نوآوری و فناوری‌های بام سبز، با تأکید بر منطقه یک تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱ /۰۳/۰۳

شاهین خالدی (دانشجوی دکتری دانشکده هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران)
فرح حبیب* (استاد دانشکده هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران)
حمید ماجدی (استاد دانشکده هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران)

چکیده

پوشش گیاهی شهری خدمات ارزشمند اکوسیستم را به شهرها و ساکنان آنها عرضه می‌کند. با روشن‌تر شدن اهمیت این خدمات چند وجهی، بهبود شبکه فضای سبز متناسب با ویژگی‌های محیطی و آب‌وهوایی هر شهر با روندی افزایشی در سطح جهان دنبال می‌شود. بام‌های سبز نیز به‌عنوان عنصری مهم در تقویت پوشش گیاهی و فضای سبز مورد توجه قرار گرفته‌اند. کاربرد بام سبز در کلان‌شهر تهران می‌تواند به کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها و کاهش پیامدهای مخاطراتی مانند آلودگی هوا، آلودگی صوتی و جزایر گرمایی کمک کند و در بهبود تنوع زیستی شهری مفید باشد. در شرایطی که انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است و پیامدهای تغییر آب‌وهوا بر زندگی شهری اثر می‌گذارد، کاربرد بام سبز می‌تواند گامی در جهت افزایش تاب‌آوری باشد. لازم است اجزای بام سبز در راستای رویکرد ساختمان سبز، هوشمند و پایدار، بهینه‌سازی و هوشمندسازی شوند.

واژه‌های کلیدی: بام سبز، شهر سبز، شهر هوشمند، نوآوری و فناوری، منطقه یک تهران.

* نویسنده رابط: frh_habib@yahoo.com

مقدمه

کاربرد یک لایه پوشش گیاهی بر بام ساختمان‌ها به عنوان بام سبز شناخته می‌شود و در صورتی که این پوشش گیاهی با هنر طراحی باغ همراه شود و به عنوان فضای تفریحی مورد استفاده قرار گیرد، باغ‌بام نامیده می‌شود. بام‌های سبز بر دامنه گسترده‌ای از انواع ساختمان‌ها، مانند ساختمان‌های صنعتی و مسکونی، قابل نصب هستند و بسته به نوع کاربرد، ممکن است انواع ساده‌ای مانند لایه‌ای از گیاهان پوششی تا باغ‌هایی با فضای استراحت، درخت و درختچه باشند. گونه‌های اصلی بام‌های سبز عبارتند از بام‌های گسترده[1]، که سبک هستند و با یک لایه نازک از گیاهان پوشیده شده‌اند؛ و بام‌های متمرکز[2] یا فشرده، که سنگین‌ترند و در برگیرنده درختچه و درختان کوچک هستند (چکاد بام، ۱۳۹۶؛ Santamouris, 2014).

به طور کلی بام سبز، باغ بام و دیوار سبز بخشی از نوآوری برای پایدار و سبز کردن شهرهای بتنی است که بیش از ۲ درصد سطح کره‌ی زمین را اشغال کرده‌اند. کاربرد این بام‌های زنده، در جهت بهینه‌سازی آسایش و بهبود کیفیت میکروکلیمایی، را می‌توان از اقدامات مهم و گام‌های دوستانه و مثبت انسان در آشتی با محیط‌زیست دانست. با توسعه بی‌رویه شهرها که سه چهارم منابع طبیعی کشور را مصرف می‌کنند، لازم است گامی مهم در جهت نوآوری برداشت و با ایجاد شهرهای سبز، پایدار و هوشمند، یک جو مطلوب و توأم با آرامش به وجود آورد. استفاده کاربردی از بام شهرها از اقدامات اصولی در این فرایند قلمداد می‌شود (زمان‌پور و سعادت فرد، ۱۳۹۴).

پیشینه بام سبز را می‌توان در بام‌های معلق بابل و امپراتوری روم یافت که به‌نوعی پاسخگوی فشار جمعیت در فضای شهری آن دوره بوده است. در پمپی و روم نیز بالای ساختمان‌های رسمی و حتی آرامگاه‌ها، تراس و پوشش گیاهی ایجاد می‌کردند. در رنسانس سقف‌های شیب‌دار چمنی در سوئیس متداول بود. بام سبز در مکزیک قدیم، هند و بعضی از خانه‌های اسپانیا در قرن ۱۶ و ۱۷ میلادی وجود داشت. باغ‌های آویخته در روسیه قرن ۱۷، در ترکیه، تفلیس و فرانسه قرن ۱۸ باغ‌های عمودی در نمای ساختمان به دلیل زیبایی ایجاد می‌شدند. در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی تکنولوژی بام سبز در کشورهای بسیاری به‌ویژه در آلمان و سوئیس و دیگر گشورهای اروپایی گسترش یافت (پورکاظم، ۱۳۸۶). هم‌اکنون کاربرد بام سبز و باغ عمودی در سراسر جهان در حال گسترش است.

با اینکه شکل مدرن بام‌های سبز به دهه‌ها پیش باز می‌گردد، با دستیابی به شواهد علمی از اثرات مثبت بام‌های سبز در سال‌های اخیر، به کمک مدل‌سازی اثرات بام سبز یا تجربیات به

[1] Extensive
[2] Intensive

دست آمده در برخی شهرها، مانند مدیریت رواناب، افزایش دوام مصالح بام، کاهش مصرف انرژی، تأثیر بر کیفیت هوا و کاهش صدا، ایجاد زیستگاهی برای حیات وحش شهری و کاهش اثر جزیره گرمایی شهر (Santamouris, 2014)، کاربرد آنها از سوی پژوهشگران، مدیران، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری، به عنوان یکی از روش‌های دستیابی به اهداف کاهش و سازگاری با پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی مورد توجه قرار گرفته است.

امروزه راه حل‌های هوشمند بام‌های سبز، علاوه بر زیباسازی محیط، به دلیل مزایای محیط‌زیستی و اقتصادی در ساختمان‌های مسکونی، تجاری، دولتی و عمومی به کار گرفته می‌شوند. فناوری‌های نوآورانه برای ساخت‌وساز و صرفه‌جویی در انرژی، منافع زیادی را برای بوم‌شناسی شهری به ارمغان می‌آورد و به کاهش اثر جزیره گرمایی شهر کمک می‌کند (کلانتری و قزلباش، ۱۳۹۵). فناوری بام سبز، هم‌سو با توسعه پایدار و حفاظت از محیط‌زیست شهری است و اهدافی مانند تنوع زیستی، بهبود عملکرد حرارتی، کاهش رواناب ناشی از بارش باران، کاهش جزیره گرمایی شهری، ایجاد فضا برای تولید مواد غذایی شهری، ایجاد فضا برای تعاملات اجتماعی، ایجاد فضاهایی برای زیست گونه‌های گیاهی و جانوری و در مقیاس بزرگ‌تر، تاب‌آوری در برابر تغییر آب‌وهوا را دنبال می‌کند.

