاملاً متفاوت است. گیاهان به دلیل عملکرد بیولوژیکی خود مثل فتوسنتز، تعریق، تنفس و تبخیر میزان قابل توجهی از اشعه‌های خورشید را جذب می‌کنند. باقی‌مانده اشعه‌های خورشیدی به بار گرمایی تبدیل می‌شود و زمانی که از لایه‌های عناصر ساختمانی بام عبور می‌کند بر شرایط هوای داخلی تأثیر می‌گذارد.

## مزایای کمی

### ۱. عایق صوتی

ناراحتی‌های حاصل از سر و صدای موجود در خیابانها مشکل مهمی در مناطق شهری محسوب می‌شود. اگرچه عایق‌سازی نما در تعدیل بار صوتی آن یعنی در کاهش سطح فشار صدا از خارج

## اهمیت و ضرورت تحقیق

علی‌رغم اینکه بام سبز در گذشته در خانه‌های روستایی ایران کاربرد داشته، اما امروزه بام سبز یا باغ بام<sup>۶</sup> واژه‌ای ناآشنا برای بسیاری از مردم است. در برنامه‌ریزی بیشتر شهرهای پیشرفته

فضای کمی برای کاشت درخت وجود دارد و آن به دلیل مجموعه‌هایی از سطوح غیر قابل نفوذ از جمله خیابان، پارکینگ، بام و غیره است. گیاهان، آلاینده‌های هوا را از طریق روزه‌های خود جذب و ذرات آنها را با برگ‌های خود جدا می‌کنند و همچنین قادر به شکستن ترکیبات آلی خاصی مانند هیدروکربن پلی‌آروماتیک در بافت‌های گیاهی و یا در خاک هستند [Baker & Brooks, 1989: 81-126]. علاوه بر این، آنها به طور غیرمستقیم به وسیله کاهش درجه حرارت سطح از طریق تراوشات خنک‌کننده و سایه انداختن، آلودگی هوا را کاهش می‌دهند، که به نوبه خود باعث کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی از نوع آلاینده‌هایی مانند اوزن در جو می‌شوند [Bradley Rowe, 2010: 2-4].

از آنجا که انواع گونه‌های گیاهی توانایی‌های متفاوتی برای حذف آلاینده‌های هوا و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای دارند برای به حداکثر رساندن بهبود کیفیت هوا می‌توان گونه‌های مؤثرتری را انتخاب کرد. به عنوان مثال کاج‌های همیشه سبز ممکن است فواید بیشتری از گونه‌های برگریز ارائه دهند، زیرا با حفظ برگ‌های سالانه خود نقش مؤثرتری در کاهش ذرات ازن، NOx و SOx خواهند داشت [Morikawa, et al., 1998: 180-190].

درختان و درختچه‌ها عمدتاً به دلیل مساحت بزرگتر برگ‌ها نسبت به گیاهان چمنی دائمی، در حذف آلاینده مؤثرترند. اگرچه بام‌های سبز متراکم با درختان و درختچه‌ها از نظر کاهش آلودگی مطلوب‌ترند، بام سبز گسترده هنوز هم می‌تواند در مورد کیفیت هوا نقش مکمل را بازی کند.

البته باید توجه داشت که اگرچه احداث بام‌های سبز به صورت انفرادی تأثیر چندانی در بهبود شرایط آب و هوا و تأمین محیط زیست مطلوب شهری ندارد، اما افزایش این بام‌ها در شهرهای بزرگ می‌تواند تأثیر چشمگیری در بهبود وضعیت شهرها داشته باشد.

#### ۴. کاهش دی‌اکسیدکربن

زمین به موجب چرخه طبیعی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی در حال گرم شدن است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی، دی‌اکسیدکربن را به عنوان یک محصول جانبی احتراق منتشر می‌کند. دی‌اکسیدکربن اغلب به دلیل اینکه یکی از گازهای اتمسفر است که مانع انتقال انرژی گرمایی نزدیک سطح زمین به سطوح بالاتر می‌شود، به عنوان یک عامل مداخله‌گر اثر گلخانه‌ای را افزایش داده و دمای محیط را بالا می‌برد.

بام‌های سبز در دو روش می‌توانند در کاهش دی‌اکسیدکربن در جو مؤثر باشند:

۱. کربن جزء اصلی ساختار گیاهان بوده و به طور طبیعی در بافت‌های گیاهی از طریق فتوسنتز و در بستر خاک از طریق بوته و تراوشات ریشه تجزیه می‌شود.

۲. کاهش انرژی از طریق عایق‌سازی ساختمان و کاهش اثر جزیره گرمایی شهری.

تجزیه کربن می‌تواند به طور کلی با تغییر انتخاب گونه، عمق بستر، ترکیب بستر و شیوه‌های مدیریت بهبود پیدا کند. افزایش عمق

به داخل ساختمان کمک شایان توجهی می‌کند، اما سقف و نوع آن نیز در میزان تأثیرگذاری این عامل بر آسایش شهروندان مؤثر است. بام‌های سبز، عایق‌بندی صدا در سیستم بام را افزایش می‌دهند. البته این تأثیر در بام‌های سبز گسترده که کم‌عمق هستند و لایه نازکی از خاک دارند و بام‌های باغ مانند که خاک‌های عمیق‌تری دارند، متفاوت است. کیفیت عملکرد عایق صوتی به نوع سیستم به کار رفته و همچنین به ضخامت لایه بستگی دارد. بام‌های سبزی که ضخامت لایه خاک آنها ۱۲ سانتیمتر باشد، نفوذ صدا را تا ۴۰ دسی بل کاهش می‌دهند و بام سبزی که ضخامت لایه خاک آنها ۲۰ سانتیمتر باشد نفوذ صدا را تا ۴۶ دسی بل کاهش می‌دهد [www.efbgreenroof.eu].

