

## بررسی اجزای بام‌های سبز

الما محمدی<sup>۱\*</sup>

[elmamohammadi@yahoo.com](mailto:elmamohammadi@yahoo.com)

سید حامد میر کریمی<sup>۲</sup>

مرجان محمدزاده<sup>۲</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر تمایل زیادی به ساخت بام سبز در دنیا و ایران دیده می‌شود. به منظور برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان مختلف سیستم‌های سبز متفاوتی ارائه شده‌اند. نتیجه این امر وجود تنوع در روش‌های اجرای بام سبز است که این تنوع ممکن است تصمیم‌گیری را برای انتخاب مناسب‌ترین روش اجرای بام سبز مشکل کند. در این تحقیق پس از معرفی و بررسی برخی از معمول‌ترین روش‌های ساخت بام سبز و اجزای آن‌ها، لایه‌های ضروری در یک بام سبز شناسایی شده و شمایی کلی از آن‌ها معرفی و به تصویر کشیده شدند. این لایه‌ها از پایین به بالا شامل: عایق رطوبتی بام، عایق ضد آب، زهکش، فیلتر خاک، محیط کشت یا خاک و گیاه هستند. در انتها با توجه به اینکه هزینه‌ی ایجاد بام سبز از مهم‌ترین موانع ایجاد آن است، پیشنهادهایی در جهت کاهش هزینه‌ها داده شده است. معرفی لایه‌های مختلف و کارکرد آن‌ها بستر را برای انتخاب ساختار مناسب یک بام سبز فراهم خواهد کرد که این انتخاب باید بر اساس شرایط محلی از جمله اقلیم صورت پذیرد.

**کلمات کلیدی:** بام سبز گسترده، باغ بام، بام سبز مدولار.

---

۱- کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. \* (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

## مقدمه

بام سبز (Green roof) اکوسیستمی مصنوعی است که فواید اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی زیادی در محیط‌های شهری دارد (۱). در سال‌های اخیر ایجاد بام سبز طرفداران بسیاری در کشور پیدا کرده است. اگرچه ایجاد بام سبز در کشور فناوری‌ای نو محسوب می‌شود در کشورهای پیشرفته از جمله آلمان، چند دهه است که فناوری بام سبز اجرا می‌شود و علم و فناوری آن نیز تکامل یافته‌تر است. بسیاری از شرکت‌های داخلی تبلیغات گسترده‌ای برای انجام پروژه‌های بام سبز کرده‌اند و همچنین مقالات بسیاری نیز به جزئیات اجرای بام سبز پرداخته‌اند. اما برخی شرکت‌ها که تخصص و کارایی لازم در این زمینه را ندارند، پروژه‌های بام سبز را گاهاً با استفاده از چند لایه ایزوگام به عنوان عایق انجام می‌دهند که ادامه‌ی این روند ممکن است نه تنها باعث کاهش کارایی و عمر بام‌های سبز و بلکه در نهایت سبب کاهش اقبال عمومی از آن‌ها گردد (۲). در کشورهایی که این فناوری قدمت بیش‌تری دارد به تدریج راهنما و استانداردهایی برای انتخاب نوع مصالح مصرفی در شرایط مختلف ایجاد شده‌است. در منابع مختلف تعداد لایه‌های به‌کار رفته در ساخت بام سبز، مواد استفاده شده در ساخت لایه‌ها و گاه ترتیب روی هم‌گذاری لایه‌ها متفاوت است. حتی بعضاً اسامی مختلفی برای این سیستم استفاده می‌شود که تفاوت بین آن‌ها واضح نیست. همچنین احتمالاً اولین دلیل ایجاد بام سبز برای مالکین ساختمان‌ها در کشور زیبایی آن است. بام‌های سبز علاوه بر بعد زیباشناسی فواید بسیاری برای ساکنین ساختمان‌ها و همچنین بهبود محیط زیست شهری دارند، طوری که توجه به بام‌های سبز در کشورهای پیشرو در وهله‌ی اول به دلیل کاهش میزان رواناب شهری و مالیاتی که مالکین ساختمان برای آن باید پرداخت کنند بوده است و با گذشت زمان فواید دیگر آن نیز بررسی و اندازه‌گیری شده‌اند. در این تحقیق به منظور معرفی بیش‌تر بام سبز روش‌های ساخت و روی هم‌گذاری موجود در برخی منابع جمع‌آوری شده و در نهایت شمایی کلی از لایه‌های اصلی و فرعی یک بام سبز نشان داده شده است. همچنین موادی که می‌تواند در هرکدام از این

لایه‌ها مورد استفاده قرار بگیرند فهرست شده‌اند. همچنین در این تحقیق اسامی مختلفی که برای بام‌های سبز بکار می‌روند و انواع و فواید آن‌ها بررسی شده‌اند. در نهایت به مشکل هزینه‌ی بالای ایجاد بام سبز اشاره شده و پیشنهاداتی برای کاهش هزینه‌ی آن ارائه شده است. این تحقیق می‌تواند به عنوان راهنمایی در انتخاب لایه‌های بام سبز بکار رود.

## ۲- معرفی بام سبز و انواع آن

بام سبز به پوشش گیاهی روی بام ساختمان‌ها گفته می‌شود. اسامی مختلفی برای این سیستم استفاده می‌شود. این نام‌ها عبارت‌اند از: بام سبزی، باغ بام (Roof garden)، بام زنده (Living roof)، بام اکولوژیکی (Ecological roof) و بام گیاه‌کاری شده (Vegetated roof) یا بام گیاهی (Vegetative roof). تفاوت اصلی بام سبز و باغ بام در عمق محیط کشت یا خاک در آن‌ها است. در واقع بام‌های سبز بر حسب عمق محیط کشت به دو و گاهاً سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. دو دسته‌ی اصلی آن‌ها بام سبز گسترده (Extensive) و بام سبز متمرکز (Intensive) هستند. سیستم گسترده ضخامت محیط کشت کم‌تری داشته و برای رویش گیاهان علفی مناسب است. هزینه‌ی ساخت و نگهداری و وزن این سیستم که بام سبز خوانده می‌شود به نسبت سیستم متمرکز کم‌تر بوده و قابلیت اجرا بر روی اکثر بام‌ها را دارد. بام سبز متمرکز ضخامت محیط کشت و وزن بیش‌تری دارد و برای رویش درختچه و حتی ایجاد حوضچه کوچک قابلیت داشته و به اسم باغ بام شناخته می‌شود (۳). عمق خاک یا محیط کشت در سیستم‌های متمرکز و گسترده با کمی تفاوت در منابع مختلف به ترتیب بین ۱۵ سانتی‌متر تا ۱/۵ متر (۴؛ ۵؛ ۶) و ۲ تا ۲۰ سانتی‌متر (۲؛ ۵) بیان شده‌است. در بام‌هایی که قرار است بام سبز متمرکز روی آن‌ها اجرا شود قبل از ساخت ساختمان به تحمل بار و نفوذناپذیری بام توجه شده و استحکام‌سازی بنا و عایق‌بندی مناسب صورت می‌پذیرد. این‌گونه بام‌ها اکثراً برای مکان‌های عمومی استفاده می‌شوند. همچنین هنگامی که بام سبز از ترکیبی از بام سبز گسترده و متمرکز باشد نام بام سبز