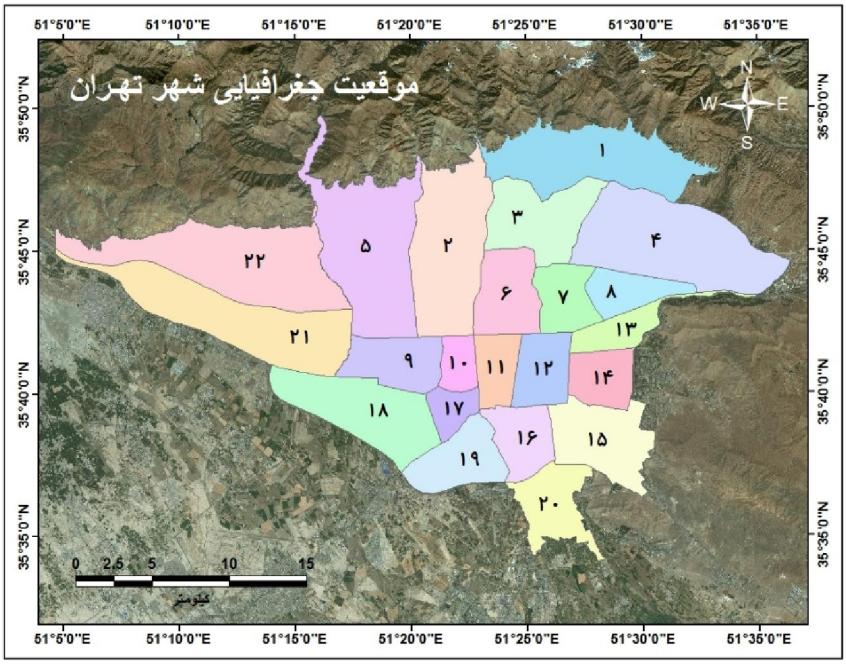
برای توسعه کاربرد بام سبز در ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی و ویژگی‌های جغرافیایی و فرهنگی، نیاز به مطالعات بیشتر درباره جنبه‌های مختلف اثرگذاری بام سبز به چشم می‌خورد، به ویژه مطالعاتی از منظر جغرافیدانان. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده تا بام سبز و ایجاد فضای سبز عمودی از دیدگاه جغرافیایی بررسی شده و مؤلفه‌های جغرافیایی به لحاظ طبیعی و برنامه‌ریزی شهری در جهت رسیدن به آمایش سرزمین و توسعه پایدار گام بردارد.

روش پژوهش

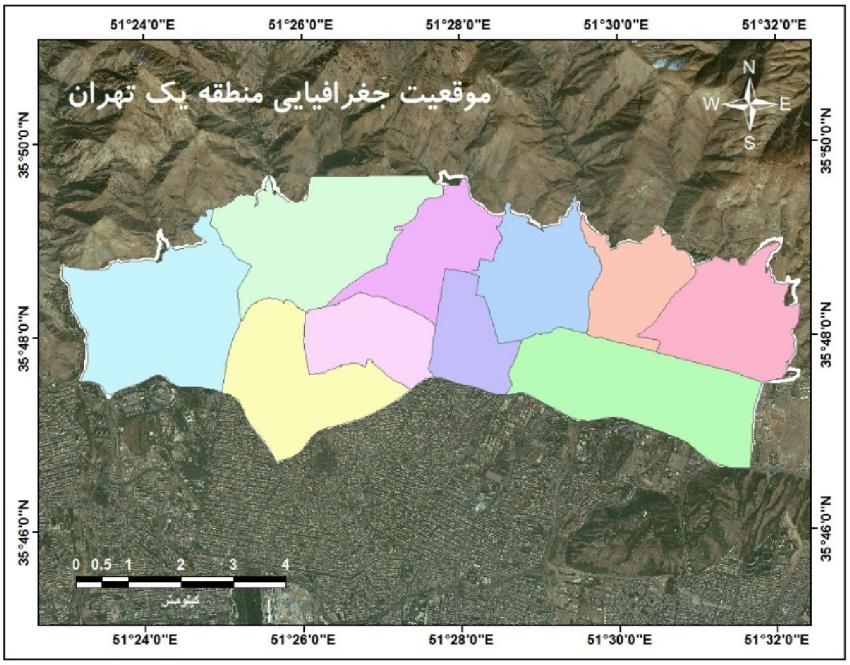
این پژوهش با تکیه بر روش توصیفی-تحلیلی و بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، بام سبز و فناوری‌های مرتبط با کاربرد آن را در سطح جهان از دیدگاه کلی و در سطح کلان‌شهر تهران بررسی می‌کند. شکل ۱ موقعیت شهر تهران را نشان می‌دهد. بر مبنای داده‌های ایستگاه مهرآباد در ۳۰ سال گذشته (از ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی) بارش متوسط سالانه ۲۱۶/۹ میلی‌متر و دمای میانگین سالانه ۱۸/۲ $^{\circ}C$ بوده است، به‌طوری‌که میانگین دما در گرم‌ترین ماه (ژوئیه) دما به ۳۱/۳ $^{\circ}C$ و در سردترین ماه (ژانویه) به ۴/۴ $^{\circ}C$ می‌رسد.

ویژگیهای جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

منطقه یک شهرداری تهران با مساحت ۳۶۰۴/۸۹۴۴ هکتار شمالی‌ترین منطقه تهران به شمار می‌رود به طوری که مرز شمالی آن بر مرز شمال تهران (خطوط ارتفاعی ۱۸۰۰ متر)منطبق است. این منطقه از غرب توسط رود – درکه که با منطقه ۲، از جنوب توسط بزرگراه چمران، مدرس، صدر با منطقه ۳ و از جنوب شرقی توسط بزرگراه ازگل با منطقه ۴ شهرداری هم مرز است.