افزایش عمق بستر تا ۲۰-۱۵ سانتیمتر کاهش سر و صدا را بهبود می‌بخشد، اما بام سبز با لایه عمیق‌تر هیچ سود بیشتری را فراهم نمی‌کند. امواج صوتی در بام سبز بیشتر در فرکانس‌های محدوده ۱۰۰۰ - ۵۰۰ هرتز صادر می‌شود [Bradley Rowe, 2010: 6].

اما به هر صورت این لایه‌های خاک به عنوان رساناهای صوتی نرم شناخته می‌شوند. خاک برای جذب فرکانس‌های پایین‌تر صدا و گیاهان به جذب فرکانس‌های بالاتر تمایل دارند. لایه‌های خاک، هوا و پوشش گیاهی که در بام‌های سبز استفاده شده‌اند، منفذدار بوده، بنابراین اجازه می‌دهند که صدا داخل محیط‌های رشد شود. به دلیل فعل و انفعالات زیادی که بین ذرات لایه‌ها و صوت صورت می‌گیرد از شدت صدا کاسته و موجب جذب، انعکاس و انتشار امواج صوتی می‌شوند.

#### ۲. کاهش اثرات جزایر گرمایی

شهرهای بزرگ به دلیل داشتن سطوح گسترده سخت غیرقابل نفوذ و فاقد پوشش گیاهی، حرارت تابشی آفتاب را به سرعت جذب و خود به صورت منابع ساطع‌کننده انرژی گرمایی عمل می‌کنند. چنین حالتی را اصطلاحاً پدیده «جزیره گرمایی»<sup>۷</sup> می‌نامند. در این حالت اختلاف دمای قابل توجهی بین نواحی شهری وجود دارد که سطوح آنها با آسفالت و قیرگونی پوشیده شده و مناطقی که با پوشش گیاهی پوشیده شده‌اند. این اختلاف اثر جزایر گرمایی شهری بین شهر و حومه آن در تابستان می‌تواند تا ۱۰ درجه فارنهایت باشد [Luckett, 2009: 138]. در این صورت دستگاه‌های هواساز و خنک‌کننده افزایش پیدا می‌کند که این خود بر میزان مصرف انرژی می‌افزاید و پدیده گازهای گلخانه‌ای که مهم‌ترین عامل تخریب لایه اوزن هستند، تشدید می‌شود. بر اساس گزارش سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، دمای هوای شهر می‌تواند تا ۵/۶ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از حومه‌های اطراف شود و به ازای هر ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت هوا، اوج بار ممکن است ۲ درصد افزایش پیدا کند [US EPA, 2003].

#### ۳. کاهش آلودگی هوا

در مناطق شهری، درختان سهم قابل توجهی برای کاهش آلاینده‌های هوا دارند. با این حال، در بسیاری از سایت‌های شهری

می‌دهد. از طرف دیگر بام سبز بر روی کیفیت این آب‌ها تأثیر می‌گذارد. البته مقدار جریان آب بام در کیفیت آب خروجی اثرگذار است. یک معضل در این ارتباط اینست که ذرات آلاینده‌ها (به ویژه فلزات سنگین و مواد مغذی) که به سطوح برگ چسبیده‌اند؛ توسط باران شسته و در سیستم آب‌های سطحی وارد شوند و در نتیجه آلودگی هوا و آلودگی آب را به همراه داشته باشند.

یک رابطه مستقیم بین میزان باران و مقدار مواد جامد در پساب وجود دارد. در موارد زیادی در طول رویدادهای باران کمتر، مواد مغذی و رسوباتی که در بام متعارف با شستشو پاک شدند به علت عدم جریان یافتن آب باران در روی بام سبز باقی مانده‌اند. اما در بارندگی‌های بیشتر غلظت مواد از بام سبز بیشتر می‌شود. علاوه بر این، انتخاب گیاه، ترکیبات خاک، بستر و عمق نفوذ، سن بام سبز، همه در کیفیت پساب مؤثرند. با توجه به ترکیب بستر با کاهش درصد کود آلی، غلظت ازت و فسفر در خاک کاهش پیدا می‌کند [Bradley Rowe, 2010: 5].

اگر چه بستر مهم است، مدیریت بام سبز نیز بسیار مهم‌تر است. کاربرد کودها و آفت‌کش‌ها برای اطمینان از رشد گیاه می‌تواند برای کیفیت آب بسیار مضر باشد [Emilsson, et al., 2007: 260-271].

#### ۶. کاهش انتقال حرارت از طریق ذخیره انرژی ساختمان

بام‌های سبز از تابش اشعه‌های نور خورشید محافظت به عمل می‌آورند و به طور غیر مستقیم در خنک‌سازی و کاهش انتقال حرارت نقش دارند. با توجه به اینکه انتقال حرارت همواره از بدنه‌ها و فضاهای با دماهای بیشتر به فضاهای با دمای کمتر صورت می‌گیرد، انتقال حرارت در بام‌های ساختمان‌ها در زمستان از داخل به خارج و در تابستان از خارج به داخل صورت می‌گیرد. بام‌های سبز از طریق کاهش نوسانات گرمایی بر روی سطح خارجی بام و از طریق افزایش ظرفیت گرمایی لایه‌های سقف به خنک‌سازی فضای زیر بام در طی تابستان و گرم ماندن آن در زمستان کمک می‌کنند. نتایج یک تحقیق در دانشگاه تورنتو نشان می‌دهد بام‌های سبز در اقلیم‌های سرد نیز کارکرد لازم در جهت گرم نگه داشتن فضاها را دارند.

