فصلنامه علمی-پژوهشی
نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی
سال سیزدهم، شماره سوم، تابستان ۱۴۰۰

ارزیابی سامانه بام‌سبز در مقایسه با بام معمولی از منظر بهره‌وری انرژی در راستای برنامه‌ریزی شهری (کلانشهر مشهد) *

افسانه قلعه‌نوی

دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

آزاده شاهچراغی [۱]

دانشیار، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

حامد کامل‌نیا

دانشیار، گروه معماری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۵

چکیده

امروزه، گسترش سطوح مصنوع نسبت به فضاهای طبیعی شهرها، یک چالش اساسی است. توسعه ناپایدار شهرها متاثر از رشد تکنولوژی و بر هم خوردن تعادل زیستی میان محیط و انسان، نیازمند چاره‌اندیشی است. پژوهش حاضر با هدف، بررسی عملکرد حرارتی بام‌سبز در مقایسه با بام معمولی در شهر مشهد است. به‌این منظور، دو مدل آزمایشگاهی یکی دارای بام‌سبز و دیگری بدون بام‌سبز با شرایط یکسان در دو بازه زمانی تابستان و زمستان، مورد بررسی قرار گرفته است. دمای سطوح بام‌ها اندازه‌گیری شده و شارحرارتی از طریق اختلاف دمای سطح خارجی و داخلی محاسبه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد، دامنه نوسانات بام سبز در فصل تابستان در شهر مشهد ۷۰ درصد و در فصل زمستان ۸۵ درصد کمتر از دامنه نوسانات بام معمولی است و از آنجاییکه شهر مشهد دارای اقلیم سرد بوده و بیشتر سال نیاز به گرمایش دارد، بام‌سبز می‌تواند بر کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های این شهر بسیار موثر واقع شود. همچنین بام‌سبز از طریق ایجاد سایه و سرمایش تبخیری در تابستان و به حداقل رساندن پرت حرارتی در زمستان می‌توانند نیاز سرمایشی در تابستان و نیاز گرمایشی در زمستان را به‌ترتیب ۱۱٪ و ۱۹٪ کاهش دهد. لذا می‌توان بیان نمود که بام‌های سبز چیزی بیش از یک فضای زیبا و دلنشین هستند و آنها می‌توانند موجب افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها شوند.

واژگان کلیدی: بام‌سبز، عملکرد حرارتی، کاهش مصرف انرژی، مدل آزمایشگاهی

---

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی معماری نویسنده اول با عنوان "ارائه مدل بومی و کارامحور بام‌سبز به منظور کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها (مطالعه موردی: کلانشهر مشهد)" به راهنمایی دکتر آزاده شاهچراغی و مشاوره دکتر حامد کامل‌نیا در دانشکده عمران، هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران در حال انجام است.

[۱] نویسنده مسئول: shahcheraghi@srbiau.ac.ir

مقدمه

امروزه، گسترش سطح محیط مصنوع نسبت به فضاهای طبیعی شهر یک چالش اساسی است. توسعه ناپایدار شهرها متاثر از رشد تکنولوژی و بر هم خوردن تعادل زیستی میان محیط و انسان در نتیجه آن، نیازمند چاره‌اندیشی است. همه روزه هزاران سازه در حال ساخت با بکارگیری وسیع بتن و مصالح دیگر که قابلیت نگهداری و آزادسازی بسیار زیاد حرارت را دارند، موجب نابودی و ریشه‌کن کردن پوشش طبیعی گیاهی و جانوری می‌شوند (Zarin Vafa, 2013). در چنین شرایطی، تداوم زندگی انسان در کنار منابع آلاینده زیست‌محیطی و بهبود شرایط اکولوژیکی و کاهش میزان بار آلودگی می‌باشد(Mahroghizade, 2013) . از این‌رو، توجه و بازنگری در اصول طراحی و ارزشیابی ساختمان‌های مسکونی که بخش بزرگی از کل مصرف انرژی در شهرها را، که عمدتا به‌منظور سرمایش و گرمایش فضاهاست، به‌خود اختصاص داده‌اند، یک ضرورت به‌نظر می‌رسد. از این نظر، بام‌های سبز ایده‌ای در راستای محیط‌زیستی سبزتر و سالم‌تر هستند. عملکرد بام‌های سبز به‌عوامل بسیاری وابسته است که می توان آن‌ها را به عوامل خارجی و داخلی تقسیم کرد. عوامل خارجی به شرایط آب و هوایی از جمله تابش خورشیدی، سرعت باد، بارندگی (آبیاری)، دما و رطوبت اشاره دارد و از عوامل داخلی می‌توان خصوصیات هندسی و نوع گیاهان و بستر، نسبت آب حجمی، خصوصیات حرارتی فیزیکی لایه‌های ساختاری ساختمان و لایه عایق را نام برد. به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مزایا و منافع حاصل از این نوع بام‌ها، باید نحوه عملکرد آن‌ها با توجه به عوامل داخلی و خارجی هر منطقه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. سقف‌های سبز تکنولوژی‌های پیچیده هستند و عملکرد سقف‌های سبز برای اقلیم‌های مختلف متفاوت است. آنجایی‌که پیاده‌سازی ایده بام‌سبز در ایران و به‌ویژه در شهر مشهد به‌ندرت صورت گرفته‌است، انجام این پژوهش ضروری به‌نظر می‌آید. شهر مشهد از یکسو، بنا به موقعیت اقلیمی و جغرافیای و نیز استعدادهای محیطی فوق‌العاده‌اش و از سوی دیگر به‌دلیل روند شهرنشینی شتابان در سطح کشور، به‌نظر می‌رسد بستر مناسبی برای گسترش بام‌سبز باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی و ارزیابی عملکرد بام‌سبز در مقایسه با یک بام‌معمولی در دو فصل تابستان و زمستان در اقلیم شهر مشهد صورت گرفته‌است. با توجه به ماهیت پژوهش و اهداف آن، به‌منظور ارزیابی عملکرد بام‌سبز که هدف اصلی این پژوهش است و با در نظر گرفتن چارچوب نظری بدست آمده، به بررسی تطبیقی بام‌سبز و بام معمولی در بستر کلانشهر مشهد پرداخته شده‌است. به‌طور کلی این پژوهش براساس هدف، از نوع پژوهش‌های کاربردی و عملی (عملیاتی) و براساس رویکرد، کمی می‌باشد. به‌علاوه، پژوهش حاضر، از نوع شبه آزمایشگاهی با مداخله پژوهشگر محسوب می‌شود. این پژوهش در دو بازه یک ماهه در دو فصل تابستان و زمستان انجام گرفته‌است. انتخاب این دو بازه زمانی براساس داده‌های اقلیمی سی ساله کلانشهر مشهد و به‌گونه‌ای بوده است که بتوان عملکرد حرارتی بام‌سبز را در گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال ارزیابی نمود و در نهایت به‌منظور مقایسه عملکرد بام‌سبز در مقایسه با بام معمولی سه گام اصلی برداشته شده‌است. در گام اول و دوم، دمای سطح هر دو بام سبز و معمولی به جهت بررسی عملکرد

سرمایشی و گرمایشی در دو مرحله اندازه‌گیری و در گام سوم بار سرمایشی در تابستان و بـار گرمایشـی در زمسـتان در هر دو بام سبز و معمولی توسط محاسبه شار حرارتی بدست آمده‌است.