نقشه ۱- موقعیت جغرافیایی شهر تهران (مرکز مطالعات شهرداری تهران)



نقشه ۲- موقعیت منطقه ۱ تهران (مرکز مطالعات شهرداری تهران)

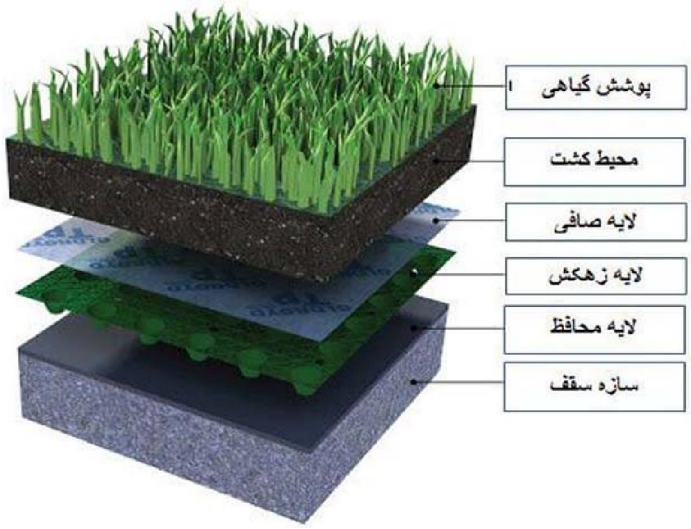
ویژگی‌های بام سبز

در یک سیستم بام سبز (شکل ۲)، گیاهان در یک محیط کشت کم وزن دارای سیستم زهکشی بر روی لایه‌های فیلتر، پوشش محافظ و ضدآب مشاهده می‌شوند (مقصودی، ۱۳۹۵). سیستم‌های بام سبز می‌توانند مدولار باشند که گیاهان که در شبکه‌های متحرک با لایه‌های زهکشی و فیلتر به هم متصل می‌شوند، به طوری که هر جزء سیستم به طور جداگانه نصب می‌شود. بام‌های سبز طیف گسترده‌ای از منافع عمومی و خصوصی را فراهم می‌کند و در سراسر جهان قابل نصب هستند. بام‌های سبز به‌طورمعمول نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر نسبت به بام‌های سنتی دارند، اما فن‌آوری‌های بام سبز نه تنها صاحبان ساختمان‌ها را با بازده مناسب به سرمایه‌گذاری سوق می‌دهند، بلکه فرصت‌هایی را برای منافع اجتماعی، اقتصادی و محیطی به ویژه در شهرها ایجاد می‌کند.

سیستم بام سبز با توجه به نوع اقلیم منطقه، سرعت باد، جهت باد، زاویه تابش خورشید، میزان بارش و چگونگی نحوه آبیاری، آلودگی هوا، ارتفاع ساختمان، سایه عمق خاک و همچنین اندازه و عمق ریشه نوع گیاه انتخاب می‌شود. انتخاب گیاه بستگی به عوامل مختلفی دارد از جمله آب‌وهوا، ترکیب و عمق محیط کشت، ظرفیت بارگیری، ارتفاع و شیب بام، انتظارات تعمیر و نگهداری، و نیاز به وجود یا عدم وجود یک سیستم آبیاری (لوکت، ۱۳۹۴).

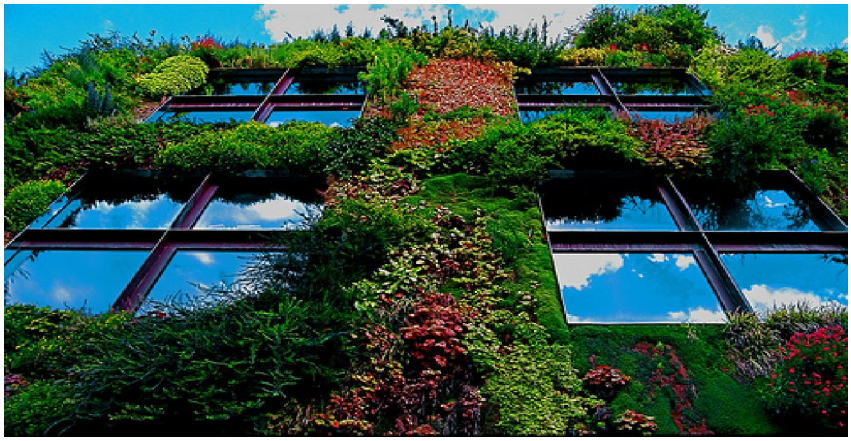
از خصوصیات گیاهان مناسب برای بام‌های سبز می‌توان به توانایی مقاومت در برابر خشکسالی، دوام در کمترین میزان مواد مغذی، پوشش خوب، نیاز به مراقبت اندک، ریشه‌های نرم، کوتاه و افشان اشاره کرد. در برخی موارد، ایجاد سایبان برای محافظت حرارتی از ساختمان ضروری به نظر می‌رسد (شکل ۱). نیاز به سایه‌اندازی مصنوعی، مکانی جهت آرامش و تهویه مطبوع از مهم‌ترین عوامل در طراحی بام سبز در نواحی گرم است. نیاز به فن‌آوری‌های سبز در رویارویی با شرایط آب‌وهوایی پایدار و مسائل روزافزون ناشی از صنعتی شدن انسان در حال افزایش است و بام سبز به‌عنوان راهکاری از رویکرد توسعه کم‌اثر ابزاری برای کنترل آب است. در استقرار بام سبز، به‌ویژه باغ‌بام، لازم است این موارد مد نظر قرار گیرد: توجه به نور خورشید، باد و نحوه قرارگیری گیاهان متناسب با شرایط آب‌وهوایی، طراحی فضای سبز، مبلمان، نورپردازی، تأسیسات الکتریکی، مکانیکی و آبیاری ایمن و متناسب با بودجه در نظر گرفته‌شده برای ایجاد بام سبز (لوکت، ۱۳۹۴؛ کلانتری و قزلباش، ۱۳۹۵).

بام سبز می‌تواند عملکردهایی مانند دیگر گونه‌های زیرساخت سبز داشته باشد، که عبارتند از: باغ‌های عمومی و کشاورزی شهری (مثل کمک به تولید مواد غذایی محلی)، فضای تجاری و خدماتی (به عنوان تراس رستوران و فضای سبز واحدهای تجاری)، فضای تفریحی (مانند زمین بازی کودکان) و ایجاد اشتغال محلی (با ایجاد فرصت‌های شغلی جدید برای تولید، طراحی، نصب و نگهداری). این عوامل پتانسیل قابل‌توجهی برای رشد در مناطق شهری متراکم به وجود می‌آورد.



شکل ۱- لایه‌های بام سبز (Iranderkht.com)

گفتنی است علاوه بر بام سبز، دیوار سبز یا باغ عمودی نیز می‌تواند علاوه بر اثر زیباشناختی، مزایای سلامتی و محیط‌زیستی متعددی برای شهرها داشته باشد. بسیاری از راه‌های نوآورانه برای معرفی فضای سبز بیشتر در ایجاد فضای سبز در ساختمان‌های بتونی پهنه‌های شهری وجود دارد. دیوار سبز همچنین می‌تواند انتقال گرما به ساختمان را کم کند و در نتیجه اثر گلخانه‌ای را کاهش دهد، به کاهش مصرف انرژی کمک کند و میکروکلیمای مناسبی را به وجود آورد. دیوار سبز در فصل سرد نیز آثار مثبتی بر کاهش سرما اعمال می‌کند.