گیاهان با کاهش سرمای باد زمستانی و تنظیم خرداقلیم بالای بام به افزایش میزان حفظ گرما کمک می‌کنند. البته تأثیر کاستن از شدت وزش باد از اثر سایه اندازی آن بیشتر است [Bass, 2007: 9]. پوشش گیاهی مانع یخ‌زدگی محیط کاشت در زمستان می‌شود که میزان عایق بودن بام را افزایش می‌دهد. اما در بام‌های سبز متراکم در صورتی که پوشش گیاهی روی سقف‌ها دچار یخ‌زدگی یا پوشیده از برف شوند امتیاز مضاعفی در جهت نگهداری از انرژی در زمستان فراهم می‌کنند [Ibid]. تحقیقات دانشگاه ناتینگهام و دانشگاه ترنت<sup>۸</sup> در پیتربورو<sup>۹</sup> کانادا درباره دمای فضای زیر بام معمولی و بام سبز در تابستان و زمستان بیانگر تأثیر این بام‌ها در کاهش انتقال حرارت است (جدول ۱ و ۲).

بستر نه تنها می‌تواند حجم ذخیره‌سازی بیشتری برای کربن فراهم کند، بلکه با حجم خاک بیشتر امکان رشد گیاهان دائمی بزرگتر و حتی درختان را نیز فراهم می‌کند و درختان نیز نسبت به چمن‌ها به نوبه خود می‌توانند سهم مؤثری در کاهش دی‌اکسیدکربن داشته باشند [اقتباس از: Bradley Rowe, 2010: 1-11].

علاوه بر این، ترکیب بستر رشد می‌تواند میزان این تأثیرگذاری را تغییر دهد. در مطالعات انجام شده، زغال سنگ منبسط شده در بستر رشد، ۸۰ درصد از انرژی گنجانده شده بام سبز را در برمی‌گیرد. با استفاده از مواد جایگزین، انرژی گنجانده شده می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کند. برای مثال، در شمال غربی اقیانوس آرام شمال آمریکا، آتشفشانی از پامیس است که اغلب به عنوان بخشی از لایه استفاده می‌شود. سنگ پامیس سنگ منبسط شده‌ای است که به وسیله گرمای طبیعت به دست می‌آید و در نتیجه انرژی گنجانده شده آن بسیار کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، شیوه‌های مدیریت از جمله کوددهی و آبیاری نیز بر انرژی ذخیره شده و تجزیه کربن تأثیر خواهد داشت [Ibid: 4].

با این حال، تجزیه کربن توسط گیاهان و بستر فقط بخشی از معادله است. بام‌های سبز نه تنها از طریق تجزیه کربن بر کاهش دی‌اکسیدکربن تأثیر می‌گذارند، بلکه با نقشی که در عایق‌بندی ساختمان‌ها و کاهش جزیره گرمایی دارند نیز بر کاهش این پدیده مؤثرند.

#### ۵. کاهش بار سیستم‌های مجاری فاضلاب

بام سبز در کاهش جریان آب‌های سطحی، بهبود کیفیت جریان آب‌های سطحی و کاهش طغیان فاضلاب‌ها تأثیر دارد. اصولاً در تابستان بام‌های سبز می‌توانند ۸۰-۷۰ درصد و در زمستان بین ۲۵ تا ۴۰ درصد آب را در خود حفظ کنند [www.efbgreenroof.eu]. همچنین بام‌های فشرده با عمق بستر ۱۵۰ میلی‌متر به طور سالانه حدوداً ۷۵ درصد و بام‌های سبز گسترده با عمق بستر ۱۰۰ میلی‌متر در حدود ۴۵ درصد آب را در خود نگه می‌دارند. میزان نگهداری آب در فصل زمستان به طور قابل توجهی پایین‌تر از فصل تابستان است. این نتایج ناشی از تفاوت در تبخیر و تعرق و توزیع بارش باران است [Berndsson., Bengtsson & Jinno, 2008].

اما این امر به نوع سیستم بام سبز، ترکیب خاک و عمق، شیب و فراز پشت بام، گونه‌های گیاهی، رطوبت موجود خاک و شدت و مدت بارش باران بستگی دارد. آب حفظ شده در خاک در نهایت تبخیر خواهد شد و یا به فضای بیرون باز خواهد گشت. علاوه بر این، جریان آب به دلیل اشباع کردن خاک با تأخیر تخلیه می‌شود. از آنجا که جریان در طی یک بازه زمانی طولانی‌تری آزاد می‌شود، لذا می‌تواند به حفظ سیستم آب‌های سطحی شهری در برابر طغیان و کاهش پتانسیل سایشی فرود آب کمک کند. بام سبز با حفظ آب‌های سطحی، احتمال رویداد سرریزی آب‌های فاضلاب و همچنین هزینه‌های مرتبط با سیستم آب‌های سطحی را کاهش



جدول ۱. تحقیقات دانشگاه ناتینگهام درباره دمای فضای زیر بام معمولی و بام سبز در تابستان. مأخذ: [www.efbgreenroof.eu](http://www.efbgreenroof.eu).

● میانگین درجه حرارت/ دمای روزانه	معادل ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد
● دمای فضای زیر بام‌های معمولی	معادل ۳۲ درجه سانتی‌گراد
● دمای فضای زیر بام‌های سبز	معادل ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد

جدول ۲. تحقیقات دانشگاه ترنت در پیتربورو کانادا درباره دمای فضای زیر بام معمولی و بام سبز در زمستان. مأخذ: [www.efbgreenroof.eu](http://www.efbgreenroof.eu).