پیشینه پژوهش

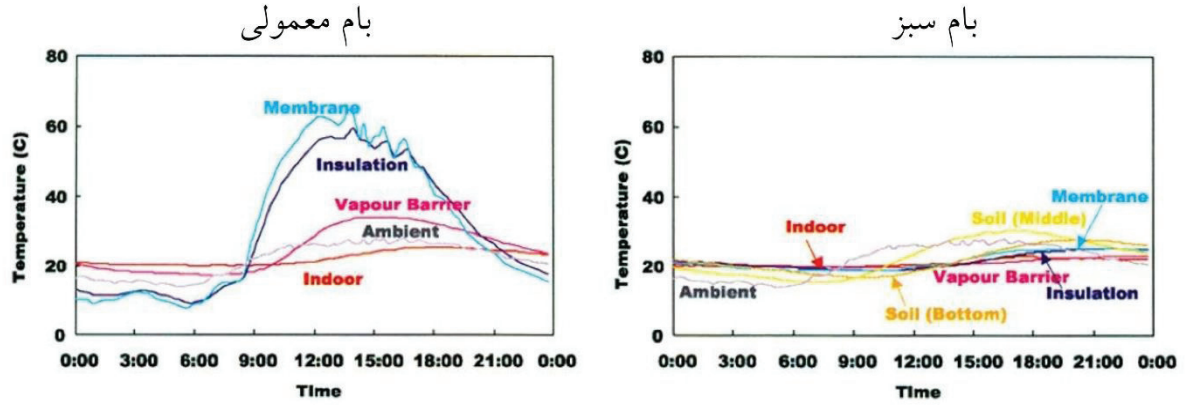
استفاده از بام‌های سبز با توجه به مزیت‌هایشان منجمله صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش جزیره گرمای شـهری، بهبود کیفیت هوا و حفظ آب بارندگی‌ها، در مقایسه با بام‌های معمولی به عنوان یک اسـتراتژی امیـدوار کننـده بـرای توسعه پایدار شهری رواج یافته‌است. با توجه به نگرانی‌های زیاد در مورد گرم شـدن کـره زمـین و اثـرات موضـعی جزایر حرارتی شهری، اثرات حرارتی و انرژی بام‌های سبز توجه دانشمندان، معمـاران و مهندسـان شهرسـازی را بـه خود جلب کرده‌است. نفوذ انرژی خورشیدی و شار حرارتی از ساختمان‌ها بـه فضـاهای داخلـی و هـوای محـیط و همچنین گرمای به دام افتاده در خیابان‌ها که توسط ساختمان‌هـای بلنـد مرتبـه همچـون دره‌هـای بـاریکی شـده‌انـد، اصلی‌ترین عامل شکل گیری جزایر حرارتی شهری هستند. از این‌رو، سبز کردن بام‌ها به طور غیرمستقیم مـی‌توانـد از طریق چندین فرآیند حرارتی و فیزیولوژیکی این تأثیرات را متعادل کند. سیستم بام‌سبز می‌تواند به عنـوان عـایق کـار کند و باعث افزایش جرم حرارتی و تغییر الگوی شار حرارتی سقف و همچنین بار حرارتی ساختمان شـود. چراکـه، سایبان‌های ایجاد شده به‌وسیله گیاهان، درصد بالایی از تابش خورشیدی را جذب کرده و از طریق تبخیر و تعرق آن را به گرمای نهان تبدیل می‌کنند و بدین ترتیب سطح سقف و همچنـین هـوای محـیط را خنـک مـی‌نماینـد (Silva, Gomes, 2016).

در میان مطالعات صورت گرفته در خصوص بام‌های سبز، بخشی از پژوهش‌ها به ارزیابی عملکرد حرارتـی و انـرژی این نوع از بام‌ها با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی، مدل‌های ریاضی بام سبز و نـرم افزارهـای شـبیه‌سـازی انـرژی ساختمان مانند Energy Plus اختصاص دارد و تأثیرات مربوط به پارامترهای دمـا (درجـه حـرارت محـیط خـارجی، دمای سطح بام و دمای هوای داخلی)، شار حرارتـی (هـدایت حرارتـی بـام ، محسـوس و نهـان)، بارهـای حرارتـی ساختمان در آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه (He, Yu, & Zhao, 2015) پیرامون بررسی میدانی بام‌سبز در دو اتاق به ابعاد ۲/۷*۳*۳ در شانگهای انجـام شد، در این مدل‌ها، دیوارهای هر دو اتاق از ساندویچ پنل به ضخامت ۷/۵ سانتیمتر بود و یک اتـاق بـا سـقف سـبز پوشانده شد، در حالی‌که اتاق دیگر با سقف معمولی پوشیده شده بود. توزیع دمـا در جهـت عمـودی هـر دو سـقف ضبط شد و به همین ترتیب جریان شار حرارت از طریق سقف‌ها و نیز نسـبت حجـم آب بـه خـاک سـقف سـبز و داده‌های هوای محلی به طور همزمان جمع‌آوری شد. نتایج نشـان داد کـه در حالـت شـناور (بـدون سیسـتم تهویـه مطبوع)، دمای هوای داخل اتاق در بام سبز در روز سه درجه خنک‌تر و در شب سه درجـه گرمتـر از دمـای داخلـی اتاق با بام معمولی است و شار حرارتی در زمان استفاده از تهویه مطبوع با دمای داخلی یکسان بـرای هـر دو سـقف برای بام سبز معادل 15w/m2- و برای سقف معمولی 37w/m2- بدست آمد.

به‌علاوه، (Jim, 2014)، به پژوهشی تحت عنوان " تأثیر عایق حرارتی بر عملکرد حرارتی محیطی و داخلی سقف‌های سبز" پرداخته است. برای این منظور دو بلوک، یکی بدون عایق حرارتی و دیگری (بلوک۲) با لایه‌های عایق حرارتی در نظر گرفته شد. تمام آپارتمان‌ها دارای پنجره‌های اصلی به سمت جنوب‌شرقی هستند. به منظور استانداردسازی شرایط محیطی آنها، پنجره‌های کوچک جانبی در هر بلوک با گچ حرارتی محافظت شدند. پنجره‌ها و درب‌ها در دوره مطالعه بسته بودند تا تاثیرات خارجی بر روی دما را به حداقل برسانند. نتایج نشان داد که سقف بدون عایق با کمترین انعطاف‌پذیری، اجازه ورود و نفوذ حرارتی در فضای داخلی را در روز می‌دهد. با این وجود، تخلیه حرارتی موثر در شبانه را آسان می‌سازد تا گرمای داخلی را از طریق سقف در زمان شب خارج کند. این تنها نوع سقف است که تبادل گرما دو طرفه را نشان می‌دهد.

مطالعه دیگری توسط شورای تحقیقات ملی در اتاوا کانادا انجام شد که مطابق شکل زیر، کاهش قابل توجهی در دمای سقف سبز نسبت به سقف معمولی را نشان می‌دهد. هنگامی که تأثیرات تابش خورشیدی، تبادل تابشی و جابجایی نیز در نظر گرفته شود، تأثیر تفاوت دما در بین سقف‌های معمولی و سقف‌های سبز بسیار چشمگیرتر از مقایسه‌های درجه حرارت است (Lui & Minor, 2005).



شکل۱: پروفیل دمایی یک بام‌سبز در مقایسه با بام معمولی در تابستان (Lui & Minor, 2005).

از سوی دیگر، (Karachaliou et al., 2015)، در شهر آتن تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی یک بام سبز در یک ساختمان اداری پرداختند. هدف از این مطالعه بررسی رفتار حرارتی و بهره‌وری انرژی یک سیستم سقف سبز متشکل از گیاهان معطر بومی با نیازهای آبیاری کم، نصب شده در ۱۰،۰۰۰ متر مربع یک ساختمان اداری با کمترین انرژی در آتن، یونان بود. این بام متشکل از تقریبا ۱۶،۰۰۰ گیاه مدیترانه ای از حداقل ۱٤ نوع مختلف بود. آنها دریافتند که دمای بام سبز تا ۱۵ درجه کلوین کمتر از سقف معمولی است. همینطور گیاهان با شاخک های متراکم‌تر به نظر می‌رسد که درجه حرارت بسیار پایین‌تری را ارائه می‌دهند. با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی محاسبه شده است که چنین نوع سقف سبز می‌تواند دمای داخلی یک ساختمان را تا ۰,۷ درجه کلوین کاهش دهد، در حالی که ممکن است در مجموع، نیازهای سالانه خنک‌کننده و گرمایشی یک ساختمان را خیلی بیشتر کاهش دهد.

در کنار پژوهش‌های فوق، پژوهش (Peng et al., 2018) یافته جدیدی را ارائه داد. آن‌ها به بررسی عملکرد حرارتی دو نوع بام سبز در یک منطقه گرم و مرطوب در چین پرداختند. در این پژوهش، یکی از بام‌های سبز، گسترده است و دیگری یک بام سبز فشرده با لایه‌های عمیق‌تر خاک، تنوع گیاهان بالاتر و ساختار پیچیده‌تر است. در این پژوهش دمای سقف، دمای هوا در ارتفاع ۱۰ و ۱۵۰ سانتیمتری، جریان گرمای سقف و بار خنک‌کننده و گرمایشی برای سقف‌های سبز در ساعات روزانه، ماهانه و فصلی بیش از یک سال تمام مورد بررسی قرار گرفت. دو سقف سبز یک الگوی عملکردی شبیه و سازگار را در طول سال نشان دادند. بام سبز فشرده نسبت به بام سبز گسترده مؤثرتر بود و هوای محیط را خنک کرده و بار خنک‌کننده تابستان را کاهش داد، اما در فصل زمستان بار حرارت بیشتری به ساختمان اضافه کرد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که سقف‌های سبز همیشه نمی‌توانند به عنوان راه حل مطلوب برای کاهش آسیب‌های شهر گرم و حفاظت از انرژی کار کنند و ممکن است تحت شرایط خاص آب و هوایی تاثیرات نامطلوب داشته باشند. به‌رغم داشتن ساختار بسیار پیچیده‌تر بام سبز فشرده، به نظر نمی‌رسد نسبت به بام سبز گسترده مزایای حرارتی مناسب‌تری داشته باشد. از دیدگاه (Silva & Glória Gomes, 2016)، که به عمکرد سه نوع بام‌سبز از جمله گسترده، فشرده و نیمه فشرده پرداخته‌اند، نیازهای انرژی در زمستان برای هر دو نوع سقف سبز تقریبا یکسان است اما برای تابستان، تقاضای انرژی در بام‌سبز گسترده در مقایسه با سایر انواع بام سبز نسبتا بالاتر است. تقاضای انرژی سالانه برای سه نوع سقف سبز گسترده، نیمه فشرده و فشرده به‌ترتیب ۲۳,٦ ، ۱۲,۳ و ۸,۲ کیلووات ساعت در مترمربع است. با توجه به ضخامت لایه عایق، انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش با افزایش ضخامت عایق برای سقف سبز و انواع سقف سنتی در فوریه کاهش می‌یابد.