شکل ۲- آثار میکروکلیمایی دیوار سبز در شهر پاریس (اقتصاد آنلاین)

مزایای کاربرد بام سبز

بام‌های سبز به عنوان بخشی از زیرساخت سبز شهر، به دلیل مزایای محیط‌زیستی و اجتماعی- اقتصادی، در برنامه‌های سازگاری بر پایه اکوسیستم[1]، به کار می‌روند (Geneletti & Zardo, 2016). از جمله اثرات مثبت ایجاد بام‌های سبز در مقیاس شهر، در صورت طراحی درست و مراقبت مناسب، می‌توان به اثر آن بر آب‌وهوا و محیط‌زیست شهر، اکولوژی (بهبود تنوع زیستی) و همچنین پیامدهای اقتصادی و فرهنگی- اجتماعی آن مانند کاهش هزینه‌های انرژی، امکان کسب درآمد از کاشت گیاهان و بهره‌برداری بام سبز برای کشاورزی شهری، دسترسی به فضای سبز با کیفیت برای گذران اوقات فراغت، و بهبود کیفیت زندگی شهری اشاره کرد (Santamouris, 2014؛ EPA, 2017؛ ASLA, 2017). مهم‌ترین تأثیرات بام‌های سبز به‌ویژه بر اقلیم شهر و مدیریت مخاطرات عبارتند از:

[1] Ecosystem-Based Adaptation

الف) کنترل دمای ساختمان؛ بام سبز با جذب گرما مانند عایق حرارتی برای ساختمان عمل می‌کند و در شرایط افزایش دما یا رخداد موج‌های گرما با کاهش انتقال گرمای ناشی از تابش مستقیم به بام به درون ساختمان، به حفظ آسایش دمایی داخل ساختمان و مهار تنش گرمایی کمک می‌کند. شکل۳، مقایسه دمای دو بام مجاور یکی با پوشش گیاهی و دیگری بدون پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (EPA, 2008).

بام سبز تضاد جالبی با ساختمان‌ها و شهر بتنی زیر پای خود ایجاد می‌کند. گیاهان بیشتر نور خورشید را جذب کرده و باعث خنکی ساختمان در طول تابستان شده و کمک قابل‌توجهی به تهویه هوای اطراف ساختمان می‌کند. ایجاد عایق ساختمان توسط بام‌های سبز می‌تواند مقدار انرژی مورد نیاز برای تعدیل دمای یک ساختمان را کاهش دهد، زیرا این بام‌ها از بیشترین تلفات گرما در زمستان و سرما در تابستان جلوگیری می‌کند (مطلایی، ۱۳۹۳). باغ‌بام با ایجاد سایه، از شدت نور خورشید می‌کاهد. در باغ‌بام با وجود فضای آبی و نیز آبیاری گیاهان با خنک‌سازی تبخیری شرایط میکروکلیمایی مناسبی ایجاد می‌شود. سیستم بام سبز یا وجود استخر یا حوض در بام در طی روز، گرمای داخل ساختمان را جذب کرده و در شب پراکنده می‌کند. از سوی دیگر، ایجاد عایق در دیوار رو به آفتاب از ورود انرژی گرمایی به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند. به عنوان مثال، تحقیقی که توسط شورای ملی تحقیقات کانادا منتشر شده است نشان داد که بام سبز گسترده قابلیت کاهش تقاضای انرژی روزانه برای تهویه مطبوع در تابستان بیش از ۷۵ درصد را دارد (Liu & Baskaran, 2003).

شکل ۳- در یک روز عادی، بام سبز شهرداری شیکاگو حدود ۴۰ $^{\circ}C$ خنک‌تر از بام متداولِ ساختمان مجاور است(اسپینگر، ۲۰۱۲).

ب) کاهش مصرف انرژی؛ بام سبز با اثر بر دامنه تغییرات دمای ساختمان، به مدیریت مصرف انرژی و کاهش انرژی لازم برای گرمایش یا سرمایش کمک می‌کند. میزان این تأثیر بر حسب آب‌وهوای محلی، طراحی بام سبز (گونه گیاهان به کار رفته، ضخامت پوشش گیاهی، میزان سایه اندازی، نیاز به آب و...) و ویژگی‌های ساختمان (با یا بدون عایق) متغیر است، به طوری که به دلیل فرایندهای مرتبط با گرمای نهان در بام‌های سبز انتظار می‌رود در مناطق خشک عملکرد بهتری داشته باشند یا در ساختمان‌هایی که عایق بام ندارند نتایج ملموس‌تری را در مورد کاهش دما نشان می‌دهد (Santamouris, 2014). در پژوهشی بر روی سه شهر ایران با آب و هوای متفاوت، بندر عباس، اصفهان و تبریز، مشخص شد که کاربرد بام سبز می‌تواند مصرف انرژی را در این شهرها به ترتیب تا ۸,۵٪، ۹,۲٪ و ۶,۶٪ کاهش دهد (Refahi & Talkhabi, 2015). مطالعه اثر بام سبز در ساختمانی مسکونی در یک شهر گرم و خشک ایران نشان داد که کاربرد گیاه با ارتفاع کم، لایه بستر کشت عمیق و شاخص مساحت برگ بیشتر می‌تواند تا حدود ۸ درصد در کاهش مصرف انرژی سالانه مؤثر باشد (ضرغامی و ادیبی، ۱۳۹۵). همچنین، بهینه‌سازی بام امکان کاهش انتقال گرما و دستیابی به اهداف ساختمان‌های صفر-انرژی را میسر می‌کند (محمودی زرندی و پاکاری، ۱۳۹۲). یک مطالعه موردی با استفاده از فناوری مدل‌سازی ساختمان و نرم‌افزار و تحلیل مصرف انرژی برای نشان دادن مزایای بام سبز نوآورانه انجام شد. نتایج مطالعه موردی نشان می‌دهد که پیشنهاد جایگزین زیست‌محیطی می‌تواند بیش از ۲۰ درصد از مصرف انرژی بام سنتی (بدون پوشش گیاهی) را کاهش دهد.