از آنجایی که بام سبز یک پوشش گیاهی زنده است می‌توان تمام خدمات اکوسیستمی که هر محیط سبز دیگری دارد برای آن در نظر گرفت. عمده فواید مختلف بام سبز عبارت‌اند از:

- بهبود مدیریت رواناب‌ها

محیط کشت بام سبز می‌تواند در هنگام بارندگی آب باران را در خود نگه داشته و باعث کاهش رواناب خروجی از ناودان ساختمان گردد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته رواناب یا به اصطلاح دیگر آب طوفان (Storm water) مدیریت و جمع‌آوری می‌گردد و از طرف دیگر از ساکنین ساختمان‌ها به میزان آب خروجی، مالیات دریافت می‌گردد. ثابت شده است که استفاده از بام سبز ابزاری مناسب برای کنترل آب در بارش‌های کوچک است (۹)، بنابراین ساکنین مالیات کم‌تری خواهند پرداخت.

- کم کردن اثر جزیره گرمایی شهری

سطوح معدنی مانند ساختمان‌ها و بام‌ها موجب بالا رفتن دما در شهرها می‌گردد که این امر واکنش گازهای منتشره از اتومبیل‌ها و ایجاد اوزون استراتوسفری را موجب می‌شود. تحقیقاتی که روی تاثیر بام و دیوار سبز انجام شده موثر بودن بام‌ها و دیوارهای سبز در بهبود دمای شهر را تایید می‌کند (۱۰).

- کاهش آلودگی هوا

گیاهان روی بام سبز می‌توانند آلودگی هوا را کاهش بدهند (۶)؛ (۱۱).

- حفظ انرژی ساختمان

تاثیر درختان و سایه‌ی آن‌ها در کاهش مصرف انرژی در نواحی شهری به اثبات رسیده است (۱۲). بام سبز نیز در تابستان با سایه‌ای که گیاهان ایجاد می‌کنند و با عمل تبخیر و تعرق آن‌ها نفوذ گرما از بام به ساختمان را کاهش می‌دهد، همچنین در زمستان عایق اضافی ایجاد شده از طریق بام سبز میزان انرژی لازم برای گرم کردن ساختمان را کاهش می‌دهد (۱۳).

- کاهش آلودگی صوتی

نیمه متمرکز (Semi-intensive) برای آن استفاده می‌شود. برخی یک دسته‌ی دیگر برای بام سبز با نام بام سبز مدولار (Modular) یا جعبه‌ای در نظر می‌گیرند (۵). در مدل جعبه‌ای تمام لایه‌های بام سبز در یک جعبه به صورت آماده وجود دارد و فقط کافیست آن‌ها را در روی بام چید. نصب آسان، تعمیر آسان در صورت نشت و وجود جعبه‌های آماده با عمق‌های محیط کشت کم و زیاد از مزایای این سیستم است (۷). اما مدل جعبه‌ای نیز در نهایت یا با عمق کم و یا عمق زیاد ایجاد می‌شود، پس عملاً در یکی از دسته‌های بام سبز یا باغ بام قرار می‌گیرد. با بکار بردن سیستم جعبه‌ای یکپارچه‌ی اکوسیستم ایجاد نخواهد شد. اصطلاح بام زنده زمانی استفاده می‌شود که بام سبز برای اهداف ایجاد زیستگاه و حیات وحش ایجاد شود (۸). همچنین یک بام سبز آبیاری نشده ممکن است همیشه سبز نباشد، واژه‌ی بام زنده مشکل تصور اشتباه برخی نسبت به همیشه سبز بودن بام را مرتفع می‌کند و بیان می‌کند که بام سیستمی کامل دارد که علاوه بر گیاهان، پرندگان و بی‌مهرگانی که بر روی آن می‌آیند و میکرواورگانیزم‌های موجود در خاک را نیز حمایت و نگهداری می‌کند (۸). به همان دلایلی که ذکر شد بام اکولوژیکی یا اکوروف نیز واژه‌ای است که خیلی اوقات استفاده می‌شود (۸). بام گیاهکاری شده یا بام گیاهی نیز در مقابل این تصور که بام رنگ سبز دارد، اشاره به وجود گیاه در بام دارد. استفاده از کلمه‌های بام سبز گسترده و بام سبز متمرکز رایج‌تر است و اغلب وقتی کلمه‌ی بام سبز بدون اشاره به نوع آن بکار برده می‌شود منظور بام سبز گسترده است.

این تحقیق با توجه به فراگیرتر بودن و پتانسیل رشد بیش‌تر فناوری بام سبز گسترده در کشور بر اساس این نوع از بام سبز انجام شده است. در این تحقیق منظور از بام سبز همان بام سبز گسترده روی بامی با شیب کم‌تر از ۵٪ است. لازم به ذکر است که ایجاد بام سبز بر روی بام‌های شیب‌دار نیز با تدابیر خاص امکان‌پذیر است.

### ۳- فواید بام سبز

مختلف ایجاد شده است. برای مثال در آلمان، انگلیس و کانادا استانداردهای اجرایی بر مبنای مصالح مصرفی، اقلیم و طراحی سازه و بوم‌گرایی ایجاد شده‌اند (۵). شرکت‌های مختلف نیز با پیشرفت فناوری بام سبز به منظور برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان مختلف و شرایط آب و هوایی مختلف سیستم‌های سبز متفاوتی را به بازار ارایه می‌کنند (۱۸).

در روش شماره‌ی ۱ جدول (۱) که روش سنتی نیز خوانده می‌شود، چند لایه ایزوگام به عنوان عایق رطوبتی بام در نظر گرفته می‌شود که این کار ریسک نفوذ آب به ساختمان را بالا می‌برد و مورد توصیه نیست. در روش شماره ۹ نیز دو لایه زهکش (که یکی از آن‌ها قابلیت حفظ آب را دارد) و دوبار عایق کاری توصیه شده که این کار خیلی محتاطانه بوده و استفاده از این روش برای منطقه‌ای با بارندگی خیلی زیاد مناسب‌تر می‌باشد. همان‌گونه که در جدول (۱)، ارایه شده است در منابع مختلف برای ساخت بام سبز بین ۵ تا ۱۰ لایه‌ی مختلف در نظر گرفته شده است، اما بطور کلی به نظر می‌رسد که وجود ۶ لایه در بام‌های سبز گسترده ضروری است. این لایه‌ها از سمت پایین (روی بستر بام) به بالا شامل: عایق رطوبتی بام، عایق ضد آب، زهکش، فیلتر خاک، محیط کشت یا خاک و گیاه است. شمای کلی این لایه‌ها و محل قرارگیری لایه‌هایی که در برخی سیستم‌ها به آن‌ها اضافه می‌شوند در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل تفاوت در تعداد لایه‌ها ممکن است به چند دلیل باشد: (۱) در سیستم‌های متفاوت برای عایق کاری رطوبتی بام از مواد و تعداد لایه‌های مختلف استفاده شده است. دلیل این امر اولاً تفاوت در نوع سازه‌ی بام‌ها و ثانیاً شرایط متفاوت عایق کاری اصلی و عمر آن در بام‌های مختلف است، (۲) صفحه محافظت (Cover board) یا مواد محافظت (Protection material) برای حفاظت بام از نشت و نفوذ آب و سیستم عایق کاری در برخی سیستم‌ها بکار برده شده است، در برخی موارد نیز لایه‌ی مانع ریشه (Root barriers) یا ضد آب خود، دارای مواد محافظ است (۵)، (۳) استفاده از لایه‌ی مانع ریشه در برخی منابع مشاهده می‌شود. محل قرار گیری آن در سیستم‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. اکثراً

محیط کشت با عمق ۱۲ سانتی‌متر صدا را تا ۴۰ دسی‌بل کاهش می‌دهد (۱۳). همچنین یانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۱۴)، در یک نمونه‌ی آزمایشی نشان دادند که بام سبز می‌تواند صدا را تا ۴ دسی‌بل کاهش دهد.