● میانگین دمای روزانه	معادل ۰ درجه سانتی‌گراد
● دمای فضای زیر بام‌های معمولی	معادل ۰/۲ درجه سانتی‌گراد
● دمای فضای زیر بام‌های سبز	معادل ۴/۷ درجه سانتی‌گراد

شب و روز محافظت می‌شود [Bradley Rowe, 2010: 7].

## ۲. گسترش فضای سبز و زیستگاه جانداران

می‌توان با بام‌های سبز، زیستگاه جانداران و گیاهانی را که قربانی توسعه ساختمان‌سازی می‌شوند را جبران کرد و از این راه مقدار سطوح عاری از گیاه را کاهش و توسعهٔ حیات‌وحش را که محدود شده بود، گسترش داد [www.livingroofs.org].

بام‌های سبز در مقایسه با بام‌های متعارف فواید زیادی برای محیط زیست و حیات وحش دارند، به ویژه زمانی که این بام‌ها سازگار با بوم و شرایط اقلیمی منطقه باشند، سهم زیادی در حفظ گونه‌های همان منطقه دارند.

## ۳. تولید غذا

بام سبز یک فرصت برای توسعه کشاورزی در بالای پشت بام است که تولیدات غذایی را گسترش می‌دهد. تولیدات بام سبز نسبت به محصولات بازار به دلیل توجه به کوددهی و آفت‌کش‌ها می‌تواند کیفیت بهتر و تولیدی طبیعی‌تر داشته باشد.

## ۴. زیبایی و رفاه و سرگرمی

بام‌های معمولی اغلب با تجهیزات تهویه، دودکش‌ها و لایه‌های قیری و سنگفرش خود سیمای ناهنجاری را بر روی نمای پنجم ساختمان ایجاد می‌کنند. همچنین جذب گرما به دلیل رنگ تیره و جنس مصالح بام خود مانع از حضور در بام می‌شود. حال می‌توان با اندکی سبزی‌نگی، کارآیی و نقش این بام‌ها را تغییر داد. بام‌های سبز با خاصیت خنک‌کنندگی و ایجاد سایه، محیطی دلپذیر فراهم می‌کنند و می‌توانند برای تفریح عموم استفاده شوند و نیز فضای باز شهری را توسعه دهند.

## ۵. ترویج سلامتی و بهزیستی

مطالعات بیانگر اهمیت تماس مستقیم انسان با فضاهای طبیعی و سبز و نقش آن در سلامت جسم و روان انسان است و نشان می‌دهد که دسترسی به فضای سبز به طور مستقیم باعث کاهش ضربان قلب و فشار خون می‌شود و به طور کلی بر افزایش سلامت افراد کمک می‌کند. همچنین تأثیری که بام‌های سبز در تنظیم و تعدیل دمای ساختمان دارند به طور غیرمستقیم بر سلامتی ساکنان

بنابراین موارد زیر باعث کاهش انتقال حرارت در بام‌های سبز طراحی شده می‌شود:

## ۱. افزایش ظرفیت گرمایی سقف

در زمستان، اتلاف انرژی کمتری از داخل به بیرون و در تابستان نیز انتقال گرمای کمتری از بیرون به داخل وجود دارد. در بام‌های سبز با افزایش لایه‌هایی که ظرفیت گرمایی لایه‌های سقف را افزون می‌کنند در کاهش انتقال حرارت نقش مؤثری دارند و در تابستان به خنک‌سازی فضای زیر بام کمک می‌کنند و در زمستان نیز گرمای درون بنا را بیشتر حفظ می‌کنند.

## ۲. حفظ رطوبت

سبزی‌نگی و پوشش گیاهی زنده رطوبت را در درون خود حفظ و با این شیوه در تعدیل دمای ساختمان نقش مؤثری ایفا می‌کنند. آب به عنوان جرم حرارتی از نوسانات دمایی جلوگیری کرده و موجب خنک شدن ساختمان در تابستان و گرم نگه‌داشتن نسبی آن در زمستان می‌شود، البته میزان این تأثیر متناسب با فصل‌های گوناگون سال و میزان رطوبت موجود در شبکه بام متغیر است.

## ۳. فتوسنتز گیاهان (کاهش جذب آفتاب)

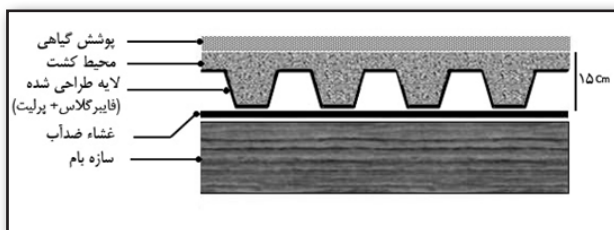
ترکیب واکنش‌های انجام شده در خاک شامل تجهیز و انتشار و همچنین واکنش‌های فتوسنتز و تعریق و تعرق گیاهان باعث کاهش میزان انرژی آفتاب جذب شده توسط لایهٔ بام شده و در نتیجه دمای فضای زیر سطح این بام‌ها در تابستان کاهش پیدا می‌کند.

در زمستان نیز بام‌های سبز کارکرد مثبت خود را ایفا می‌کنند. گیاهان پیوسته مقداری هوا لابه‌لای ریشه‌های خود نگه می‌دارند که به صورت یک لایه عایق حرارتی عمل می‌کند. البته کارایی این لایه عایق حرارتی در بام‌های سبز به میزان رطوبتی وابسته است که خود نگه می‌دارند.