پ) کاهش اثر جزیره گرمایی شهر[1] (UHIE)؛ بام سبز با اثر بر دمای ساختمان‌ها، بر افزایش دمای ناشی از ذخیره اضافی تابش خورشیدی در ساختمان‌ها و سازه‌های شهر، نبود فضای سبز کافی و جریان ناکافی هوا در فضای میان ساختمان‌ها که به عنوان اثر جزیره گرمایی شهر شناخته می‌شود، مؤثر است. مطالعه اثر بام سبز در شهرهای مختلفی مانند شیکاگو، توکیو، نیویورک و هنگ کنگ و عمدتاً با در نظر گرفتن بام‌های سبز گسترده انجام شده است. برای مثال، شیکاگو به عنوان یکی از شهرهای پیشرو در به کار گیری بام سبز در اقدامات کاهش، در سال ۲۰۰۸ بیش از ۵۰ هزار مترمربع بام سبز داشته و مدل‌سازی شهر با این سطح از پوشش گیاهی تأثیر خنک‌کنندگی قابل توجه آن را در شهر نشان می‌دهد؛ به طوری که دما بین ساعت‌های ۱۹ تا ۲۳، ۲ تا ۳ کلوین، در مقایسه با شرایط بدون بام سبز، خنک‌تر بوده است. اگرچه، بررسی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد اثر بام سبز بر کاهش گرما در شهر، در ساختمان‌های بلند یا متوسط جزئی است (Santamouris, 2014).

[1] Urban Heat Island Effect

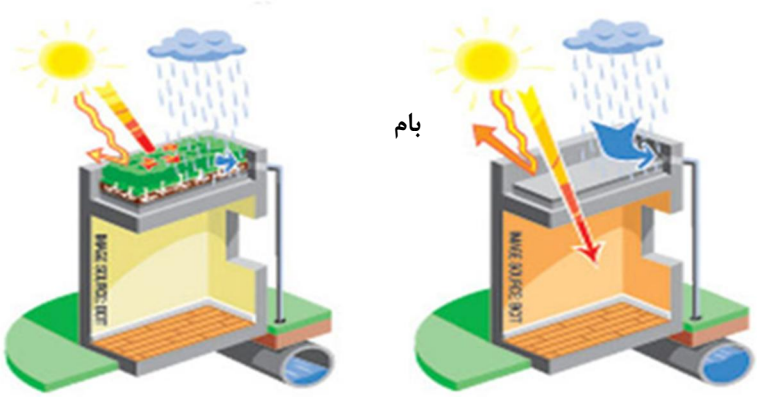
گیاهان در سطوح عمودی و افقی می‌توانند در طول ماه‌های گرم تابستان از طریق چرخه تبخیر شهرها را خنک کنند، میزان توزیع گرد و غبار و ذرات جامد و تولید مه‌دود در کل شهر و اثر جزیره گرمایی شهری را کاهش دهند. این فرایند می‌تواند در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تطبیق مناطق شهری به آب‌وهوای آینده با تابستان گرم‌تر نقش داشته باشد.

ت) کمک به بهبود مدیریت بارش و سیلاب شهری و کیفیت آب؛ بام سبز به عنوان بخشی از سطوح نفوذپذیر شهر، با ذخیره بخشی از بارش در کاهش تولید رواناب شهری، بر مدیریت آب و رواناب شهر اثرگذار است. در عین حال، با گذر آب از پوشش گیاهی و خاک بر بام سبز، بخشی از آلودگی‌ها نیز تصفیه و فیلتر می‌شوند. همچنین، مدل‌سازی بام سبز در شهر منچستر، بریتانیا، نشان داد که استفاده از بام سبز بر روی تمام ساختمان‌های مرکز شهر، اعم از ساختمان‌های مسکونی متراکم و ساختمان‌های تجاری، می‌تواند بین ۱۷٪ تا ۲۰٪ از میزان رواناب شهر کم کند (ASLA, 2017). کاربرد بام سبز بر روی بام کارخانه FedEx در O'Hare، شیکاگو، با مساحت تقریبی ۱۶ هزار مترمربع، از ورود سالانه حدود ۷۵۰۰ مترمکعب آب به شبکه رواناب شهر می‌کاهد و ۳۵ هزار دلار در سال در هزینه‌های انرژی صرفه جویی می‌کند (ASLA, 2017). در مطالعه‌ای دیگر در شهر Thessaloniki در شمال یونان، مشخص شد پتانسیل کاربرد بام سبز در این شهر میزان قابل توجهی در حدود ۱۷٪ از سطح کل ساختمان‌های شهر است. مدل‌سازی کاربرد بام سبز در شهر نشان داد که بام سبز امکان نگهداشت آب باران تا ۴۵٪ را مهیا می‌کند (که در برخی بخش‌ها به ۲۷٪ در مناطق مرکزی و سطح کم در دسترس برای بام سبز و ۷۱٪ در سطوح بیشتر بام سبز می‌رسد) و امکان ذخیره بیش از نیمی از بارش در حدود ۵۰٪ ساختمان‌های شهر وجود دارد (Karteris et al., 2016). این عملکرد بام‌های سبز در شرایط مواجهه با پیامدهای تغییرات آب و هوایی که در بسیاری از شهرهای جهان با بارش‌های شدیدتر و فراوانی بیشتر و در نتیجه خطر رخداد سیلاب همراه است، اهمیت قابل توجهی دارد.

با بام‌های سبز، آب در بستر ذخیره می‌گردد و سپس توسط تبخیر از طریق گیاهان به جو مسترد می‌شود یا برای استفاده در ساختمان به‌کار می‌رود. در زمستان، بام سبز می‌تواند بین ۲۵-۴۰ درصد از بارش بر روی آن را حفظ کند. بام‌های سبز نه تنها آب باران را حفظ می‌کنند، بلکه دمای آب را تعدیل و به عنوان فیلترهای طبیعی برای آبِ در جریان عمل می‌کنند. بام سبز با کاهش میزان رواناب ناشی از بارش، تنش در سیستم‌های فاضلاب را کاهش می‌دهند. به‌طورکلی، بام سبز در مقیاس ساختمان با کاهش دبی اوج رواناب و حجم رواناب مؤثر است. در عین حال، بام سبز در مقیاس حوضه نیز در بارش‌های معمول کارایی مناسبی دارد و هنگامی که در کنار دیگر زیرساخت‌های مناسب به کار گرفته شود، می‌تواند در مدیریت آب شهری نقش قابل توجهی ایفا کند (Versini et al., 2015).

ث) کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ نیاز به تهویه مطبوع، گرمایش و سرمایش یکی از مصارف مهم انرژی در شهرها به شمار می‌رود و بام سبز با اثر بر دمای ساختمان، نیاز به گرمایش و سرمایش را کاهش می‌دهد و می‌تواند در کاهش تولید آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تأمین انرژی و کارکرد تهویه هوا مؤثر باشد. همچنین بر حسب نوع پوشش گیاهی و طراحی به کار رفته، در ترسیب و ذخیره کربن، حذف برخی ذرات معلق در هوا، فلزات سنگین و ترکیبات آلی فرار نقش دارد. گیاهان روی بام‌های سبز می‌توانند آلاینده‌ها و نهشته‌های جوی را جذب و گازهای مضر را فیلتر کنند (شکل ۴). اثرات تعدیل‌کننده دمای بام سبز می‌تواند تقاضا را در نیروگاه‌ها را کاهش دهد. همچنین، بام‌های سبز می‌توانند نفوذ تابش الکترومغناطیسی را تا ۹۹/۴ درصد کاهش دهند (Herman, 2003).