#### • افزایش عمر غشای بام نسبت به بام معمولی

با بکار بردن بام سبز عایق رطوبتی بام در معرض تغییرات دمایی شدید و اشعه فرابنفش قرار نگرفته و عمر بیشتری خواهد داشت (۱۳). در مقالات مختلف عمر بام سبز از ۴۰ سال (۱۵؛ ۱۶) تا ۶۰ سال (۷) بیان شده است.

#### • سایر فواید بام سبز

سایر فواید بام سبز عبارت‌اند از: مقاومت در برابر آتش (به دلیل مرطوب بودن خاک)، کاشت گیاهان دارویی یا خوراکی، افزایش ارزش ملک، ایجاد فرصت شغلی جدید، (۷؛ ۸؛ ۱۳) و افزایش تنوع زیستی در محیط شهری (۱۷) با ایجاد زیستگاهی برای پرندگان، حشرات، بی‌مهرگان و میکرواورگانیزم‌ها. همچنین مطالعه‌ای که توسط دانشگاه ایالت لوئیزیانا در سال ۲۰۰۲ انجام شده نشان داده که بیماران وقتی در معرض محیط طبیعی قرار می‌گیرند دوره‌ی بهبودی سریع‌تری دارند (۷). باغ خانواده‌ی السن (Olson family garden) بر روی طبقه‌ی ۷ بیمارستان کودکان در شهر سنت لوئیس ایالت میسوری در آمریکا نمونه‌ی زیبایی است که با هدف ایجاد محیطی طبیعی و آرام برای بیماران و خانواده‌هایشان فراهم شده است (۷).

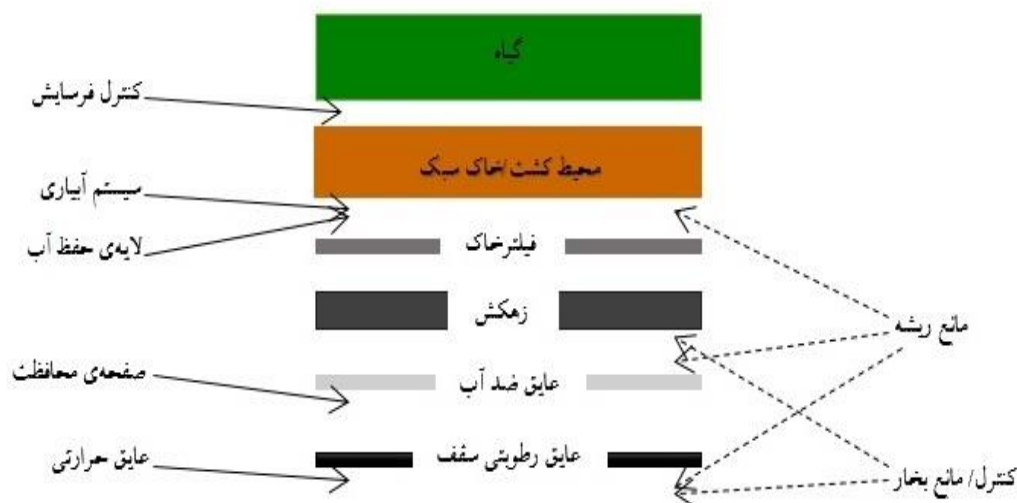
#### ۴- روش‌های مختلف ایجاد بام سبز و مواد بکار گرفته‌شده

##### شده در لایه‌های آن

تنوع در طراحی بام سبز و مصالح مصرفی در انواع لایه‌های آن با توجه به شرایط متفاوت و بویژه اقلیم منطقه روز به روز در حال تغییر و بهینه‌سازی است (۵). در منابع مختلف تعداد لایه‌های بکار رفته، مواد استفاده شده در ساخت آن‌ها و گاه ترتیب روی هم‌گذاری لایه‌ها متفاوت است (جدول ۱). در کشورهایی که این فناوری قدمت بیشتری دارد به تدریج راهنما و استانداردهایی برای انتخاب نوع مصالح مصرفی در شرایط

صورت دستی و یا در صورت لزوم با نصب آیفشان‌های معمولی انجام پذیرد، (۷) لایه‌ی کنترل فرسایش برای شرایط خاصی که سرعت باد و یا شیب بام زیاد باشد استفاده می‌شود، (۸) لایه‌ی حفظ آب یا رطوبت (Moisture retention layer): در برخی سیستم‌ها زهکش فضایی برای ذخیره‌سازی آب ندارد یک لایه در زیر محیط کشت برای ذخیره‌ی آب قرار می‌گیرد. البته فیلتری که در روی زهکش قرار دارد نیز تا حدودی توانایی حفظ آب و رطوبت را دارد و برخی به جای کلمه‌ی فیلتر از لایه‌ی حفظ رطوبت استفاده کرده‌اند. (۹) لایه‌ی محافظ در بام-هایی که بام سبز به صورت یکپارچه و در کل سطح بام نصب نمی‌شود در اطراف لایه‌ها قرار می‌گیرد. اطراف آن را با گراول و سنگ رودخانه‌ای می‌پوشانند، آب خروجی از زهکش از منافذ صفحه‌ی محافظ عبور کرده و از لایه‌ی گراول‌ها به سمت ناودان جاری می‌گردد. لایه‌ی محافظ اغلب جزء لایه‌های بام سبز در نظر گرفته نمی‌شود.

عایق ضد آب در زیر زهکش به عنوان مانع ریشه نیز عمل می‌کند. برخی نیز به جای کلمه‌ی عایق ضد آب از کلمه‌ی ضد ریشه استفاده کرده‌اند. در برخی منابع، مانند رضویان و همکاران (۴)، به دلیل کوچک بودن گیاهان در بام سبز گسترده وجود این لایه الزامی شمرده نشده‌است. لازم به ذکر است که ممانعت از ورود ریشه به سازه‌ی بام از دو طریق فیزیکی و شیمیایی می‌تواند انجام گیرد (۱۸)، که در مورد روش دوم مواد مانع رشد ریشه را می‌توان بر روی لایه‌های دیگر قرار داد. (۴) عایق حرارتی و کنترل بخار جزء بخش‌های اصلی بام سبز نیستند و در بام‌های معمولی نیز می‌توان برای کاهش مصرف انرژی و عایق‌کاری بیش‌تر آن‌ها را بکار برد، (۵) وجود دو زهکش عملی محافظه کارانه و احتمالاً غیرضروری برای خروج آب نشی از لایه‌های بالایی است، (۶) در مثال شماره ۳ جدول (۱)، آبیاری به عنوان یک لایه معرفی شده است. سیستم آبیاری جزئی بخش‌های اصلی یک بام سبز نیست. آبیاری می‌تواند به



شکل ۱- شمای کلی لایه‌های بام سبز و محل قرارگیری لایه‌هایی که در منابع مختلف به آن‌ها اضافه می‌شوند. برای لایه یا مواد مانع ریشه و لایه‌ی کنترل بخار چند مکان مختلف در بین لایه‌ها می‌تواند وجود داشته‌باشد.