در میان پژوهش‌های داخلی، (Mahmoudi, Pakari, 2012)، از طریق نرم‌افزار انسیس، به بررسی و مقایسه تطبیقی سه نمونه از بام معمولی، بام‌سبز و بام سبز با لایه فایبرگلاس پرداختند. نتایج این پژوهش بیان نمود که بام‌سبز نسبت به بام معمولی ۵۰ درصد انتقال حرارت کمتری دارد و بام سبز با لایه فایبرگلاس نسبت به بام سبز با جزئیات اجرایی متداول، ٤۰ درصد بهینه‌سازی شده‌است. (Khosravi, Ghobadi, 2014)، به‌بررسی تاثیر حرارتی استفاده از بام‌سبز به کمک شبیه‌سازی با نرم‌افزار Derob در شهرستان کرج پرداخته‌اند. نتایج حاصل شده از مقایسه درجه حرارت سطوح بام‌های معمولی و بام‌های سبز بیان نمود که با سبز کردن بام‌های معمولی، درجه حرارت هوای لایه مرزی را می‌توان تا ۱,۵ درجه سانتی‌گراد کاهش داد. این تفاوت دما می‌تواند در تمام طول روز تداوم یابد و بدین ترتیب منجر به کاهش جزایر حرارتی محلی شود.

در کنار پژوهش‌های فوق، (Saadat & Nazer & Ashouri,2014)، به بررسی عملکرد حرارتی بام‌سبز در یک ساختمان مسکونی یک طبقه در اقلیم سرد و خشک (شهرستان تبریز)، از طریق نرم‌افزار تحلیلی انرژی پلاس پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش بیان نمود که استفاده از بام سبز تا ٢٤ درصد امکان صرفه‌جویی در این اقلیم را فراهم می‌کند و به‌دلیل کوتاه بودن دوره گرما در این اقلیم، بار سرمایشی مورد نیاز بسیار کم بوده و کاهش ۱۸ درصدی بار سرمایشی، نشاندهنده پتانسیل بالای بام‌سبز جهت کاهش بار سرمایشی در این اقلیم می‌باشد.

در جدول (۱) خلاصه‌ای از تحقیقات آزمایشگاهی که در خصوص عملکرد حرارتی بام‌های سبز در کشورهای مختلف انجام گرفته، جمع‌بندی شده است.

جدول ۱: خلاصه ای از دستاوردهای تحقیقات در خصوص عملکرد حرارتی بام سبز

کشور	آب و هوا (براساس تقسیمات کوپن)	روش	نوع بام	دستاورد	محقق(سال)
کانادا	برفی- بسیار مرطوب- تابستان های گرم	آزمایشگاهی	گسترده- جمن	سقف سبز تا ۷۵٪ موجب کاهش نوسانات دما سقف می-شود	Liu and Baskaran 2003
کانادا	برفی- تابستان های گرم- قاره ای	آزمایشگاهی	گسترده- چمن و گلهای وحشی	دمای سطح بام به طور میانگین تا ۳,٤٤ درجه سانتی گراد کاهش می‌یابد	Macivor and lundholm 2011
چین	مرطوب-	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- متنوع	بیشترین تفاوت دما بین سقف معمولی و بام سبز ۱۷,۱ درجه سانتی گراد است	Liu et al 2012
یونان	آب و هوای گرم- تابستان های خشک	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- گلهای وحشی	ذخیره سازی انرژی از طریق کاهش بار سرمایشی	Santamouris et al. 2017
یونان	آب و هوای گرم- تابستان های خشک	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- ترکیبی	ذخیره سازی انرژی از طریق کاهش بار سرمایشی	Sfakianaki et al. 2009
یونان	آب و هوای گرم- تابستان های خشک	آزمایشگاهی	گسترده	کاهش دمای داخل ساختمان از طریق احداث بام سبز	Niachou et al. 2011
هند	گرم و معتدل- زمستان های خشک- تابستان های گرم	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- بوته	کاهش دمای داخلی تا ۵,۱ درجه سانتی گراد با احداث بام سبز نسبت به بام معمولی	Kumar and Kaushik 2015
ایتالیا	گرم و معتدل- تابستان های خشک	آزمایشگاهی- شبیه سازی	گسترده	حداکثر دمای زیر سقف بام سبز ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد کمتر از بام معمولی است	Nardini et al. 2012
ژاپن	گرم و معتدل- بسیار مرطوب- تابستان های گرم	آزمایشگاهی- شبیه سازی	گسترده	افزایش رطوبت و کاهش دما با بام سبز	Harazono et al. 1990
یونان	آب و هوای گرم- تابستان های خشک	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- ترکیبی	ذخیره سازی انرژی از طریق کاهش بار سرمایشی	Sfakianaki et al. 2009
یونان	آب و هوای گرم- تابستان های خشک	آزمایشگاهی	گسترده	کاهش دمای داخل ساختمان از طریق احداث بام سبز	Niachou et al. 2001
هند	گرم و معتدل- زمستان های خشک- تابستان های گرم	آزمایشگاهی- مدل سازی	گسترده- بوته	کاهش دمای داخلی تا ۵,۱ درجه سانتی گراد با احداث بام سبز نسبت به بام معمولی	Kumar and Kaushik 2015
ایتالیا	گرم و معتدل- تابستان های خشک	آزمایشگاهی- شبیه سازی	گسترده	حداکثر دمای زیر سقف بام سبز ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد کمتر از بام معمولی است	Nardini et al. 2012

(Source: Authors)

بام‌سبز و برنامه‌ریزی شهری

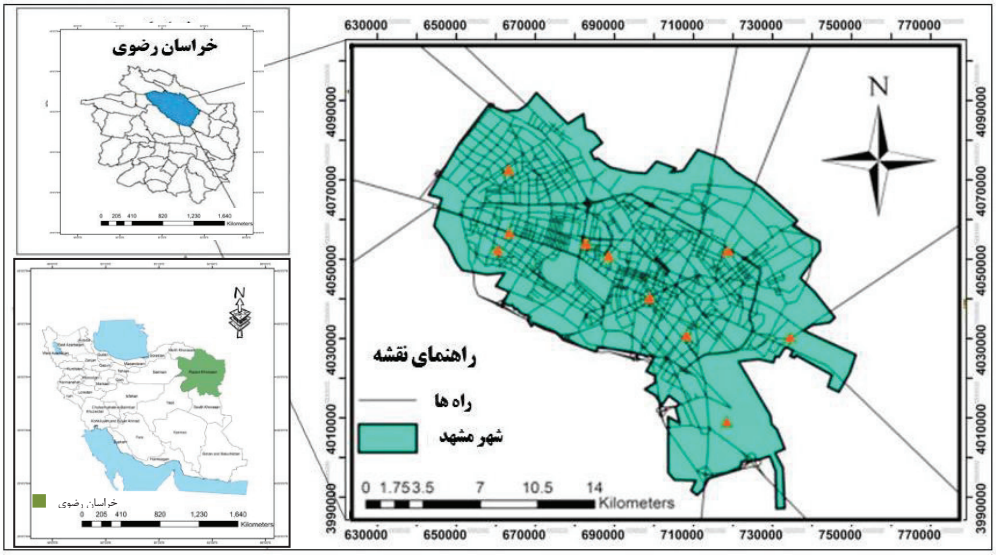
در اوایل دهه شصت میلادی بدلیل پدید آمدن بحران انرژی و با توجه به علاقمندی به مسائل کیفیت محیط‌زیست در بافت شهری و چالش‌های زیست‌محیطی شهرهای بزرگ از قبیل آلودگی هوا، کمبود فضای سبز شهری به‌خصوص در مناطق مرکزی شهر، ظهور پدیده (جزیره گرمایی شهری)، موج جدید رویکرد به معماری سبز، بدلیل مزایای زیست‌محیطی و به‌عنوان راه‌حل اکولوژیک در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفت. توسعه فضای سبز شهری و توزیع منطقی آن به‌خصوص در مراکز شهرها، به‌گونه‌ای که متناسب با ساخت و ساز شهری باشد، یکی از چالش‌های عمده کلانشهرهای معاصر تلقی می‌شود، علاوه براینکه باید تمام نیازهای شهری مانند معابر، دسترسی‌ها، فضاهای آموزشی و رفاهی را در نظر گرفت. با توجه به‌رشد روزافزون تراکم جمعیت در شهرها و افزایش فضاهای مسکونی، احداث پارک‌ها و منظر طبیعی سبز در مقیاس وسیع با این روند توسعه پرشتاب شهرهای بزرگ غیرممکن