ج) کاهش آلودگی صوتی؛ بام‌های سبز صداهای با فرکانس پایین را مانند یک عایق کاهش می‌دهد. یک بام سبز گسترده می‌تواند صدای بیرونی را تا ۴۰ دسی‌بل و یک بام سبز متمرکز می‌تواند صدا را از ۴۶ تا ۵۰ دسی‌بل کاهش دهد (Peck et al., 1999).



شکل ۴- بام سبز، کاهش انتقال گرما به داخل ساختمان، حفظ آب باران و بهبود کیفیت هوا (اسپینگر، ۲۰۱۲)

چ) بهبود محیط‌زیست شهر؛ بام‌های سبز با امکان حفظ انواع مختلف گیاهان، گونه‌های پرندگان و حشرات به حفظ و افزایش تنوع زیستی شهر کمک می‌کنند. خدمات متنوع اکوسیستم (در گروه خدمات تولیدی، تنظیمی، پشتیبانی و فرهنگی) مانند غذا، مواد ساختمانی، گیاهان دارویی، حفظ چرخه‌های هیدرولوژیکی، تصفیه هوا، ذخیره و چرخه مواد مغذی را به شهر عرضه می‌کنند. طرح‌های کشاورزی شهری بر روی بام نیز می‌تواند به ایجاد یک سیستم غذایی محلی منجر شود (Orsini et al., 2017).

ح) سلامت، رفاه و اقتصاد؛ افزایش طول عمر بام ساختمان به دلیل حفاظت از بام در برابر اشعه ماورای بنفش، افزایش طول عمر سیستم گرمایشی و سرمایشی به دلیل کاهش استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع، افزایش ارزش ملک به دلیل افزایش بهره‌وری از مزایای مستقیم اقتصادی بام‌های سبزند. تنوع بصری و زیبا شناختی بام سبز می‌تواند تأثیر مثبتی بر سلامت روان داشته باشد و کاهش آلودگی و افزایش کیفیت آب ناشی از کاربرد بام سبز می‌تواند تقاضا برای مراقبت‌های بهداشتی را کاهش دهد. همچنین، بام سبز در ساختمان‌ها می‌تواند در نقش مراکز اجتماعی به افزایش همبستگی اجتماعی کمک کند. برنامه‌ریزی برای کشاورزی شهری و کسب درآمد نیز در توانمندسازی جامعه، افزایش احساس اعتماد به نفس و بهبود سطوح تغذیه می‌تواند نقش داشته باشد. در عین حال، فرصتی برای آموزش درباره محیط‌زیست به عموم ایجاد کنند (کلانتری و قزلباش، ۱۳۹۵؛ Orsini et al., 2017).

بام سبز در شهرهای سبز و هوشمند

امروزه که پیامدهای تغییر آب‌وهوا و مخاطراتی مانند جزایر گرمایی شهرها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، رویکردهایی مانند شهرهای پایدار، سبز و هوشمند به دنبال کاهش اثر مخرب شهرنشینی و بهبود کیفیت زندگی شهرنشینان هستند. این رویکردها در مقیاس‌های مختلف ساختمان، خیابان، محله، منطقه و در سطح شهر مورد توجه قرار گرفته‌اند. عناصر شهرهای سبزعبارتند از: منابع سبز (آب، انرژی و مواد)، نظام اجتماعی سبز، فضاهای سبز باز، پسماند سبز، حمل‌ونقل سبز و ساختمان سبز (Shen & Fitriaty, 2018). بام سبز به عنوان بخشی از ساختمان‌های پایدار، ساختمان‌های هوشمند و ساختمان‌های صفر-انرژی نیز در این حیطه قرار می‌گیرد. در این حوزه، بام ساختمان برای تولید انرژی (برای مثال با سلول‌های فتوولتاییک)، دسترسی به نور طبیعی، و بهره بردن از مزایای پوشش گیاهی (با بهبود عایق‌بندی ساختمان و ایجاد حس زیست‌دوستی) در نظر گرفته می‌شود (مالکی و آذرخش، ۱۳۹۵).

اگرچه هزینه ایجاد بام سبز نسبت به بام‌های سنتی و متداول بیشتر است، عامل اقتصادی تنها مانع گسترش آن نیست و کمبود دانش و موارد فنی مربوط به آن نیز در این امر دخیلند؛ حل این مسئله نیازمند مشارکت گروه‌های تخصصی و پژوهشی مختلف برای بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری و انتخاب بام سبز است. نتایج مطالعه‌ای در ایتالیا با همکاری گروهی از متخصصان دانشگاهی و حرفه‌ای نشان داد که مهمترین شاخص برای انتخاب بام سبز نسبت به سنتی، به کارایی، ویژگی‌های عایق‌بندی گرمایی، حفاظت از بام و وزن سیستم بام سبز بستگی دارند. مزایای محیط‌زیستی و اجتماعی بام سبز نیز نقشی کلیدی ایفا می‌کنند و

برای توسعه بیشتر بام سبز لازم است متخصصان مزایای اقتصادی آن را بهتر و مؤثرتر مطرح کنند (Rosasco & Perini, 2019).

در ساختمان‌های صفر-انرژی و پایدار، با توجه به اینکه پنل‌های به کاررفته برای تولید انرژی خورشیدی، با جذب گرما کارایی خود را از دست می‌دهند، بهینه‌سازی کاربرد همزمان بام سبز و پنل‌های فتوولتاییک می‌تواند به بهبود کارایی پنل‌های فتوولتاییک و همچنین انرژی ساختمان کمک کند. اگرچه هزینه این طرح قابل توجه است و لازم است برای سرمایه‌گذاری از افق زمانی مشابه با طول عمر پنل‌های فتوولتاییک (۲۰ سال) بهره برد (Ramshani et al., 2020). همچنین، کاربرد فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات برای دستیابی به محیط زندگی پایدار و هوشمند در شهرهای پیشرو جهان در حال گسترش است. برای تحلیل کارایی بام سبز و تغییرات محیط‌زیستی با شاخص‌های کمی و کیفی، اطلاعات محیطی و اکولوژی، آب باران جمع شده، اثر خنک‌کنندگی، رطوبت و انرژی مصرف شده به طور نمونه جمع‌آوری و پایش می‌شوند (Shen & Fitriaty, 2018). این موارد اثر مثبتی بر مدیریت مصرف انرژی، کاهش انتشار کربن و افزایش تاب‌آوری شهری به‌ویژه در رویارویی با پیامدهای تغییر آب‌وهوا دارد.