## مزایای کیفی

### ۱. حفاظت از پوسته بام

طول عمر بام معمولی حدود ۲۰ سال است. در صورتی که طول عمر بام سبز ۴۵ سال یا بیشتر برآورد شده است. غشای قیری بام به وسیله خاک و پوشش گیاهی از اشعه ماوراء بنفش و نوسانات شدید درجه حرارت بین



تصویر ۱. جزئیات بام سبز طراحی شده. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
Fig1. Designed green roof detail. Source: Authors, 2010.



تصویر ۲. مدل طراحی شده. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
Fig2. Designed model. Source: Authors, 2010.



تصویر ۳. قالب طراحی شده. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
Fig3. Designed model. Source: Authors, 2010.

سانتیمتر خاک به عنوان لایه کشت در نظر گرفته شده و در نهایت فرانکینیا به عنوان پوشش گیاهی انتخاب شده است (تصاویر ۲ و ۳). بررسی تجربی در مدل اجرایی: در ابتدا به مدت یک ساعت حرارت مستقیم مشعل را روی قسمت فوقانی نمونه اعمال و سپس کمی صبر کرده تا تبادل حرارت بین لایه فوقانی و تحتانی صورت گیرد. سپس یکی از سنسورها در نزدیکی لایه فوقانی و دیگری در نزدیکی لایه تحتانی قرار گرفت و دماهای نمایش داده شده بر روی نمایشگر یادداشت شد. بررسی‌های تجربی با نصب یک برد بر روی آن انجام گرفت تا با نتایج نرم‌افزاری مقایسه تطبیقی شوند. در این برد از سنسور IM35 استفاده شده است. با تغییر دما، خروجی سنسور، ولتاژ متناسب با دما را ایجاد می‌کند، سپس ولتاژ تولید شده توسط ورودی آنالوگ میکرو اندازه‌گیری می‌شود و روی نمایشگر نشان داده می‌شود. اندازه‌گیری انتقال حرارت نمونه‌ها به وسیله سنسور صورت می‌گیرد که با توجه به نتایج بدست آمده میزان دما

اثر می‌گذارند.

### ۶. صرفه‌جویی اقتصادی

کاهش مصالح ساختمانی مصرفی با افزایش طول عمر بام و کاهش تعمیرات و نوسازی بام، حفاظت از انرژی، مدیریت آب‌های سطحی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن، کاهش سوخت‌های مصرفی موجب بهبود شرایط اقتصادی می‌شود. مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی بام سبز هزینه‌های بهداشت و درمان را می‌کاهد، کیفیت آب را بهبود می‌بخشد و هزینه‌های انرژی سرمایشی و گرمایشی را کاهش می‌دهد. همچنین موادی که برای ساختن بام‌های سبز به کار می‌روند اغلب از منابع بازیافتی تهیه می‌شوند (برای مثال خرده آجرهای متخلخل). استفاده از نخاله‌های مصالح ساختمان باعث صرفه‌جویی در هزینه احداث بام سبز می‌شود و هزینه لازم برای دفن نخاله‌ها و نیز هزینه انتقال آنها را حذف کرده یا کاهش می‌دهد. بام سبز یک فرصت منحصر به فردی را برای به کارگیری بام‌ها در راستای بهبود چرخه اقتصادی فراهم می‌کند.

### بررسی انتقال حرارت بر روی مدل طراحی شده

در این بخش نمونه‌ای از بام سبز اجرایی نیمه متراکم برای ارزیابی چگونگی انتقال حرارت مورد مطالعه قرار گرفته است. مشخصات جزئیات اجرایی این نمونه بام سبز شامل موارد ذیل است:

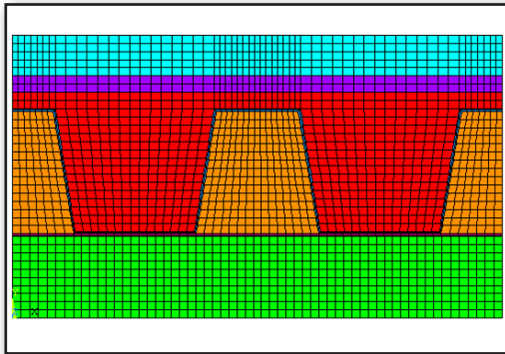
- پوشش گیاهی
- محیط کشت (پشم سنگ)
- لایه طراحی شده (فایبرگلاس + پرلیت)
- غشای ضدآب
- سازه بام (تصویر ۱).

### نحوه اجرای بام سبز طراحی شده

مدل اجرایی در ابعاد ۱×۱ متر مربع طراحی شده است. در ابتدا نمونه سقف بتنی با عیار ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و شبکه میلگرد با فواصل ۲۰×۲۰ سانتیمتر مربع و قطر میلگردهای طولی ۱۰ و میلگردهای عرضی ۸ اجرا شده است. به منظور ایجاد عایق در برابر نفوذ احتمالی آب، ایزوگام روی نمونه سقف را می‌پوشاند. پس از این دو لایه شبکه مدولار بام سبز طراحی شده قرار می‌گیرد که در آن ۱۲ عدد گلدان به صورت ۴ ردیف که هر ردیف آن شامل سه گلدان است قرار دارد. مصالح بکار رفته در قالب فایبرگلاس و پرلیت است که پرلیت در بین دو لایه فایبرگلاس (پشم شیشه و رزین) قرار دارد. در ارتفاع ۵ سانتیمتری هر گلدان روزنه‌ای برای خروج آب و وارد شدن به مسیر زهکشی قالب طراحی شده است. بین هر دو ردیف گلدان نیز یک ناودان برای جمع‌آوری آب مازاد بر نیاز پوشش گیاهی با شیب مناسبی تعبیه شده است. داخل گلدان‌ها و ۲ سانتیمتر فضای روی قالب از لیکا به منظور سبک بودن و قابلیت نگهداری بالای آب استفاده شده است و روی لیکا ۲

جدول ۳. رابطه فوریه. مأخذ: Jurgen Bathe, 1996.