به‌نظر می‌رسد (Kralli, 1996). در این میان پدیدآمدن فضای سبز آن هم در محیطی نیمه‌خصوصی که متعلق به‌عده‌ای کاربر خاص می‌باشد، می‌تواند تا حدودی جوابگوی بخشی از نیازهای شهری باشد. لذا بررسی بام‌های سبز با توجه به موضوعات محیط‌زیستی در معماری و شهرسازی از اهمیت ویژه‌ای در راستای ارتقای کیفیت محیط‌زیست و توسعه پایدار شهری برخوردار است. براساس سیاست‌های کاهش آثار نامطلوب شهرسازی بر محیط‌زیست، با هدایت این فعالیت‌ها از طریق ارتقا آگاهی از تاثیر استقرار بام‌های سبز به بام‌های معمولی، می‌توان تا اندازه‌ای در بهبود وضعیت محیط‌زیست موثر واقع شد. بام‌های سبز در بازدهی اکولوژیکی شهری و ایجاد کیفیت مطلوب به زندگی شهری نقش موثری دارند و تاثیرگذاری این نوع از بام‌ها در مقیاس شهری بسیار قابل توجه است.

معرفی جغرافیای منطقه

شهر مشهد (59.6168’E,36.2605’N) از منظر موقعیت جغرافیایی در شمال شرق ایران، واقع شده است که از شمال به شهرستان کلات، از شمال غربی به درگز، از غرب به چناران و نیشابور و از شرق به سرخس و تربت جام از جنوب به تربت حیدریه محدود می گردد (Kasmai, 2005). این شهر در انتهای جنوبی دشت توس واقع شده و رشته کوه هزار مسجد در شمال شرقی و رشته کوه بینالود در غرب و جنوب غربی آن قرار دارد. مهمترین رشته کوهی که با جهت شمال غربی- جنوب شرقی این ناحیه را در برمیگیرد اژدرکوه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر است واز سطح دریاهای آزاد ۹۹۹/۲ متر بلندتر می باشد. (Kamyabi, Mirzaei, 2015:119).

این شهر، با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی در رابطه با سامانه‌های جوی، از نظر پهنه‌بندی اقلیم‌های پنج‌گانه در منطقه D (اقلیم سرد) جای می‌گیرد. طبق دادههای ایستگاه هواشناسی مشهد که میانگین مقادیر اقلیمی طی ۳۰ سال اخیر است، متوسط دما در گرم ترین ماه سال ۳۵ درجه سانتیگراد و متوسط دما در سرد ترین ماه سال ٤/٥- درجه سانتیگراد است(Marvi, 2002).

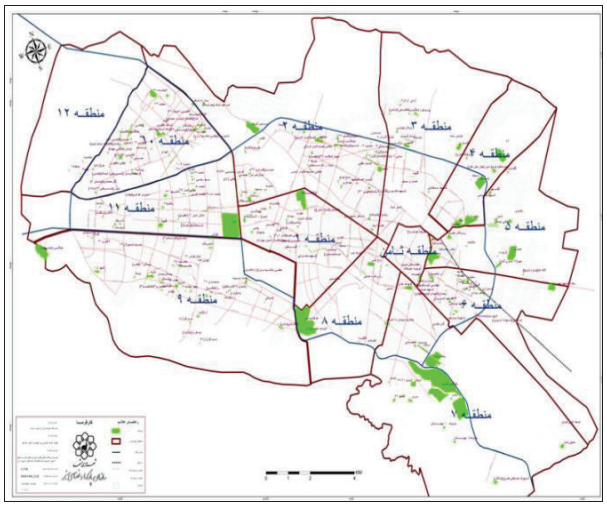


شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (Source: www.ncc.gov.ir)

شهر مشهد حدود ۳۵۱ کیلومتر مربع وسعت دارد. براساس آمارنامه مشهد، این شهر دارای ۱۳ منطقه شهری، ٤۱ ناحیه شهرسازی، ۳۸ ناحیه خدماتی و ۱۵۸ محله است. وجود حرم علی‌بن‌موسی‌الرضا و جاذبه‌های دیدنی، تاریخی و تفریحی بسیار، این شهر را به یکی از توریستی‌ترین شهرهای ایران تبدیل کرده‌است و موجب جذب بسیاری از ایران و حتی از خارج ایران به این شهر شده‌است (Siami, Ziaee, 2020) . مشهد مقدس با سه میلیون نفر جمعیت و ۳۰ میلیون زائر از کلانشهرهای مذهبی جهان در دهه‌های اخیر و یکی از قطب‌های گردشگری ایران است و به‌علت وجود حرم مطهر امام رضا (ع)، دومین کلانشهر مذهبی جهان اسلام بعد از مکه مکرمه است (Pilevar, Poorahmad. 2004) و همین موضوع سبب شده‌است که بیشترین میزان جمعیت گردشگر و زائر را در مقایسه با سایر شهرهای کشور داشته باشد(Rahnama , 2012) .

اقتصاد این شهر عمدتا بر پایه کشت میوه، شیرینی‌جات، سنگ‌های قیمتی و سوغاتی برای زائران می‌چرخد. مشهد همچنین با در اختیار داشتن هتل‌های بسیار، از جمله شهرهای گردشگری مهم ایران نیز به‌شمار می‌رود (Hosseini Nasab, Tabibi Sani, Morcel, 2020) . ضنایع غذایی، نساجی، شیمیایی و کانی غیرفلزی و صنایع قطعه‌سازی و فولاد کشاورزی از عمده‌ترین صنایع مشهد به‌شمار می‌آیند. مشهد در صنایع دیگری چون تولید چرم و قالی‌بافی نیز جز قطب‌های اصلی در ایران به‌شمار می‌آید. همچنین در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری در بخش پروژه‌های کلان اداری- تجاری در این شهر رونق یافته‌است (Alizadeh, 2003).

کلانشهر مشهد طی چند دهه اخیر رشد فزاینده‌ای داشته‌است. به‌طوریکه در یک دوره ۲۵ ساله از سال ۱۳۱۰ تا سال ۱۳۳۵، جمعیت شهر مشهد حدودا ۲,۵ برابر و مساحت آن ۱,۵ برابر شده‌است(Hatami, Omranzade, 2010). این رشد فزاینده و سریع جمعیتی از سویی، موجب افزایش ارزش زمین و به‌تبع آن موجب کاهش فضای سبز شهری شده‌است. فضای سبز شهر مشهد به‌صورت نامتعادل در مناطق ۱۳ گانه شهر پراکنده شده‌است و به‌طور متوسط سرانه فضای سبز آن ۵,۱ مترمربع می‌باشد که با سرانه ۱۲ متر مربعی پیشنهاد شده از طرف مسکن و شهرسازی اختلاف زیادی دارد (Hatami et al.,2015).



شکل ۳: توزیع فضایی فضاهای سبز شهر مشهد (Source: www.parks.mashhad.ir)

با توجه به اهمیت فضای سبز به‌عنوان ریه شهر و تاثیر آن بر سلامت جسمی و روحی ساکنان و مسافران، توجه به آن امری ضروری است. از سوی دیگر، رونق ساخت و ساز و ایجاد فضای رقابتی شدید در این حوزه کار بر روی ساختمان‌ها با مصالح جدید و انرژی کارآمد با پوشش پیشرفته ساختمان‌سازی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. در این میان، توجه به استفاده از مواد و مصالح جدید و فناوری های نو در مدیریت و بهره‌وری انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این خصوص استفاده از تکنیک های نوین احداث فضاهای سبز از جمله بام سبز، به عنوان یکی از راهکارهای مرتفع سازی مساله کمبود سطوح سبز و بهبود مصرف انرژی در این کلانشهر می باشد.