بام سبز در تهران

یکی از اولین گام‌های برنامه‌ریزی برای توسعه بام سبز در شهرها، شناسایی مکان‌های دارای اولویت احداث بام سبز است. این پهنه‌ها که معمولاً در مرکز کلان‌شهرها قرار دارند دارای این مسایل هستند: کیفیت هوای مناسبی ندارند، ترافیک و رفت‌وآمد خودروها قابل توجه است، فضای سبز کم و تراکم جمعیتی بالایی دارند (Velazquez et al., 2018). در پژوهشی بر روی شهر تهران، با بررسی داده‌های آب‌وهوایی و با کمک تحلیل سلسله مراتبی، پهنه‌های مناسب ایجاد باغ‌بام تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین نیاز به ایجاد باغ‌بام در نواحی مرکزی، جنوبی و شرقی شهر وجود دارد. زیرا در این مناطق به دلیل تراکم بالای جمعیت و ساختمان‌ها، کمبود فضای سبز شهری محسوس است (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱).

همچنین، محدودیت‌هایی مانند کمبود منابع آب و ویژگی‌های دما، باد و رطوبت شهر نیز در برنامه‌ریزی برای بام سبز و به کارگیری فناوری‌های بهینه کننده مصرف آب لازم است در نظر گرفته شوند. به‌علاوه، برای توسعه بام سبز لازم است با آگاهی‌بخشی درباره منافع محیط‌زیستی و اقتصادی آن در محیط‌های آموزشی و رسانه‌های جمعی، فرهنگ‌سازی انجام شود. تدوین قانون و راهنمای اجرا برای تشویق مالکان ساختمانی، در نظر گرفتن مشوق‌های اقتصادی و تعریف بسته‌های مالی، مالیاتی و حمایتی در بودجه عمومی نیز می‌تواند در تسریع کاربرد بام سبز در سطح گسترده مفید باشد (نوری سامله و خالدی، ۱۳۹۵).

در عین حال، طراحی و ساخت مسکن سالم از ابعاد مهم محیط‌زیستی و اجتماعی است که در شهرهای پایدار مورد توجه است. فضای مناسب، امنیت کافی، تداوم عمر مفید، بهره‌مندی از نور طبیعی و مصنوعی، گرمایش و تهویه، کیفیت زیست‌محیطی مناسب، روابط اجتماعی و همسایگی، دیداری و فیزیکی به طبیعت سبز که صرف هزینه منطقی برای ساکنان قابل‌دسترس باشند، همگی از نشانه‌های مسکن سالم و پایدار محسوب می‌شود. ایجاد بام‌های سبز، با صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها در روزهای گرم در شهرهای خشک و نیمه‌خشک مانند تهران می‌تواند در تهویه مناسب و خنک‌تر شدن محیط شهری مؤثر باشد. این فضاها ضمن ایجاد منظر زیبا با ایجاد فون و فلور مناسب برای رشد انواع حشرات، موجب جذب پرندگان به سطح بام‌ها و تخم‌گذاری در آنها شده و در نتیجه، حیات وحش کوچکی در پشت بام خانه‌ها شکل می‌گیرد.

در منطقه یک تهران، ساختمان‌های با متراژ بالا و برج‌های انبوه و خانه‌های ویلایی سبب شده است تنوع گیاهی این منطقه حفظ شود و ساختمانها در سالهای اخیر بیشتر با مدل‌های متفاوت بام سبز آشنا باشند از جمله مناطقی که با بازدید میدانی از بام سبز یا باغ بام انجام شده می‌توان به باغ بام ارگ تجاری، باغ بام برج پلاتینیوم، باغ بام ساختمان جاوید در منطقه قیطریه اشاره کرد.

شکل ۵- باغ بام ساختمان جاوید (منبع: پارس آرای کوهستان)

پیشنهادها

با توجه به مزایای بام‌های سبز، برخی موارد پیشنهادی برای دستیابی به شهری سبز و پایدار عبارتند از:

- افزایش آگاهی عمومی در مورد مزایای گوناگون فضای سبز به‌ویژه بام سبز و در مقیاس ساختمان
- تعریف، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی طرح‌های بام‌های سبز و سازگار با کاربری ساختمان‌ها
- ترویج کاربردهای متنوع بام سبز، مانند کشاورزی شهری، آموزش محیط‌زیست، کاربردهای خدماتی و تفریحی
- کاربرد فناوری‌های روز برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در کنار کاهش مصرف آب و نیاز به نگهداری بام
- پایش کارایی بام سبز در کاهش دما، آلودگی هوا، رواناب و گزارش نتایج
- تخصیص حمایت‌های مالی و فرهنگی برای تشویق ایجاد بام سبز در مناطقی که با کمبود فضای سبز مواجهند

نتیجه‌گیری

امروزه راهکارهای هوشمندسازی در بام‌های سبز، به دلیل مزایای افزوده محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی و زیبایی رونق بیشتری یافته است. برنامه‌ریزی برای شبکه‌های طبیعی و نیمه طبیعی شهر که سیستم بام سبزِ دارای فناوری‌های لازم را به محیط‌های شهری ساخته شده طبیعی متصل می‌کنند، باعث کارآمدی بام سبز در تبدیل شهر به اکوسیستم‌های قابل سکونت و توانمندی آن در سازگاری با تغییر آب‌وهوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. با توجه به موارد مطرح شده، بام سبز در مقیاس‌های مختلفی از مقیاس کوچک ساختمان، و در صورت کاربرد وسیع در مقیاس شهر، می‌تواند آثار مثبتی به همراه داشته باشد. این آثار مثبت به حدی است که در برخی از کشورهای پیشرفته مانند کانادا قوانینی در مورد لزوم احداث بام سبز در ساختمان‌های بزرگ به تصویب رسیده است. به عنوان مثال در تورنتو، کانادا، از سال ۲۰۱۰ میلادی تمام ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری و از سال ۲۰۱۲ تمام ساختمان‌های صنعتی با مساحت بیش از ۲۰۰۰ مترمربع، نیاز به احداث بام سبز دارند (Toronto, 2017). اگرچه در نظر داشتن این نکته ضروری است که تمام موارد یاد شده، مانند کاهش اثر جزیره گرمایی شهر، آلودگی هوا، و رواناب شهری زمانی به دست می‌آیند که بام سبز به عنوان بخشی از رویکرد مدیریتی و برنامه‌ریزی یکپارچه و هدفمند برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی در شهر به کار رود.