$q = k.A.\Delta\theta$	رابطه فوریه
$k$	ضریب رسانش $[W/m.k]$
$A$	مساحت رسانش $[m^2]$
$\Delta\theta$	تغییرات دما بر طول $[k/m]$



تصویر ۴. چیدمان المان‌های بام سبز طراحی شده برای هفت لایه. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
Fig4. Setting elements of designed green roof for seven layers.  
Source: Authors, 2010.

۷۹/۶

شده نشان داده شده است (تصویر ۴). در اینجا از ذکر جزئیات روش حل خودداری شده است.<sup>۱۶</sup>

برای تحلیل حرارتی مدل‌های بررسی شده، از شرایط یکسان دمایی استفاده شده است. همچنین برای بررسی نفوذ حرارتی در بام مورد نظر، دما بر روی بام در اثر تابش خورشید ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در سطح پایین که نشان دهنده دما در شرایط ایده‌آل است ۲۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. به طور کلی ۳۰ درجه اختلاف دما بین دو سطح وجود دارد و میزان نفوذ حرارتی در هر کدام از لایه‌ها از روی کانتورهای<sup>۱۷</sup> توزیع دمایی بررسی می‌شود.

به مقدار ۱۷ درجه کاهش پیدا می‌کند یعنی از ۴۵ درجه به ۲۸ درجه تقلیل یافته است.

بررسی‌های نرم‌افزاری با انسیس صورت گرفت و از مدل‌سازی عددی استفاده شد. مدل‌سازی عددی از روش‌های متداول و بهینه در حل معادلات مهندسی است. روش المان محدود<sup>۱۸</sup> به عنوان یکی از روش‌های تحلیل عددی در مسایل گسترده‌ای در حوزه رشته‌های مهندسی برای حل دقیق<sup>۱۹</sup> مسایل بکار می‌رود. این روش در اصل برای حل مسایل پیچیده در تحلیل تنش در جامدات استفاده می‌شود ولی امروزه با گسترش این روش، در مسایل بسیاری همچون حل عددی معادلات انتقال حرارت و انواع گوناگون از مسایل مکانیک پیوسته<sup>۲۰</sup> کاربرد وسیعی دارد.

### معادلات حرارتی حاکم

وقتی در محیط ساکنی که می‌تواند جامد یا سیال باشد، اختلاف دما وجود دارد و برای انتقال حرارت رسانش روی می‌دهد. هنگام بحث در مورد رسانش باید مفاهیمی چون فعالیت اتمی و مولکولی مورد توجه قرار گیرد، زیرا فرآیندها در این سطوح است که انتقال گرما را تداوم می‌بخشند. رسانش را به عنوان انتقال انرژی از ذرات پرانرژی به ذرات کم انرژی ماده، بر اثر برهم کنش‌های بین آنها می‌توان دانست. حرارت رسانش شده بین دو سطح با قانون فوریه<sup>۲۱</sup> محاسبه می‌شود (جدول ۳).

روش المان محدود به دلیل مشتق‌پذیری و انعطاف‌پذیری بالا، روز به روز در مراکز تحقیقاتی توجه بیشتری را به خود جلب می‌کند. در این تحقیق نیز برای حل معادلات انتقال حرارت رسانش<sup>۲۲</sup> از روش المان محدود استفاده شده است. برای حل معادله هرچه المان‌بندی ریزتر باشد، توزیع جامع‌تر و دقیق‌تری را برای نقاط مورد نیاز محاسبه می‌کند. در نهایت با حل ماتریس ضرایب متغیرهای حالت (دماها) بدست می‌آیند. در بررسی انجام شده در این تحقیق، برای حل عددی مسئله مورد نظر از المان دو بعدی ۸ گره‌ای<sup>۲۳</sup> استفاده شده است. به عنوان مثال، نمونه‌ای از المان‌بندی مورد استفاده بر روی بام سبز طراحی

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، در بام اجرایی مشخص است که در لایه ایزوگام به دلیل ضریب رسانش کمتر، انتقال حرارت کمتر است. البته باید در نظر داشت که ضخامت ایزوگام کمتر از بتن است و بتن نسبت به قیر کاملاً رساناتر است. برای بام سبز اجرایی نتایج، میزان کمتری انتقال حرارت نسبت به بام اجرایی را نشان می‌دهند که خود به دلیل استفاده از مواد کم‌رسانا همچون لایه فیلتر-الیاف ژئوتکستایل است. باید در نظر داشت که ضریب رسانش محیط کشت (لیکا) و لایه زهکشی، سنگدانه (شن) در حالت خیس شده بالاتر است (شرایط خشک مدل‌سازی شده است) و طبیعتاً در شرایط مرطوب رسانش حرارتی بالا می‌رود. برای بام سبز مذکور، از لایه‌هایی چون فایبرگلاس + پرلیت و هوا استفاده شده که تقریباً عایق است و به همین دلیل انتقال حرارت کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. از توزیع دما کاملاً معلوم است که در قسمت هوا انتقال حرارت کمتر است و در لایه کناری به دلیل وجود خاک رس که نسبت به هوا رسانا است، رسانش بیشتر است.