توجه به توانایی حمل بار بام و ایجاد شرایط مناسب آب و مواد غذایی برای رشد و استقرار گیاهان. توضیحات بیش‌تر در مورد لایه‌های مختلف بام سبز بحث خواهد شد.

بطور کلی در تمامی سیستم‌های مختلف اجرایی رعایت چند نکته ضروری است: اطمینان از عدم ضرر رساندن آب یا رطوبت و ریشه‌ی گیاهان به سازه‌ی ساختمان، سبک بودن لایه‌ها با

## جدول ۱- مثال‌هایی از اجزای بکار رفته در بام سبز گسترده در منابع مختلف

شماره	لایه‌های در نظر گرفته شده (از پایین به بالا)	منبع
۱	ایزوگام، عایق نایلونی، عایق ریشه، پوکه و پرلیت (به عنوان زهکش)، عایق خاک (موکت گونی یا ابر فشرده)، گونی، خاک، گیاه.	روش شناخته شده به نام "روش سنتی"
۲	عایق رطوبتی، صفحه‌ی محافظت، زهکش، محیط کشت، گیاه.	۴
۳	غشای ضد آب، مانع ریشه، لایه محافظت، عایق (پرکننده‌ی سبک‌وزن)، زهکشی و درزپوش‌ها، محافظ آب، کنترل فرسایش، فیلتر، محیط کشت، گیاه، آبیاری*.	۵
۴	مواد محافظ بام، لایه‌ی حفظ رطوبت، زهکش (با فیلتر پارچه‌ای در زیر و لایه‌ی مانع ریشه در بالای آن)، محیط کشت، گیاه.	۷
۵	مانع ریشه، زهکش، فیلتر، لایه‌ی حفظ آب، محیط کشت، گیاه.	۱۸
۶	عایق رطوبتی، Filtron tile، فیلتر فایبر گلاس، خاک بستر، گیاه.	۱۹
۷	عایق حرارتی، عایق آب، کنترل بخار، مانع ریشه، زهکش، فیلتر شبکه‌ای، خاک، گیاه.	۲۰
۸	لایه‌ی محافظ، عایق فومی، فرش محافظ، زهکش، فیلتر پارچه‌ای، محیط کشت، گیاه، گراول و سنگ رودخانه‌ای (در فواصلی که کاشت انجام نمی‌گیرد)، لبه‌ی محافظ <sup>۱</sup> .	۲۱
۹	عایق‌کاری اولیه، مش فایبرگلاس، لایه‌ی کوتینگ (عایق ثانوی)، زهکش (بدون فضای نگهدارنده‌ی آب)، ضد ریشه، محافظ، زهکش (با فضای نگهداری آب)، فیلتر خاک، خاک سبک، گیاه.	کاتالوگ شرکت (الف)
۱۰	عایق رطوبتی، لایه‌ی محافظ عایق، زهکش، فیلتر، محیط کشت، گیاه.	کاتالوگ شرکت (ب)
۱۱	عایق ایزوگام، سیمان، عایق پلی‌وینیل کلراید، زهکش، فیلتر، خاک سبک، گیاه.	گفتگو با رئیس شرکت (ج)
۱۲	غشای ضد آب، لایه‌ی عایق، مانع ریشه، لایه‌ی حفاظت، عامل زهکش، فیلتر پارچه‌ای، محیط کشت، گیاه.	۲۲

\* بکارگیری لایه‌هایی که در زیرشان خط کشیده شده الزامی دانسته شده‌است. همچنین احتمالا ترتیب لایه‌ها در نظر گرفته نشده‌است.

## ۴-۱- عایق رطوبتی بام

بام از پیش ساخته شده‌ای که قرار است بام سبز روی آن اجرا شود خود عایق کاری رطوبتی دارد. این عایق کاری ممکن است با روش‌های متفاوتی چون ایزوگام، فیراندود کردن و یا ورق پلی‌وینیل کلراید انجام گرفته باشد. برای ایجاد بام سبز نیاز به عایق کاری ثانویه بام وجود دارد. بسته به شرایط این عایق کاری می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال در بامی با پوشش سالم و

بدون درز و شکاف، می‌توان لایه‌ای دیگر برای عایق‌سازی بیش‌تر روی آن پهن کرد. چند مثال و خصوصیات آن‌ها در جدول (۲) آمده‌است. همچنین اگر عایق اولیه‌ی بام شکاف‌هایی داشته باشد در مواردی برداشتن آن و درزگیرها و پخش پرکننده‌هایی مانند رزین‌ها می‌تواند از گزینه‌های دیگر باشد.

## جدول ۲- انواع عایق رطوبتی برای بام (۵ و ۷). تمام این غشاها به عنوان غشای اصلی بام نیز کاربرد دارند.

نوع غشای بام	توضیحات
EPDM <sup>۱</sup>	معمول‌ترین نوع غشا، هزینه‌ی پایین، به صورت ورقه‌های بزرگ که میزان درز و شکاف را کم می‌کند، دوام و مقاومت در برابر ریشه بسیار خوب، مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی کم
TPO <sup>۲</sup>	سطح سفید انعکاسی، درزها با گرما دادن جوش می‌خورند، دوام و مقاومت در برابر ریشه بسیار خوب، مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی بسیار خوب
پلی وینیل کلراید	سطح سفید انعکاسی، درزها با گرما دادن جوش می‌خورند، دوام و مقاومت در برابر ریشه بسیار خوب، مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی بسیار خوب
BUILT-UP ROOFING (BUR)	اصولا با گراول نخودی <sup>۳</sup> پوشانده می‌شود، هزینه پایین، دوام و مقاومت در برابر ریشه کم، مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی کم
قیر اصلاح شده	هزینه پایین، دوام و مقاومت در برابر ریشه کم و نیازمند لایه مانع ریشه، دوام و مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی کم
غشای مایع <sup>۴</sup>	برای استفاده به عنوان لایه ضد آب در بام سبز بسیار معمول است، به صورت آسفالت با لاستیک پوشانده شده و یا غشای مایع مصنوعی وجود دارد، برای بسترهای بلوک یکپارچه بسیار مناسب، دوام و مقاومت در برابر روغن و مواد شیمیایی کم
بام فلزی	این نوع بام در آمریکا شایع نیست ولی در اروپا به عنوان بام ی مناسب برای ایجاد بام سبز بکار میرود چون سبک است و عمر طولانی (بیش از ۱۰۰ سال) دارد، هزینه بالا
غشا الاستومری (اتیلن پروپیلین)	-

1- Ethylene Propylene Diamine Monomer

2- Thermoplastic Polyolefin

3- Pea Gravel

4- Liquid-applied Membrane

## ۴-۲- عایق ضد آب

در زیر زهکش قرار می‌گیرد و هدف آن جذب آب نشت پیدا کرده از زهکش و یا ممانعت از ورود ریشه‌ی رسیده به زیر زهکش به سازه‌ی بام است.