یافته‌های پژوهش

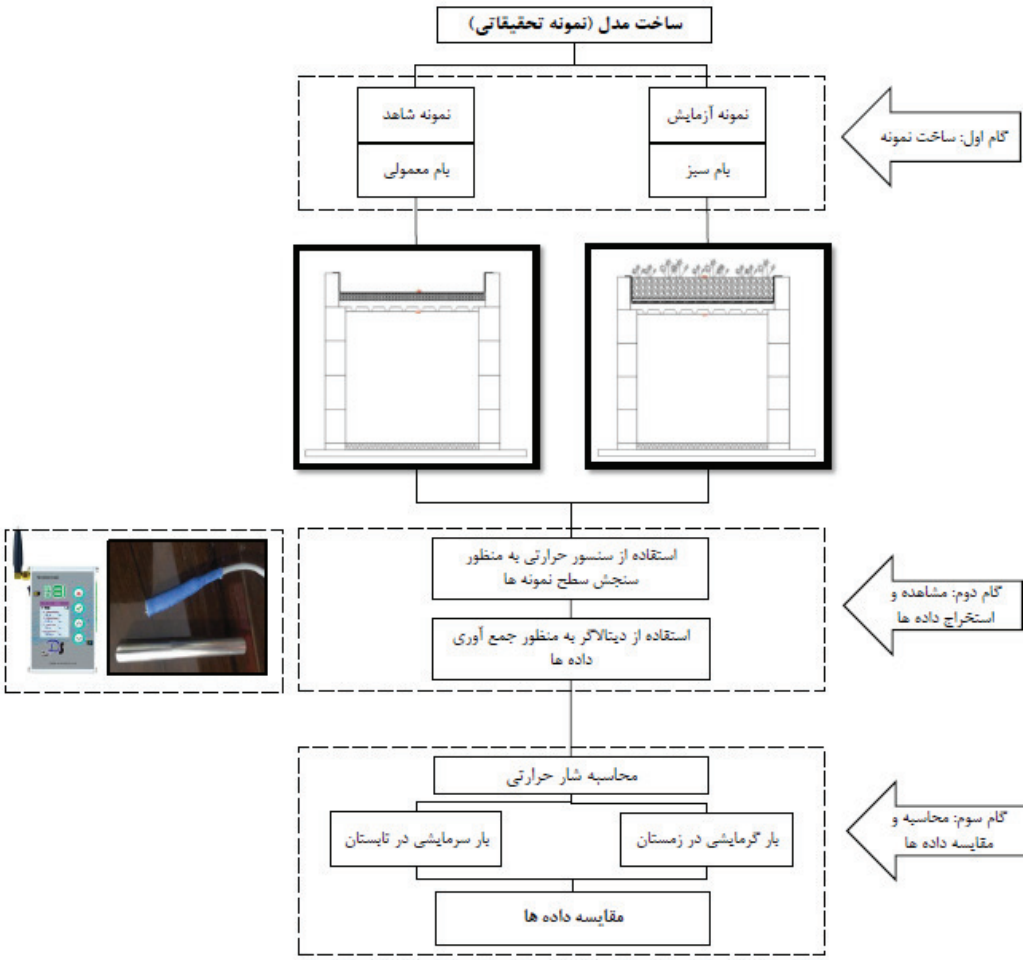
پس از مشخص شدن روش پژوهش به‌منظور تعیین بازه‌های زمانی، کل دوره سی ساله داده‌های اقلیمی شهر مشهد به ۳ دوره ۱۰ ساله، دوره اول از سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸، دوره دوم از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ و دوره سوم از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ تقسیم شد.

جدول ۲: خلاصه میانگین سی ساله اطلاعات آب و هوایی شهر مشهد (۲۰۱۹-۱۹۸۹)

	دما			بارش			رطوبت نسبی			روزهای یخبندان		
	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
بهار	۱۸,٦	۱۹,۳	۲۰	۸٤	۷۵	۷۷	۷٤,٤	۷٤,٤	۷۰,۱	۱	۱	۱
تابستان	۲۳,۳	۲۳	۲٦	۲,۵	٤	٦	۵۱,۱	۵۱,۱	٤۷,۳	۰	۰	۰
پاییز	۸	۸,٦	۱۰,۳	٤۷	۵۸	٤۵	۳٤,٦	۳۷,۸	۳٤,٤	٤۲	٤۲	۲۲
زمستان	٤,٦	۳,٦	۵,۳	۱۰۹	۷۵	۷۷	٦۳	٦٤,۹	۵۹,۷	۵۲	٦۲	٤۵
میانگین	۱۳,۷	۱۳,٦	۱۵,۲	۲٤۲	۲۷۵	۲۵٦	۵٤	۵۵,۲	۵۱	۹۵	۱۰۵	٦۸

(Source: Authors)

براساس یافته‌های اقلیمی، بازه زمانی اول این آزمایش از ۱۰ مردادماه آغاز و تا ۱۰ شهریورماه (برابر با ماه آگوست میلادی) و بازه زمانی دوم از ۱۰ آذرماه الی ۱۰ دی‌ماه (برابر با ماه دسامبر میلادی) برای سنجش عملکرد بام‌سبز در فصل سرد انتخاب شده‌است. برای انجام فاز آزمایشگاهی تحقیق، در سایت دانشگاه فردوسی مشهد دو اتاق با ابعاد (یک متر در یک متر و با ارتفاع یک متر) با دو نوع بام‌سبز و بام معمولی جهت انجام آزمایشات ساخته و جهت انجام آزمایش و اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها، از دستگاه دیتالاگر به همراه سنسورهای حرارتی استفاده شده‌است که به‌صورت اتوماتیک اطلاعات مربوط به دمای سطوح مورد نظر را منظم و با فاصله هر ٦ ساعت ضبط می‌کند. لازم به‌ذکر است که در این پژوهش دمای سطح داخلی بام با دمای حجم مشابه در نظر گرفته شده‌است و برای فصل زمستان ۲۲ درجه سانتی‌گراد و برای فصل تابستان ۲٦ درجه سانتی‌گراد منظور شده‌است. همچنین برای نگهداشت دمای داخل در این محدوده از گرم‌کننده و سردکننده مجهز به قطع کن استفاده شده‌است.



شکل ٤: نمایش روند انجام آزمایش (Source:Authors)

براساس اندازه‌گیری‌های هر دوبام در فصل تابستان، مشاهده می‌شود در زمانیکه، دمای هوای شهر مشهد ٤٠ درجه سانتی‌گراد است، دمای سطح بام معمولی به ۵۹,۷ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. همچنین دمای سطح این بام در یک شبانه روز در فصل تابستان از ۲۸ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۲ نیمه شب، به ٦٠ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۲ ظهر می‌رسد و دامنه نوسانات آن در طول روز ۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. که این نوسانات می‌تواند تاثیر بسزایی در دوام سقف، طول عمر آن، بار حرارتی ساختمان و دمای هوای محیط نزدیک به سطح داشته باشد. این در حالی‌است که دمای سطح بام‌سبز در همان روز از سال در ساعت ۱۲ نیمه‌شب، ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در ساعت ۱۲ ظهر ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمده و دامنه نوسانات آن در طول شبانه روز ۵,۵ درجه سانتی‌گراد است.

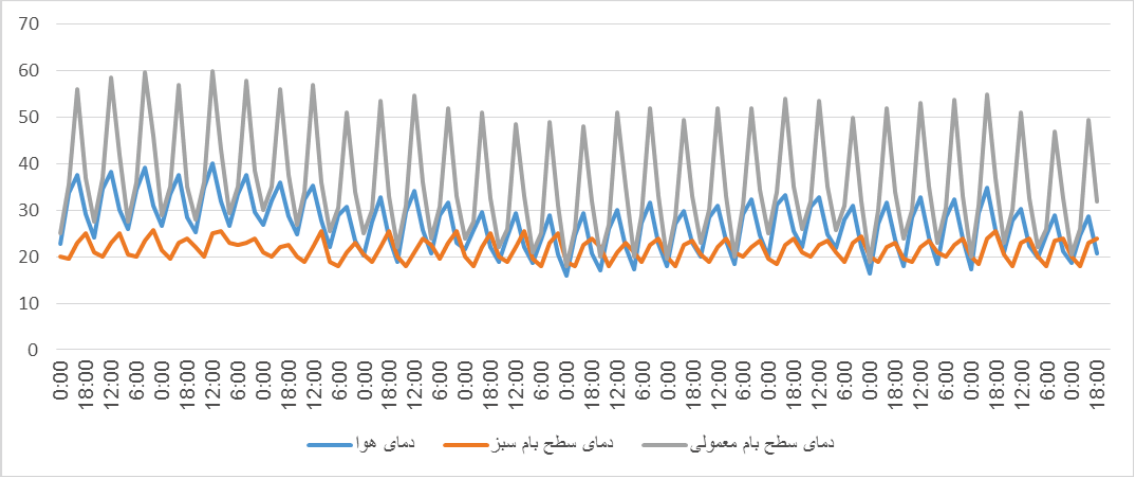
در فصل زمستان نیز، در زمانیکه دمای هوای شهر مشهد ۱- درجه سانتی‌گراد است، دمای بام معمولی ۵,۵- بدست آمده است و در حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد از بام‌سبز سردتر می‌باشد، چراکه نمایشگر دمای سطح بام‌سبز در همان لحظه را ٦ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. همچنین در یک شبانه‌روز دامنه نوسانات دمایی بام معمولی حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد است ولی دامنه نوسانات بام سبز در همان روز ۱,۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. که در مقایسه با بام معمولی به شکل محسوسی کمتر است.