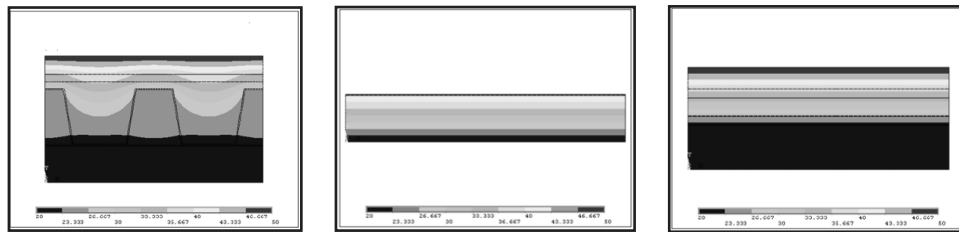
برای تحلیل چگونگی تأثیر بام سبز در دمای محیط رفتار حرارتی و انتقال حرارت سه نوع بام با یکدیگر مقایسه تطبیقی شده‌اند:

۱. بام معمولی

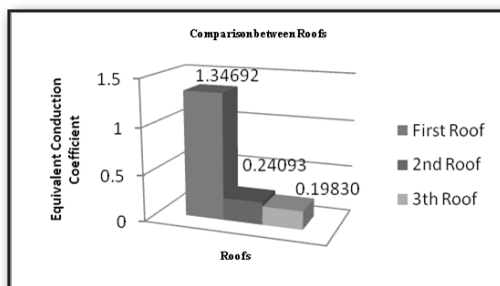
۲. بام سبز بدون لایه فایبرگلاس

۳. بام سبز طراحی شده با لایه فایبرگلاس (تصویر ۵).

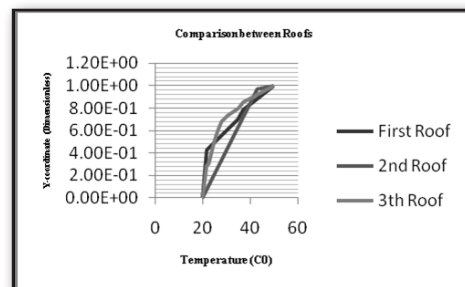
برای بررسی دقیق‌تر در این قسمت در راستای Y (ابعاد در راستای Y بی‌بعد شده‌اند) و در مرکز خطی از گره‌ها در نظر گرفته می‌شود و توزیع دمای گره‌ها در سه بام مقایسه شده‌اند (تصویر ۶). از مقایسه نمودار توزیع دما در سه بام کاملاً مشخص است که به طور میانگین بام سبز طراحی شده در نقاط مختلف دمای پایینتری دارد که در نتیجه انتقال حرارت کمتر سطوح است. برای بررسی کامل‌تر می‌توان از ضریب انتقال حرارت معادل استفاده کرد. با استفاده از روش‌های معادل‌سازی ضریب انتقال حرارت معادل بدست آمده و انتقال حرارت با ضریب معادل، برابر انتقال حرارت لایه‌چینی مورد نظر است. مقایسه ضریب رسانش معادل برای سه بام نشان می‌دهد که کم‌ترین ضریب رسانش برای بام سبز طراحی شده با لایه فایبرگلاس است. در نتیجه کم‌ترین انتقال حرارت برای بام مذکور خواهد بود (تصویر ۷). در جدول ۴ مقادیر بدست آمده انتقال حرارت برای هر کدام از بام‌ها و همچنین مقادیر بهینه‌سازی در انتقال حرارت به صورت کاملاً مشخص ذکر شده‌اند و بهینه بودن بام سبز طراحی شده از نظر حرارتی، نسبت به طرح بام سبز اجرایی کاملاً قابل درک است. انتقال حرارت در بام سبز با لایه فایبرگلاس به صورت تجربی نیز مورد بررسی قرار گرفت و با نصب سنسورهایی، نتایج نرم‌افزاری با میزانی از اختلاف تأیید شد. به نظر می‌آید اختلاف میان نتایج تجربی و نتایج نرم‌افزاری به دلیل عدم در نظر گرفتن نقش سایه در کاهش انتقال حرارت در نتایج نرم‌افزاری است.



شکل ۵: کانتورهای توزیع دما برای سه بام مورد نظر. الف) بام اجرایی ب) بام سبز اجرایی پ) بام سبز طراحی شده. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
 Fig5. Contours of temperature distribution for three roofs: A) Conventional roof B) Conventional green roof C) designed green roof.  
 Source: Authors, 2010.



تصویر ۷. مقایسه ضریب رسانش معادل بام‌ها. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
 Fig7. Comparison of equivalent conductance coefficient of roofs  
 .Source: Authors, 2010.



تصویر ۶. مقایسه توزیع دمای بام‌ها، برای خطی از گره‌ها در راستای Y. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹.  
 Fig6. Comparison of temperature distribution roofs, for line of nodes, along Y. Source: Authors, 2010.

### پی‌نوشت‌ها

- ۱/ Green Roof ۲/ Ansys ۳/ Intensive Green Roof ۴/ Extensive Green Roof ۵/ Semi- Extensive Green Roof ۶/ Roof Garden ۷/ UHI (Urban Heat Island) ۸/ Trent University ۹/ Peterborough ۱۰/ Finite element method ۱۱/ Exact Solution ۱۲/ Continuum Mechanics ۱۳/ Fourier's law ۱۴/ Conduction Heat Transfer ۱۵/ Eight Node ۱۶. برای دسترسی به روابط و الگوریتم مورد استفاده می‌توانید به مراجع ذیل مراجعه کنید :

- Jurgen Bathe, K. (1996). Finite Element Procedures. C7:642-695.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. & Zhu, J.Z. (2005). The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Vol.1. Sixth edition C7: 140-164