## ۴-۳- لایه‌ی زهکش

حرکت و جابجایی برای خروج آب اضافی از بام سبز مخصوصا برای گونه‌های آبدار یا ساکولانت‌ها (Succulents) ضروری است، زیرا راکد ماندن آب در یک مکان بیماری را در گیاهان تسریع کرده و موجب تحلیل زود هنگام لایه‌های بام می‌شود (۷). هدف از ایجاد لایه‌ی زهکش خروج آب اضافی از محیط کشت و در مواردی ذخیره‌ی آن برای دوره‌های کم باران است. غالبا در لایه‌های زهکشی که در بام‌های سبز استفاده می‌شوند فضایی برای نگهداری آب نیز تعبیه شده است. مواد مورد استفاده در زهکش و شکل آن می‌تواند بسته به نوع بام سبز متفاوت باشد. مواد سبک و نازک مانند پلی‌اتیلن و پلی-پروپیلین به دلیل سبکی در بام‌های سبز گسترده کاربرد فراوان

دارند و کارخانه‌های سازنده دلیل این امر را انعطاف‌پذیری آن‌ها برای حمل و نقل آسان به شکل رولی، نصب آسان، مقاومت و دوام بالا و هزینه‌ی پایین تولید بیان کرده‌اند (۱۸). در جدول (۳) جنس و یا موادی که برای این جزء از بام سبز استفاده می‌شود فهرست شده‌اند. ضخامت زهکش باید با توجه به جزئیات دیگر بام سبز انتخاب شود، زیرا که اگر لایه زهکش خیلی نازک باشد و یا آبراهه‌ی ناودان بسته شود آب می‌تواند به بام نشت کند (۱۳). در بام‌های سبز متمرکز که توانایی تحمل بار بیشتری دارند از سنگریزه‌های گرد به عنوان فیلتری طبیعی می‌توان استفاده کرد (۱۸). در صورت محکم بودن سازه‌ی ساختمان و تحمل بار زیاد به جای لایه‌ی زهکش می‌توان لایه-ی خاک را عمیق‌تر کرد که توانایی نگه‌داری آب بیشتری داشته باشد (۴؛ ۸). در شیب‌های بیش از ۵ درجه آب خود به خود خارج می‌شود و نیازی به زهکش نیست (۸).

## جدول ۳- انواع مواد مورد استفاده به عنوان لایه‌ی زهکش

منبع	توضیحات	مواد موجود در لایه‌ی زهکش
۵	متخلخل‌اند و توانایی نگه داری آب بالا دارند، در نتیجه آلودگی کم‌تری به ناودان‌ها وارد می‌شود.	خرده‌آجر، گدازه‌های آتشفشانی (لاوا <sup>۱</sup> ) و ماده مصنوعی خاک رس منبسط شده (لیکا)
۷	آسان‌ترین در نصب، متداول‌ترین محصولات در صنعت بام سبزاند، ترکیبی از فیلتر پارچه‌ای نرم که به قسمت تحتانی زهکش چسبانده شده، زهکش فنجان‌ی-شکل که به آب اجازه‌ی حرکت افقی را می‌دهد و یک فیلتر پارچه‌ای که به قسمت فوقانی زهکش متصل شده و در نقش مانع ریشه عمل می‌کند، محصول به صورت نواری روی بام پهن می‌شود. لایه‌ی حفاظت، زهکش و مانع ریشه را داراست.	محصول ۳ لایه (لایه‌ی زهکش با فیلتر پارچه‌ای در رو و زیر آن)
۵، ۱۱ و کاتالوگ شرکت (ج)	مانند VersiDrain 25P محصول شرکت المیچ، ارتفاع ۲۳ میلی‌متر، ضخامت ۱ میلی‌متر، وزن ۰.۹ کیلوگرم در مترمربع، عمر بیش از ۵۰ سال.	ورقه‌های زهکشی فنجان‌ی از جنس پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلین
۲۱	-	پلی پروپیلین بازیافت‌شده
کاتالوگ شرکت (الف)	ارتفاع ۲۰ میلی‌متر، وزن ۱/۳۵۰ کیلوگرم بر متر مربع - ضخامت ۲ میلی‌متر.	پلی استایرن بازیافتی ELDrain® 25
۲۳	این زهکش توسط محمودی زرنندی، پاکاری و بهرامی (۲۳) طراحی شده‌است. پرلیت بین دو لایه‌ی فایبرگلاس (پشم شیشه و رزین) قرار دارد.	زهکش فنجان‌ی از جنس فایبرگلاس و پرلیت



## ۴-۴- فیلتر خاک

برای جلوگیری از پرشدن منافذ زهکش باید با یک لایه آن را از محیط کشت جدا کرد (۸). فیلتر در بین لایه‌ی زهکش و محیط کشت قرار می‌گیرد، به آب اجازه‌ی عبور می‌دهد ولی از عبور مواد خاک یا محیط کشت به لایه‌ی زهکش جلوگیری می‌کند. محمودی زرنندی و همکاران (۵)، فیلتر را دو لایه از بافت غیر طبیعی که یک بافت در نقش کنترل کننده‌ی ریشه از جنس الیاف پارچه‌ی ژئوتکستایل و یا حتی شن و ماسه و دیگری لایه زهکش از جنس مصالح دانه‌ای معرفی می‌کنند. پک و کوهن (۱۳)، نیز فیلتر پارچه‌ای را به عنوان لایه‌ای برای نگه‌داشتن ریشه و محیط کشت در حالی که اجازه‌ی نفوذ آب را می‌دهد تعریف کرده‌اند. بام‌های سبز با فیلتر پارچه‌ای ضخیم-ترتا ۳۰٪ رطوبت بیش‌تری نسبت به بام‌های سبز بدون فیلتر حفظ کردند (۲۲). موادی مانند فیبرهای پلیمری یا پلی‌الین (Polyolefins) برای ساخت لایه‌ی فیلتر سبک و باریک استفاده می‌شوند (۱۸). ولی این لایه اکثراً به روی زهکش وصل می‌شود و اطلاعات ضخامت و وزن آن‌ها دقیق نیست.