جدول ۱: مقایسه دمای سطح بام معمولی و بام سبز در ساعات شبانه روز

معیارهای سنجش	گرم‌ترین روز در فصل تابستان				سردترین روز در فصل زمستان			
ساعت اندازه‌گیری	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
دمای هوا	25.4	34.8	40.2	32	-1	9.4	13.5	5.6
دمای سطح بام معمولی	28	36	60	43	-5.5	-1	22	2
دمای سطح بام سبز	22	20	25	25.5	6	6.5	7	7.4

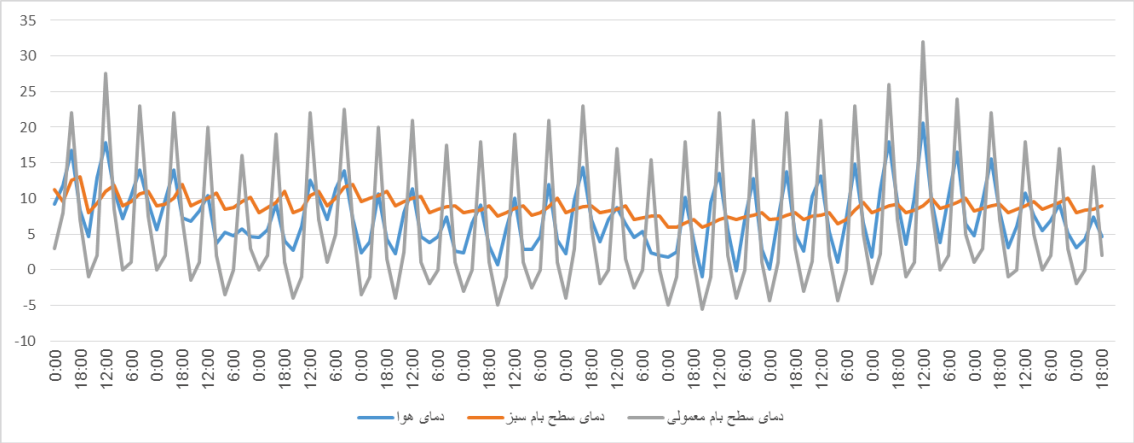
(Source: research findings)

همچنین نمودارها بیان می‌کند که در بام‌سبز برخلاف بام معمولی، الگوهای زمانی تغییرات دمای سطح خاک با گرم شدن در طول روز و خنک شدن در شب همراه است. گرمایش بطور کلی از ۸:۰۰ تا ۱٤:۰۰ رخ داده است، در حالی که سرمایش می تواند از ۱۸:۰۰ تا ۰٦:۰۰ صبح روز بعد ادامه داشته باشد. در کل می‌توان بیان نمود در مجموع ۳۰ روز اندازه‌گیری شده دمای سطح بام، ۹۰٪ اثر خنک‌کنندگی دارد و در مقایسه با تأثیر خنک‌کننده روز، اثر غالب گرم شدن شب در طول مدت کوتاه‌تر و از نظر قدر کمتر و در حدود ۸٤٪ بود.



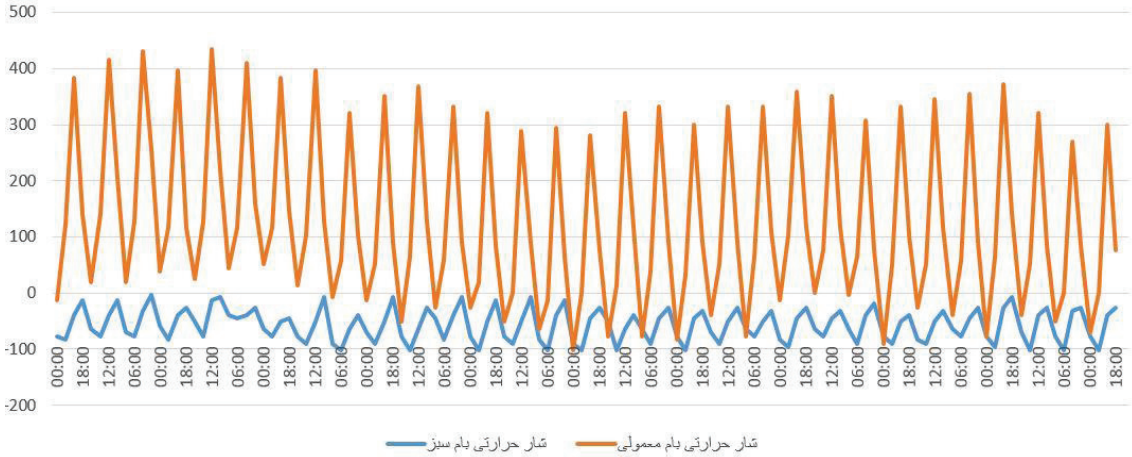
شکل ۵ : نمایش دمای سطح بام معمولی و بام سبز در مقایسه با دمای هوا در ماه گرم سال (Source: research findings)

عملکرد حرارتی بام‌سبز در زمستان، همانطور که در شکل (٦) مشاهده می‌شود، محدوده دمایی سطح این بام بین ٦ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد است در حالیکه این عدد برای دمای سطح بام معمولی بین ۵- تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد است. در زمستان اثر اصلی بام‌سبز به‌صورت گرم شدن شبانه می‌باشد که عموما از غروب آفتاب در ساعت ۱۸:۰۰ شروع شده و تا حوالی ۹:۰۰ صبح روز بعد ادامه می‌یابد. همچنین اثر خنک کنندگی کمی نیز وجود دارد که در طول روز و در حدود ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱٦:۰۰ رخ می‌دهد.



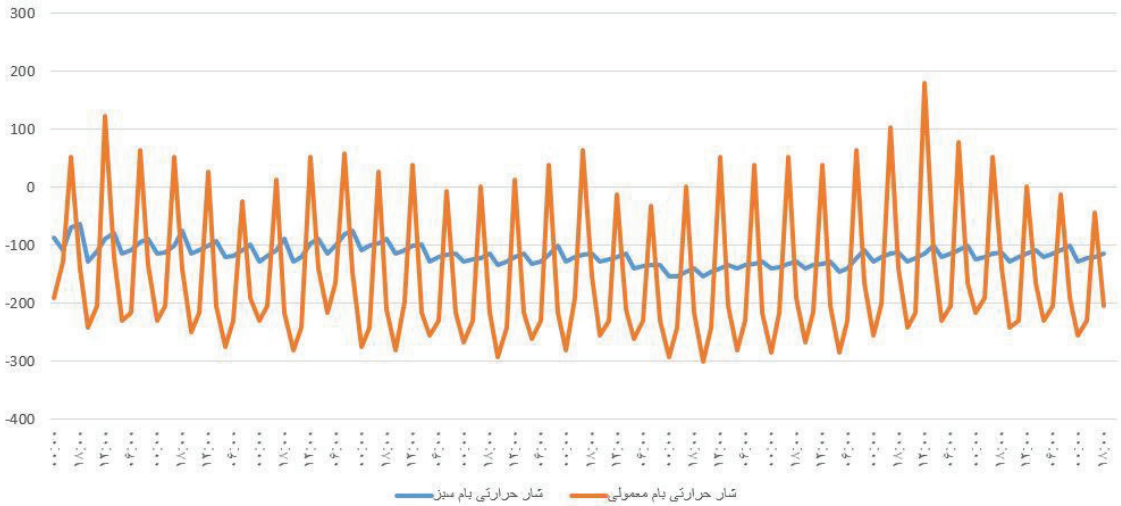
شکل ٦: نمایش دمای سطح بام معمولی و بام سبز در مقایسه با دمای هوا در ماه سرد سال (Source: research findings)

همچنین در طول تابستان، فضای داخلی زیر سقف معمولی به دلیل تابش خورشیدی قوی گرمای زیادی را تجربه می‌کند. به ویژه در ماه‌های گرم سال، درجه حرارت بالای سقف در طول روز منجر به نفوذ دائمی گرما به فضای داخلی، بدون از دست رفتن گرمای خروجی شده است. نصب سقف‌های سبز همانطور که قبلاً توضیح داده شده است، تأثیر قابل توجهی بر دمای سطح سقف می‌گذارد و از این رو الگوی شار گرمای روزانه متفاوت با سقف معمولی خواهد بود(شکل ۷). عایق حرارتی تهیه شده توسط لایه های خاک و پوشش گیاهی می‌تواند به‌طور قابل توجهی شار گرمای ورودی در طول روز را کاهش دهد. با این حال، این لایه‌ها همچنین می‌توانند از دست دادن گرمای شبانه، هنگامی که شار گرمای رو به بالا است را سرکوب کند.