## Reference list

- Baker, A.J.M. & Brooks, R.(1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution. *Journal of ecology and phytochemistry*. Biorecovery ,1 (2) : 81–126.
- Bass, B. (2007). *Green Roofs and Green Walls: Potential Energy Savings in the winter*. Toronto : Adaptation & Impacts Research Division Environment Canada at the University of Toronto Centre for Environment.
- Benefits of Green Roof (n.d.). Available from:[www.livingroofs.org/livingpages/benextendedlife.html/gvu/benefitsof green roof /](http://www.livingroofs.org/livingpages/benextendedlife.html/gvu/benefitsof%20green%20roof/) (Accessed 12May 2010).
- Berndtsson , J.C., Bengtsson, L. & Jinno, K. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Journal of ecological engineering*, 35:369-380. Available from : [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Bradley Rowe, D. (2010). Green roofs as a means of pollution abatement. *Journal of Environmental Pollution*, 159: 2100-2110. Available from: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Emilsson, T., et al. (2007). Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Journal of Ecological Engineering*, 29: 260- 271.
- Green Roof and Environment (n.d.). Available from:[http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/fa01\\_anglisch.html/gvu/green roof and environment](http://www.efb-greenroof.eu/verband/fachbei/fa01_anglisch.html/gvu/green%20roof%20and%20environment) (Accessed 20November 2010).
- Jurgen Bathe, K. (1996). *Finite Element Procedures*. Michigan : Prentice Hall .
- Luckett, K. (2009). *Green roof construction and maintenance*. New York : McGraw-Hill.
- Morikawa, H., et al. (1998). More than a 600-fold variation in nitrogen dioxide assimilation among 217 plant taxa. *Journal of Plant Cell and Environment*, (21):180-190.
- Soflaee, F. (March 2009). Bam ya Bagh zarurate Tarahi-e Paydar [roof garden, the Necessity os sustainable design]. Article01. Available from: <http://journals.apa.org/prevention/volume3/pre0030001a.html> (Accessed 20 April 2010).
- Takahasi, M., Kondo, K. & Morikawa, M. (2003). Assimilation of nitrogen dioxide in selected plant taxa. *Journal of Acta Biotechnology*, (23): 241 -247.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). Cooling Summertime Temperatures : Strategies to Reduce Urban Heat Islands. Washington, DC. EPA 430-F-03-014.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. & Zhu, J.Z. (2005). *The Finite Element Method : Its Basis and Fundamentals*. Vol.1, Sixth edition, C7: 140-164. Available from : [http://books.google.com/books/about/The\\_finite\\_element\\_method.html?id=YocoaH8lnx8C](http://books.google.com/books/about/The_finite_element_method.html?id=YocoaH8lnx8C).

## The Effect of Green Roof on Reducing Environment Temperature

Mahnaz Mahmoudi Zarandi \*

Neda Pakari\*\*

Hassan Bahrami\*\*\*

### Abstract

Green roof is a roof which is mostly covered with vegetation and soil or is covered with vegetative medium. Chlorophyll creation has a positive impact on the climate of the city and can also contribute positively to providing cool air inside the buildings. This cooling of air occurs through reducing the penetration of heat through the roof and providing a stronger insulation to prevent indoor air to become warm. As a result, the indoors temperature can be easily decreased during summer and increased during winter.

Reducing energy consumption is one of the major concerns for sustainability in cities. Creating roof garden is suggested as one of the ways to reduce energy consumption in major cities. Roof garden or green roof - if properly designed and implemented by considering climate issues - can greatly help to reduce energy consumption.

Changing buildings roofs to green roofs could improve the exchange of air between areas of high building density and open spaces between them and accordingly adjust the city's air moisture. This technology has several advantages including less wastage of heating and cooling, purification of air, reduction of noise pollution, and most importantly energy consumption efficiency – factors that can help the stabilization of city life.

Due to the improvement in the social, economic and environmental conditions, the development of green roofs have always been at the top of the agenda in advanced cities. Heat loss through the roof of the buildings is high and there is a lot of energy wastage in higher floors units. Therefore, the green roof is a solution for this problem. Green roofs by rising roofing layers, act as a thermal insulation and help control heat exchanges between the inside and outside of the buildings.

In the present research, after recognizing that benefits of green roofs with this hypothesis that “green roof and how design of green roof have effective role in reduce heat transfer” with help of analysis software called ansys, three samples of conventional roofs, green roofs conventional and green roofs with special detail (fiber glass layers) analyzed and heat transfer comparative compared.

Also, installed heat sensors to verify the thermal performance of green roofs for designed green roofs and simple ample of normal green roof, indicate optimization of designed green roof respect to normal green roofs, heat performance wise. With software analysis and laboratory samples, green roof compared to 50% less heat transfer rather conventional roof and green roof with fiber glass layers to 40% rather green roof conventional optimized. Shading and evaporative cooling plants and also the role of roof layers that all perform like insulation, have effective role in reduce heat transfer.

In researched, methodology research related to the benefits of green roof is descriptive and qualitative approach. But in sectors related to software analysis, these had quantitative approach and analytical methodology.

### Keywords

Green Roof, Heat Transfer, Reduce Energy Consumption, Ansys Software.

.....  
\*. Ph.D in Architecture, Assistant Professor of Architecture, Qazvin Islamic Azad University. Qazvin, Iran.

Mahnaz\_Mahmoody@yahoo.com

\*\* . M.Sc. Architecture student, Qazvin Islamic Azad University. Qazvin, Iran.

Nedapakari@yahoo.com

\*\*\*. B.A. Mechanical Engineering Student, Qazvin Islamic Azad University. Qazvin, Iran.

Hassan\_bahrami63@yahoo.com