## ۴-۵- محیط کشت

حساس‌ترین عضو یک بام سبز موفق و مهم‌ترین دلیل شکست پروژه‌ی بام سبز خاک و یا محیط کشت آن است (۷). وظیفه‌ی این لایه حفظ آب و فراهم کردن مواد غذایی لازم برای گیاهان و ایجاد محیطی برای رشد و حفظ ریشه‌ی آن‌ها است (۱۸)؛ (۲۴). گیاه برای رشد و بقا به مواد معدنی و آلی نیازمند است. خاک طبیعی سنگین بوده و امکان دارد ترکیبات آن برای نوع گیاه مورد نظر نامناسب باشد، پس بهتر است مخلوط مناسب گیاه تهیه گردد (۸). مطالعات نشان داده است که تغییر خصوصیات محیط کشت می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد اولیه و عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان داشته باشد (۲۴). در کشورهایی مانند آلمان که استانداردهایی برای ایجاد بام سبز دارند مخلوط‌های محیط کشت به صورت آماده وجود دارد (۷). در جدول (۴) نمونه‌هایی از مخلوط‌های استفاده شده یا پیشنهادی در منابع مختلف آورده شده است. بطور کلی وجود مواد آلی کم (حدوداً ۲۰٪) توصیه شده است.

جدول ۴- انواع مخلوط‌های معرفی شده برای محیط کشت

منبع	عمق (سانتی‌متر)	وزن در حالت اشباع (کیلوگرم بر مترمکعب)	مواد موجود در محیط کشت
۴	-	-	مخلوط معمولی مرکب از یک سوم ماسه سنگ، یک سوم سنگ‌های متخلخل و یک سوم گیاه‌خاک مصنوعی (ترکیبی از چوب پوسیده و کود نباتی)
۵	۲۰ تا ۶	۱۵۰ تا ۶۰	مخلوط پشم سنگ، لیکا و پرلیت
۷	-	-	۱- مخلوط سنتی: مخلوطی از شن و ماسه و مواد آلی، بسته به منطقه‌ای که بام سبز ایجاد می‌گردد می‌توان ترکیبات را تغییر داد. اصولاً ۸۰٪ شن و ماسه و ۲۰٪ مواد آلی استفاده می‌شود
	-	-	۲- مخلوط تجاری: ترکیبات مختلفی دارند، نسبت به مخلوط سنتی گران‌ترند و معمولاً یک سری مواد غیرضروری هم دارند. ولی آزمایش‌های اشباع روی آن‌ها انجام شده است
۸	۲۰ تا ۵	-	خرده آجر، شیل یا رس بسط داده شده، پومیک <sup>۱</sup> ، اصولاً ۸۰ تا ۹۰ درصد مواد معدنی
۱۳	۱۵ تا ۵	۱۶۹/۴ تا ۷۷/۶	مخلوطی بر پایه‌ی مواد معدنی شامل شن، ماسه، خرده آجر، پیت <sup>۲</sup> ، لیکا و مواد آلی و مقداری خاک
کاتالوگ	۸	۴۵	مخلوطی از کمپوست ارگانیک، خاک برگ، سبوسبرنج، دانه‌بندی مناسب پوک‌لیکا، پرلیت

۱- Pumic، به سنگ‌های خلل و فرج‌دار گفته می‌شود.

شرکت (الف)			و خاک نباتی
۳۳	۶ تا ۲۰	۶۰ تا ۱۵۰	مخلوط پشم سنگ، لیکا

#### ۴-۶- گیاه

پوشش گیاهی لایه‌ی زیبا شناختی بام سبز و احتمالا تنها نشانه‌ایست که بام سبز را به عنوان محصولی دوست‌دار محیط زیست معرفی می‌کند (۱۸). انتخاب نوع و گونه‌ی گیاه، نحوه‌ی استقرار و نگهداری آن و نیاز به آبیاری و کوددهی از نکات حایز اهمیت در ایجاد بام سبز است که به‌طور مختصر در مورد آن‌ها بحث خواهد شد:

##### • انتخاب نوع گیاه

برای انتخاب نوع گیاه باید اقلیم منطقه، سرعت و جهت باد، میزان بارش، نحوه‌ی آبیاری، آلودگی هوا، ارتفاع ساختمان، سایه، عمق خاک و همچنین اندازه و عمق ریشه در نظر گرفته شوند (۷؛ ۱۳). بطور کلی توانایی مقاومت در خشک‌سالی و بقا در کم‌ترین میزان مواد مغذی، پوشش خوب، نیاز به نگهداری کم، زادآوری سریع، ریشه‌های نرم و کوتاه و گیاه‌پالایی از خصوصیات گیاهان مناسب بام‌های سبز هستند (۲۲). گونه‌های آبدار آب را در برگ‌های خود ذخیره می‌کنند و توانایی

نگهداری رطوبت در آن‌ها زیاد است و سدوم‌ها از پرکاربردترین آن‌ها در روی بام‌های سبز گسترده هستند (۸). سدوم‌ها بسیاری از روش‌هایی که گیاهان بیابانی برای بقا استفاده می‌کنند را دارا هستند: مانند فتوسنتز با متابولیزم اسیدکراسولاسه<sup>۱</sup>، ریشه‌های کم‌عمق، رشد کم و توانایی استقامت در دوره‌های طولانی خشکی و یا سرمای شدید و همچنین در معرض کامل آفتاب و یا سایه، عمر طولانی و خاصیت خود-تکثیری و ریشه‌زنی دوباره (۷). اثبات شده‌است. سدوم‌ها و خزها واجد تمام شرایط لازم برای استقامت گیاه روی بام هستند (برقاژ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در (۱۸)). همچنین با توجه به خشک و کم آب بودن ایران کاشت گیاهان پوششی سدوم به جای چمن توصیه شده‌است. اسامی برخی گونه‌ها که در بام سبز گسترده قابل کاشت‌اند در جدول (۵) قید گردیده است.

۱- CAM، در این نوع متابولیزم گیاهان در شب تثبیت CO<sub>2</sub> انجام می‌دهند و بنابراین از کاهش آب جلوگیری می‌کنند.

جدول ۵- برخی گونه‌های قابل کشت روی بام سبز گسترده

منبع	گیاه
۱	Cotinus coggygria, Prunus mahaleb
۷	Sedum sexsangulare, Sedum reflexum, Sedum album, Sedum spurium, Sedum weithenstephaner gold
۸	Sedum album, Sedum acre, Sedum rupestre, Sedum hispanicum, Delosperma, Koeleria macrantha, Festuca species, Koeleria glauca گیاهان پیازی، گیاهان بومی وحشی- گیاهان یک‌ساله، خزه، سبزیجات
۱۱	گونه‌های مختلف سدوم (S. kamtshaticum یا S. spurium, S. acre, S. album)
۱۳	Festucase, Semperviviums. علف‌ها، گل‌های وحشی، خزه، سدوم‌ها، زنبق‌ها

در محل پهن می‌شوند. بسیاری معتقداند که بام‌های سبز بعد از استقرار نیازی به نگهداری‌های خاص مانند آبیاری یا کوددهی ندارند، اما این جمله در تمام حالت‌ها صدق نمی‌کند، برای مثال نیاز به آبیاری در آب و هوای معتدل بسیار کم (فقط در مواقع خشک‌سالی) و در منطقه‌ای با آب و هوای خشک ضروری به نظر می‌رسد. فلین<sup>۱</sup> (۲۱)، یک‌بار کوددهی و هرس در سال را برای بام سبز لازم دانسته‌است. لاکت<sup>۲</sup> (۷)، نیز کود دهی سالانه را برای ۳ تا ۵ سال اول ضروری و برای سال‌های بعد از استقرار فقط در قسمتی از بام که نیاز به کود دارد لازم دانسته‌است.