شکل ۷: الگوی شار گرمایی روزانه بام معمولی و بام سبز در طول ماه گرم سال (Source: research findings)

همچنین بام‌های سبز در زمستان نیز اثرات مطلوب و نامطلوبی از خود نشان می‌دهند و همانطور که مانع از دست دادن گرمای شبانه می‌شوند، مانع از افزایش گرمای روزانه نیز می‌شوند. در این آزمایش جریان گرمای بام معمولی به استثنا برخی از روزهای گرم و آفتابی، به‌طور مدام از داخل به خارج ثبت شده‌است. این در حالیست که اگرچه بام‌سبز در طول زمستان دارای مقادیر منفی می‌باشد، اما مطابق شکل (۸) منحنی شار گرمایی آن در مقایسه با بام معمولی بسیار مسطح‌تر است.



شکل ۸: الگوی شار گرمایی روزانه بام معمولی و بام سبز در طول ماه سرد سال (Source: research findings)

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی و پژوهشی

توجه و بازنگری در اصول طراحی و ارزشیابی ساختمان‌های مسکونی که بخش بزرگی از کل مصرف انرژی در شهرها را، که عمدتا به‌منظور سرمایش و گرمایش فضاهاست، به‌خود اختصاص داده‌اند، یک ضرورت به‌نظر می‌رسد. بام نیز به‌عنوان جداکننده محیط داخل و خارج ساختمان نقش به‌سزایی در این مسئله دارد. از این نظر، بام‌های سبز ایده‌ای در راستای محیط‌زیستی سبزتر و سالم‌تر هستند. لذا شناخت و تحلیل علمی بام‌های سبز می‌تواند چهارچوب مطمئنی برای برنامه‌ریزی گسترش آن در حال و آینده فراهم آورد. بام‌های سبز چیزی بیش از یک فضای زیبا و دلنشین هستند و آنها می‌توانند موجب افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها شوند. شهر مشهد از یکسو، با برخورداری از موقعیت اقلیمی و جغرافیای ویژه خود و نیز استعدادهای محیطی فوق‌العاده‌اش و از سوی دیگر به‌دلیل روند شهرنشینی شتابان در سطح کشور و کاهش سرانه فضاهای سبز شهری که دارد، می‌تواند بستر مناسبی برای گسترش بام‌سبز باشد. لذا احداث بام‌سبز را در این شهر، باید به عنوان ابزاری موثر جهت ارتقای کیفیت محیط‌زیست و توسعه پایدار شهری در نظر گرفت و آن را مورد توجه قرار داد. بام‌های سبز تکنولوژی‌های پیچیده‌ای هستند و عملکرد بام‌های سبز برای اقلیم‌های مختلف متفاوت است. لذا به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مزایا و منافع حاصل از این نوع بام‌ها، باید نحوه عملکرد آن‌ها با توجه به هر منطقه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش تلاش شد، از طریق ساخت دو مدل شاهد (با بام معمولی) و آزمایشگاهی (با بام سبز) و اندازه‌گیری دمای سطوح مدل‌های ساخته شده، در دو بازه یک ماهه در دو فصل تابستان و زمستان به بررسی عملکرد حرارتی بام‌سبز در شهر مشهد پرداخته شود. انتخاب این دو بازه زمانی به‌گونه‌ای بود که بتوان عملکرد حرارتی بام‌سبز را در هر دو فصل گرم و سرد ارزیابی نمود. بازه زمانی اول این آزمایش از ۱۰ مردادماه آغاز و تا ۱۰ شهریورماه (برابر با ماه آگوست میلادی) ادامه یافت. همچنین از ۱۰ آذرماه الی ۱۰ دی‌ماه (برابر با ماه دسامبر میلادی) نیز برای سنجش عملکرد بام‌سبز در فصل سرد نیز اندازه‌گیری انجام گرفت و در نهایت با جمع‌آوری داده‌های سنسورهای دما به وسیله دیتالاگر در این دوبازه زمانی، چگونگی عملکرد این بام‌ها در اقلیم شهر مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت.

در فصل زمستان، نتایج نشان داد که، دمای سطح بام معمولی پایین‌تر از دمای هوا است. این در حالیست که دمای بام‌سبز یکنواخت‌تر و گرم‌تر است و در زمانیکه محدوده دمایی سطح مدل بام‌سبز بین ٦ تا ١٣ درجه سانتی‌گراد است، محدوده دمایی سطح مدل شاهد بین ٥- تا ٣٢ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در واقع، بام سبز در مقایسه با بام معمولی از طریق لایه افزایشی از خاک و پوشش گیاهی، با عایق‌سازی ساختمان در برابر آب و هوای سرد، مصرف انرژی برای گرمایش را کاهش می‌دهد چراکه این لایه افزایشی در مقایسه با بام معمولی، جرم حرارتی را فراهم می‌کند که موجب کاهش تغییرات درجه حرارت در بام می‌شود. علاوه‌بر این، براساس دماهای ثبت شده در پژوهش حاضر مشخص شد، در زمستان اثر اصلی بام‌سبز به‌صورت گرم شدن شبانه می‌باشد که در آزمایش فوق، عموما از غروب آفتاب در ساعت ۱۸:۰۰ شروع شده و تا حوالی ۹:۰۰ صبح روز بعد ادامه می‌یابد.

همچنین براساس نتایج، بام سبز نسبت به بام معمولی در طول روز دارای نوسانات دمایی کمتری است. نوسانات روزانه دما در مدل بام معمولی در ماه تابستان به طور متوسط ٤٥ درجه سانتیگراد و اما در مدل بام‌سبز معادل ٦ درجه سانتیگراد بود. به‌طور کلی، پژوهش حاضر مشخص نمود که، دامنه نوسانات بام‌سبز در فصل تابستان براساس مدلسازی انجام شده در شهر مشهد ۷۰ درصد و در فصل زمستان ۸۵ درصد کمتر از دامنه نوسانات بام معمولی است و از آنجاییکه شهر مشهد دارای اقلیم سرد بوده و بیشتر سال نیاز به گرمایش دارد، بام‌سبز می‌تواند بر کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های این شهر بسیار موثر واقع شود. چراکه، بام‌سبز در شرایط زمستانی تحت تاثیر شرایط محیطی کارآیی بیشتری دارد و در نتیجه اثرات عایق بودن بام سبز بیشتر از اثر خنک‌کنندگی آن است. با این حال، در شرایط گرم سال نیز، دمای سطح مدل بام‌سبز به طور قابل توجهی پایین‌تر از دمای سطح در مدل شاهد، که تحت شرایط مشابه قرار دارد، بود. براین اساس، بام‌های سبز، می‌توانند کارایی سیستم‌های خنک‌کننده مکانیکی را افزایش و بار الکتریکی را کاهش دهند.

همچنین بام معمولی با کمترین انعطاف‌پذیری، اجازه ورود و نفوذ حرارتی در فضای داخلی را در روز می‌دهد و از طرفی تخلیه حرارتی شبانه را آسان می‌سازد تا گرمای داخلی از طریق بام در زمان شب خارج شود و این امر موجب افزایش نیاز گرمایشی و سرمایشی می‌شود. اما بام‌سبز با کاهش نوسانات گرمایی سطح خارجی بام و از طریق افزایش ظرفیت گرمایی لایه‌های بام و سایه‌اندازی پوشش‌های گیاهی، به خنک‌سازی فضای بام در طی تابستان کمک می‌کنند. کارایی این لایه در بام‌های سبز به میزان رطوبتی که در خود نگه می‌دارد وابسته است و می‌توان ارتباط بین رطوبت خاک و هدایت حرارتی را یک ارتباط مستقیم دانست. بنابراین، هرچه میزان رطوبت بام بیشتر باشد، بازده آن کاهش می‌یابد و گرمای بیشتری را از دست می‌دهد.