منابع و مآخذ:

a. پور کاظم، ا. (۱۳۹۶) باغ‌های پشت بامی و بام‌های سبز، چاپ اول، انتشارات کتابچین، ۳۱۹ صفحه.

۲. جهانشاهی، هاجر، وارثی، حمیدرضا، ۱۴۰۰، تدوین برنامه‌ریزی استراتژیک فضای شهری با رویکرد توسعه پایدار شهری، فصل نامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، شماره ۵۵، ۱۲۴-۱۰۱.

۳. خستو، مریم، ۱۴۰۲، تأثیر مؤفه‌های فرهنگی بر سر زندگی فضاهای شهری، فصل نامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، شماره ۶۰، ۹۲-۷۳.

۴. خالدی، ش. درفشی، خ. غزاله، س. خالدی، ش. ۱۳۹۱ پهنه‌های مناسب ایجاد رویکردهای معماری زیست اقلیمی با تأکید بر باغ بام در ایران، مطالعه موردی : شهر تهران. اولین همایش منطقه‌ای معماری و شهرسازی، ۲۰ مهر ۱۳۹۱، مرکز آموزش عالی علمی کاربردی سقز، ۶۹- ۵۸.

۵. شیرمحمدی، حسین، شمس، مجید، ۱۴۰۱، تبین مدل NBS در برنامه‌ریزی شهری برای تاب آور نمودن مناطق شهری، فصل نامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، شماره ۵۹، ۱۵۸-۱۳۹.

۶. زمان‌پور، ل. سعادت فر، م. ۱۳۹۴ راهنمای بام سبز. چاپ اول، تهران، نشر ارسطو. ۶۴ صفحه.

۷. ضرغامی، ا.، ادیبی، م. ۱۳۹۵ ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی در اقلیم گرم وخشک ایران، معماری و شهرسازی پایدار، دوره ۴، شماره ۱، ۹۰- ۷۵.

۸. فرجی، سعدی، حامی، احمد، امامی، فرزین، ۱۴۰۰، ارزیابی شاخص‌های کیفیت منظر عمومی شهری، فصل نامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، شماره ۵۵، ۸۰- ۶۱.

۹. کلانتری، م. قزلباش، س. ۱۳۹۵ بام‌های سبز شهری، اصول ساخت و راهکارهای توسعه. زنجان، چاپ اول، نشر آذر کلک، ۲۲۵ صفحه.

۱۰. لوکت، ک. ۱۳۹۴ احداث و نگهداری بام سبز. ترجمه شوشتریان، س. مشهد، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۵۸ صفحه.

۱۱. محمودی، زرندی، م. پاکاری، ن، بهرامی ح، ۱۳۹۱، ارزیابی چگونگی تأثیرگذاری بام سبز در کاهش دمای محیط، فصل نامه عامی پژوهشی باغ نظر، شماره ۲۰، ۲۱- ۱۲.

۱۲. محمودی زرندی، م. پاکاری، ن. ۱۳۹۲ طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان. فصلنامه آرمانشهر، دوره ۶، شماره ۱۱، ۱۵۱- ۱۴۰.

۱۳. مطلایی، س. ۱۳۹۳ اصول طراحی بام‌ها و دیوارهای سبز در معماری. چاپ اول، انتشارات شهید حسین فهمیده. ۹۸ صفحه.
۱۴. مقصودی، ش. ۱۳۹۵ راهنمای ایجاد فضای سبز در پشت بام خانه. تهران، چاپ اول، انتشارات آقای کتاب، ۹۲ صفحه.
۱۵. نوری سامله، ز. خالدی، ش. ۱۳۹۵ بهبود اقلیم شهری با ارزش‌گذاری اقتصادی زیست‌محیطی بام سبز. اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها،
۱۶. مرکز همایش‌های دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. ۲۳ شهریور، ۱۲۵- ۱۱۲.
17. ASLA. (2017) Green Infrastructure: Green Roofs and Walls. [online] https://www.asla.org/ContentDetail.aspx?id=43536
18. EPA. (2008) Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
19. EPA. (2017) Using Green Roofs to Reduce Heat Islands. [online] https://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands
20. Geneletti, D. Zardo, L. (2016) Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urbanclimate adaptation plans. Land Use Policy, 50, 38-47.
21. Herman, R. (2003) Green roof in Germany: yesterday, today and tomorrow. Proceedings of 1st North American green roof conference. 29-30 May 2003, Chicago.
22. Karteris, M. Theodoridou, I. Mallinis, G. Tsiros, E. Karteris, A. (2016) Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 510-525.
23. Liu, K. Baskaran, B. (2003) Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings of the first North American green roof infrastructure conference, awards and trade show. 29-30 May 2003, Chicago, IL (United States).
24. Orsini, F. Dubbeling, M. de Zeeuw, H. Gianquinto, G. (eds) (2017) Rooftop Urban Agriculture. Cham, Switzerland, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57720-3
25. Peck, S.W. Callaghan, C. Kuhn, M.E. Bass, B. (1999) Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. Status Report on

Benefits, Barriers and Opportunities for Green Roof and Vertical Garden Technology Diffusion; Peck & Associates (P&A): Toronto, ON, Canada.

26. Ramshani, M. Khojandi, A. Li, X. Omitaomu, O. (2020) Optimal planning of the joint placement of photovoltaic panels and green roofs under climate change uncertainty. Omega, 90, https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.10.016
27. Refahi, A.H. Talkhabi, H. (2015) Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. Renewable Energy, 80, 595–603.
28. Rosasco, P. Perini, K. (2019) Selection of (Green) Roof Systems: A Sustainability-Based Multi-Criteria Analysis. Buildings, 9, 134, doi:10.3390/buildings9050134
29. Santamouris, M. (2014) Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103, 682–703.
30. Shen, Z. Fitriaty, P. (2018) Overview: Green City Planning and Practices in Asian Cities. In Z. Shen et al. (eds) Strategies for Sustainability, https://doi.org/10.1007/978-3-319-70025-0_1
31. Toronto. (2017) Green Roof Bylaw. [online] http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=83520621f3161410VgnVCM10000071d60f89RCRD&vgnextchannel=3a7a036318061410VgnVCM10000071d60f89RCRD#
32. Velazquez, J. Anza, P. Gutierrez, J. Sanchez, B. Hernando, A. Garcia-Abril, A. (2018) Planning and selection of green roofs in large urban areas. Application to Madrid metropolitan area. Urban Forestry & Urban Greening, https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.020
33. Versini, P.A. Ramier, D. Berthier, E. de Gouvello, B. (2015) Assessment of the hydrological impacts of green roof: From building scale to basin scale. Journal of Hydrology, 524, 562–575.