• استقرار و نگهداری گیاهان  
کاشت گیاهان روی بام سبز می‌تواند به سه حالت بذریاشی، کاشت قلمه‌ی گیاه (Cutting) و کاشت نهال (Plug) انجام شود. در جدول (۶) مزایا و معایب هر سه روش فهرست شده- است. اصولاً در بام سبز از کاشت نهال استفاده می‌کنند چون استقرار راحت‌تری دارند برخی نیز ترکیبی از کاشت نهال و قلمه. همچنین محصولاتی تجاری مانند حصیر گیاهی (Vegetated mat) و موزاییک سدومی (Sedum tile) وجود دارند که در آن‌ها گیاهان به محیط کشت خود (از جنس الیاف سخت و حصیر نایلونی) تنیده شده‌اند و به صورت آماده

1- Flynn  
2- Lockett

جدول ۶- مزایا و معایب سه روش کاشت گیاه روی بام سبز (۷)

معايب	مزایا	حالت‌های کاشت گیاه روی بام سبز
- احتمال خورده شدن توسط پرندگان. - امکان رشد نکردن طبق الگوی کاشت.	- ارزان تر از سایر گزینه‌ها.	بذرپاشی
- دوره‌ی استقرار دو برابر حالت کاشت نهال.	- برای سدوم‌ها خوب جواب می‌دهد. - کاشت قلمه ارزانتر از کاشت نهال است.	کاشت قلمه
-گران تر از سایر گزینه‌ها.	- استقرار راحت‌تری دارند. - دوره‌ی استقرار ۶ تا ۱۰ هفته‌ای برای گیاهان ریشه دار.	کاشت نهال

بام سبز، گاهی از طریق بکار بردن تکسین‌ها و مواد شیمیایی دیگر در روی لایه‌های اصلی (۱۸) و گاهی نیز به دلیل کوچک بودن گیاهان غیر ضروری دانسته شده است (۴). مکان قرار-گیری آن نیز در منابع مختلف متفاوت عنوان شده است (شکل ۱ و جدول ۱). فیلتر پارچه‌ای که در زیر زهکش قرار می‌گیرد گاهی با هدف و اسم عایق ضد آب و گاهی ضد ریشه معرفی شده است. لاکت (۷)، اشاره می‌کند که فیلتر خاک در روی زهکش اصولاً مواد شیمیایی دارد که از رشد ریشه جلوگیری می‌کند، همچنین پلاستیک‌های حرارتی (Thermal plastic) را بین زهکش و ضد آب برای گیاهان با ریشه‌ی تهاجمی مناسب دانسته است. مواد شیمیایی می‌توانند شامل تکسین-هایی مانند محصولات تشکیل شده از مس (۱۸) مانند هیدروکسید مس (۵) و لایه‌های ضد ریشه از جنس‌هایی مانند: پلی اتیلن با چگالی پایین (LDPE<sup>۱</sup>) (هموند و جونز<sup>۲</sup> ۲۰۰۸) در (۱۱) یا مواد پلی‌پروپیلینی (PP<sup>۳</sup>) (۱۸)، پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE<sup>۴</sup>)، بتن غیرقابل نفوذ، پلی وینیل کلراید، الفین ترموپلاستیک و غشای EPDM (۵) باشند.

#### ۴-۸- مواد حفاظتی

لاکت (۷)، با بسیاری از نوشته‌ها که بام سبز را بدون نیاز به آبیاری اعلام می‌کنند شدیداً مخالف است و بیان می‌کند که گیاهان آبدوست و گیاهانی که به آب کم مقاوم‌اند وجود دارند ولی گیاهانی که در خشکی زنده بمانند وجود ندارند و باید در مناطقی که بارندگی به صورت طبیعی زیاد نیست با توجه به گیاهان کاشته شده نوع آبیاری مناسب انتخاب شود. عموماً گیاهان تا زمانی که استقرار پیدا کنند آبیاری و کوددهی می‌شوند و بعد از گذشت یک سال نگهداری شامل دو سرکشی سالانه برای حذف گیاهان هرز و بررسی ایمنی و عایق می‌باشد (۱۳). همچنین بسته به شرایط محلی استفاده از کود می‌تواند ضرورت پیدا کند. کاشت گیاهان باید متناسب با عمق محیط کشت و شرایط آب و هوایی منطقه باشد. باید توجه داشت که اگر گیاهان به آبیاری وابسته شوند تحمل کم آبی در آن‌ها کم می‌شود، پس بهتر است گیاه مقاوم تر انتخاب شده و آبیاری در صورت لزوم انجام شود (۸). همچنین آبیاری می‌تواند با افزایش تبخیر و تعرق به کاهش مصرف انرژی ساختمان کمک کند (۲۵). آبیاری می‌تواند به دو صورت مصنوعی (دستی و یا خودکار) و طبیعی (باران) انجام گیرد (۴).

#### ۴-۷- مانع ریشه

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد ممانعت از نفوذ ریشه‌ی گیاهان به لایه‌های پایین‌تر در بام سبز گسترده گاهی با استفاده از لایه‌های ضد ریشه به عنوان لایه‌ی مجزا در بین لایه‌های دیگر

1-Low Density Polyethylene

2-Hammond and Jones

3-Poly Propylene

4-High Density Poly Ethylene

#### ۴-۱۱- سیستم هشدار سلامتی گیاه

این سیستم وضعیت آب و هوا را چک و اگر دما و بارش کم‌تر از میزان تنظیمی باشد به نگه‌دارنده‌ی بام نامه‌ی الکترونیکی می‌فرستد (۷).

#### ۵- طراحی بام سبز

به طور کلی از عواملی که هنگام طراحی و اجرای یک بام سبز باید در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از: نحوه‌ی دسترسی به بام، تحمل بار بام، امنیت جانی، ارتفاع بام (متاثر روی هزینه جابجایی مواد)، باد (سرعت باد در ارتفاعات بالاتر بیشتر است، بنابراین گیاهان عمودی بلند نباید در حاشیه‌ها که سرعت باد بیشتر است قرار بگیرند و شاید نیاز به تکیه‌گاه هم داشته باشند)، و شاید نیاز به سایه‌اندازی مصنوعی و ایجاد میکروکلیمای مناسب (۷). در مجموع طراحی بام سبز اصولاً نیازمند ایجاد توازن بین خواسته‌های مالک ساختمان، میزان بودجه و در نظر گرفتن الزاماتی چون وضعیت تحمل بار بام و گونه‌های سازگار با منطقه است (۷).