به‌طور کلی براساس نتایج پژوهش فوق، می‌توان بیان نمود که بام‌های سبز در اقلیم شهر مشهد، اگر به‌گونه‌ای اصولی و منطبق بر عوامل درونی و بیرونی منطقه طراحی و استفاده شوند، توانایی کاهش حداکثر دمای روزانه سطح بام را ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد دارند. همچنین براساس اندازه‌گیری‌ها مشخص گردید که این بام‌ها می‌توانند نیاز

سرمایشی در تابستان و نیاز گرمایشی در زمستان را به‌ترتیب ۱۱٪ و ۱۹٪ کاهش دهند. براین اساس، صرفه جویی در مصرف انرژی سالانه را می‌توان در حدود ۷ تا ۱۵,۲ درصد تخمین زد.

References

-Alizadeh, k.(2003). Effect of tourist peresence on environmental resources of tarigha section of Mashhad, journal of geographical research, V.35, No.1, pp. 1-23.

-Barreca, F. (2016). Rooftop Gardening. A Solution for Energy Saving and Landscape Enhancement in Mediterranean Urban Areas. Social and Behavioral Sciences, 6.

-Cabeza, L. F., Coma, J., Perez, G., Sole, C., & Castell, A. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. Renewable Energy, 10.

-Foustalieraki, M., Assimakopoulos, M., Santamouris, M., & Pangalou, H. (2017). Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. Energy and Building, 8-33.

-Harazono, Y. (1990). Effects of rooftop vegetation using artificial substrates on the urban climate and the thermal load of buildings. Energy and Buildings, 435-442.

- He, Y., Yu, H., & Zhao, M. (2015). Thermal Performance Study of Extensive Green Roof in Shanghai District: a Case Study of Lightweight Building in Winter. Engineering, 8.

-Hosseini Nasab, S. Tabibi Sani, M. Morcel, B. (2020). The role of sports tourism in the sustainable development of Mashhad. Quarterly of New Attitudes in Human Geography (Summer)2020, Vol. 12. No 3.

-Jim, C. (2014). Building thermal-insulation effect on ambient and indoor thermal performance of green roofs. Ecological Engineering, 265-275.

-Kasmai, Morteza. (2005). Climate & Architecture, Nashr Khak, No. 3, pp. 280. (In Persian).

-Kamyabi, Saeed. Mirzaei, Neda. (2015). Matching architecture with climate based on thermal indicators, case study: cold and dry climate of Mashhad, Khorasan Socio-Cultural Studies Quarterly, No. 38, pp. 142-119. (In Persian).

-Karachaliou, P., Santamouris, M., & Pangalou, H. (2015). Experimental and numerical analysis of the energy performance of alarge scale intensive green roof system installed on an office buildingin Athens. Energy and Building, 9-18.

-Khosravi, m. Ghobadi, A. (2014). Explaining the Role of Green Roof Systems in Balancing of Urban Heat Island case of study: Karaj. Urban Ecology Researches. No. 4, 67-78.

-Kumar, R., & Kaushik, S. (2015). Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. Building and Environment, 1505-1511.

-Kralli, M. Kambezidis, H. Cassios, C. (1996). Green Roofs, Policy in cities with Environmental problems, Fresenius Environmental Bulletin, 5 (7-8): 424-429.

-Lui, K., & Minor, J. (2012). Performance evaluation of an extensive green roof. Washington DC: Greening Rooftops for Sustainable Communities.

-Mahmoudi Zarandi, M. Pakari, N. Bahrami, H. (2012). The Effect of Green Roof on Reducing Environment Temperature. Bagh-E Nazar, Vol.9, 3-12.

-Mahroghizadeh, Parasto. (2013), The Role of Vertical Gardens in Creating a Moderate Micro Climate and Ecological Relationship with the Environment, International Conference on Architecture and Sustainable Urban Development, Tabriz. (In Persian).

- Marvi, M. Ebrahimzadeh, I. Rahnama, M. (2002). An Analysis of the Necessity of Formation and Role of Golbahar New City in Decentralization from Mashhad Mother City. Sofeh, No. 8, pp. 5-22.

-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, 719-729.

-Naderi, Roohangiz. Taheri, Mohammad Reza, Refahi, Shadab. (2017). Investigation of the performance of some plants in different substrates and planting depth in drought conditions in extensive green roof, Iranian Journal of Horticultural Sciences, No. 1, pp. 122-113. (In Persian)
-Nardini.A. Andri, S. Crasso. M. (2012). Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: Shrubs versus herbaceous plants. Urban Ecosystems, 15(3), 697-708.
-Peng, L. yang, X. He, Y. Hu, Z. (2018). Thermal and Energy Performance of Two Distinct Green Roofs: Temporal Pattern and Underlying Factors in a Subtropical Climate. Energy and Buildings, 210-245.
- Pilevar A, Poorahmad A. (2004). Development Plan and Development of Metropolises Study Perspective: (Mashhad). Geographical research, 13-121.
-Rahnama, M. Afshar, Z and Razavi, M. (2012). Analysis of healthy city indicators in Baharestan neighborhood of Mashhad. Third conference on urban planning and management.
-Saadat, D .Nazer, Z. Ashouri, Kasra, (2014). Study and evaluation of the impact of green roof on energy consumption of a residential building in the cold and dry climate of Tabriz. the second national conference on applied research in civil engineering, architecture and urban management, Tehran.
-Sfakianaki, A. Pagalou, E. Pavlou, K. (2009). Theoretical and Experimental Analysis of the Thermal Behaviour of a Green Roof System Installed in Two Residential Buildings in Athens, Greece. International Journal of Energy Research, No. 33.
-Siami, Q. Ziaee, E. (2020). Functional Recreation of Imam Reza Garden Collection with Culture, Health and Economic Approach. Quarterly of New Attitudes in Human Geography (Autumn)2020, Vol. 12. No 4.
-Silva, C., & Gomes, M. (2016). Green roofs energy performance in Mediterranean climate. Energy and Buildings, 116-318.
-Stone Fish, L., & Busby, D. (2005). The Delphi Method . Research Methods in Family Therapy (pp. 238-253). New York: Guilford Press.
-Zarin Vafa, Alireza. (2013). Investigating the performance of green roof systems in sustainability and environmental conditions of buildings, International Conference on Architecture and Sustainable Urban Development, Tabriz. (In Persian).

Internet Resource:

www.ncc.gov.ir
www.parks.mashhad.ir

Quarterly of New Attitudes in Human Geography (Summer) 2021, Vol. 13. No 3

Evaluation of Green Roof System in comparison with Ordinary Roof from Energy Consumption Perspective of Energy Efficiency in line with Urban Planning (Mashhad Metropolis)[1]

Afsaneh Ghalehnovi
Ph.D Candidate, Department of Architecture Group, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Azadeh Shahcheraghi[2]
Associate Professor, Department of Architecture Group, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Hamed Kamelnia
Associate Professor, Department of Architecture Group, Mashhad Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Abstract
Nowadays, the development of artificial surfaces in comparison with natural ones has become a fundamental challenge for the cities. Unstable development of the cities, which is resulted by the growth of technology and discharge of the balance between the environment and humans, needs to be changed. This research, aims at evaluating the function of green roof in comparison with casual roof in the city of Mashhad. In this regard, two simulation models one with green roof and the other without green roof are studied in similar conditions during summer and winter. The temperature of the roofs are measured and the thermal flux is also calculated by measuring the difference between the internal and external temperature. The results show that the fluctuation range of green roof is 70% less than the range of fluctuations in casual roofs in summer and 85% less in winter in Mashhad. As Mashhad is a cold city and needs heating systems most of the year, green roof can reduce energy consumptions in the buildings of the city. Green roof also reduces the cooling need in summer up to 11% and heating need in winter up to 19% by creating shadow and evaporative cooling in summer and minimizing thermal waste in winter. Therefore it can be concluded that green roofs are more than just beautiful and desirable spaces and they can increase energy efficiency of the buildings.

Keywords: Green roof, thermal function, energy consumption reduction, simulation model

[1] This essay is a part of author's PHD dissertation entitling "Providing an Indigenous and Work-centered Model of Green Roof to Reduce Energy Consumption in Buildings (case study: Mashhad Metropolis) with second author's assistance and third author's consults in Architecture Group of Science and Research Azad University of Tehran.

[2] (Corresponding Author) shahcheraghi@srbiau.ac.ir