#### ۶- جمع‌بندی و پیشنهادات

در این تحقیق جزئیات اجرایی بام سبز گسترده بررسی شد. برای هرکدام از لایه‌های بام سبز چند گزینه وجود دارد که برای هر منطقه‌ی جغرافیایی و حتی هر پروژه خاص باید بسته به عواملی از جمله هزینه و شرایط اقلیمی گزینه‌ی ساخت مناسب انتخاب شود. هزینه‌ی ایجاد بام سبز در کشور ما به دلیل نبودن فناوری ساخت آن بسیار بالاست و یکی از موانع گسترش بام‌های سبز است. همچنین، متأسفانه در حال حاضر هزینه‌ی بالای ساخت بام سبز الزاماً کیفیت کار را تضمین نمی‌کند. تحقیق در جهت شناسایی راه‌های کاهش هزینه‌ی تولید لایه‌ها برای بومی‌سازی این فناوری در کشور از توصیه‌های این تحقیق است. همچنین در جهت کاهش هزینه‌ی ایجاد بام سبز می‌توان فناوری ساخت لایه‌ها را به کشور وارد نمود و یا هزینه‌ی گمرک برای ورود لایه‌ها از شرکت‌های خارجی که تمایل به همکاری در این زمینه را دارند را کاهش داد. تخصیص کمک‌های دولتی و یا مشوق‌ها برای ایجاد بام سبز برای مدت زمانی محدود و

هنگام نصب لایه‌های بام سبز امکان دارد که اجسامی نوک‌تیز بر اثر بی‌احتیاطی به روی لایه‌ی عایق بام افتاده و آن را سوراخ کنند و یا حتی ضربه و فشاری برای نصب لایه‌های بالاتر در لایه‌های زیرین شکاف ایجاد کند. برای محافظت از غشاء بام در مقابل ضربه و فشارهای وارد بر آن در طول نصب بام سبز بر حسب ویژگی‌های طراحی و کاربرد آن می‌توان از موادی چون لایه‌ی نازک از بتن سبک، عایق صفحه‌ای محکم، ورقه‌ی ضخیم پلاستیکی، ورق مسی، ترکیبی از این لایه‌ها (۴؛ ۵)، پلی-استایرن فشرده‌شده و پارچه‌ها (۷) استفاده کرد. برخی سیستم‌ها لزوماً به این صفحه احتیاجی ندارند و ممکن است از لایه‌ی مانع ریشه به جای آن استفاده کنند (۴).

#### ۴-۹- مواد برای حفظ رطوبت یا آب

هدف از در نظر گرفتن این لایه در بام سبز نگهداری آب برای کنترل آب‌های جاری (تیماسک و مندر<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) در (۱۸)) و مرطوب نگه‌داشتن محیط کشت (جیم و تی‌سانگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در (۱۸)) است. امروزه در اکثر سیستم‌های بام سبز لایه‌ی زهکش وظیفه‌ی نگه‌داری آب را برعهده دارد، همچنین فیلتر خاک که اصولاً از جنس پارچه‌ی ژئوتکستایل است هر چند به مقدار کم توانایی حفظ رطوبت را دارد. بیانچینی (۱۸)، جنس لایه‌ی حفظ رطوبت را موکت مانند از پشم معدنی و یا فیبرهای پلیمری معرفی کرده و اشاره می‌کند که با توجه به نوع بام سبز و میزان بارندگی و با روی هم گذاشتن چند لایه از آن می‌توان به ضخامت مورد نظر رسید. از ذره‌های ژله‌ای کوچک (Gel packs and particles) نیز می‌توان استفاده کرد. اما ذره‌های ژله‌ای بعد از ۱۰ سال کارایی خود را از دست می‌دهند و همچنین امکان اینکه با تغییر حجم این ذرات محیط کشت جابجا شده و در ساختار بام سبز مشکل ایجاد کند (۷).

#### ۴-۱۰- آشکارساز الکترونیکی نشت آب

در زیر لایه عایق بام یا عایق رطوبتی و برای تعیین مکان دقیق نفوذ آب توسط برخی شرکت‌ها اجرا می‌شود (۱۳).

1- Teemusk and Mander

2- Jim and Tsang

- 7- Luckett, K. Green roof construction and maintenance. McGraw-Hill. 2009. P: 208
- 8- Dunnett, N., Gedge, D., Little, J., and Snodgrass, E. C. Small green roofs, Low-Tech options for greener living. Portland, London. Timber Press. 2011. P: 257
- 9- Carter, T., and Jackson, C.R. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. Landscape and Urban Planning. 2007, 80(1): 84-94.
- 10- Alexandri, E., and Jones, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment. 2008, 43(4): 480-493.
- 11- Getter, K.L., Rowe, D.B., Robertson, G.P., Cregg, B.M., and Andresen, J.A. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. Environmental Science and Technology. 2009, 43(19): 7565-7570.
- 12- Akbari, H., Pomerantz, M., and Taha, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar energy. 2001, 70(3): 295-310.
- 13- Peck, S. and M. Kuhn. Design Guidelines for Green Roofs (PDF). Canada Mortgage and Housing Corporation and the Ontario Association of Architects. 2003. P: 22
- 14- Yang, H. S., Kang, J., and Choi, M. S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. Building and Environment. 2012, 50: 44-55.
- 15- Bianchini, F., and Hewage, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof
- دریافت مالیات برای روانابها نیز می‌تواند در توسعه بیش‌تر این فناوری موثر باشد. بدیهی است کاهش هزینه‌ی ساخت با رواج استفاده از آن و کسب تجربه و استفاده از مواد محلی و کم هزینه‌تر دور از تصور نیست. در تحقیقات بعدی می‌توان اجزا و لایه‌های مورد استفاده در بام سبز متمرکز و بام سبز گسترده روی بام‌های شیب‌دار را نیز بررسی کرد. همچنین راه‌اندازی دوره‌های تخصصی و واحدهای درسی در زمینه‌ی فناوری بام سبز از دیگر پیشنهادات این تحقیق است.

## منابع

- 1- Savi, T., Boldrin, D., Marin, M., Love, V. L., Andri, S., Tretiach, M. and Nardini, A., Does shallow substrate improve water status of plants growing on green roofs? Testing the paradox in two sub-Mediterranean shrubs. Ecological Engineering. 2015. 84: 292-300.
- ۲- طاهری، م. فناوری بام سبز و دیوار اکولوژیک. ۱۳۹۴. ماهنامه زندگی سبز، ۴ و ۵: ۱۱-۱۳.
- 3- Wark, C.G, and Wark W.W. Green Roof Specifications and Standards Establishing an emerging technology. The Construction Specifier. 2003, 56(8): 1-12.
- ۴- رضویان، م، ت، غفوری پور، ا و رضویان، م. بام‌های سبز (Green Roofs). ۱۳۸۹. فصل‌نامه جغرافیایی آمایش محیط، ۱۰: ۱۳۷-۱۶۰.
- ۵- محمودی زرنندی، م، پاکاری، ن و بازآهنگ، ع. سیستم اجرایی بام سبز. ۱۳۹۰. تفکر معماری، ۲۱(۷): ۵۲-۵۸.
- 6- Yang, J., Yu, Q., and Gong, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric environment. 2008, 42(31): 7266-7273.

سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی

محیط زیست، مهر ۱۳۸۸. تهران.

- 21- Flynn, K. M. Evaluation of Green Infrastructure Practices Using Life Cycle Assessment. A thesis for the degree of Master of Science in Sustainable Engineering. 2011.
- 22- Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. 57: 740-752.
- ۲۳- محمودی زندی، م، پاکاری، ن و بهرامی، ح. ارزیابی چگونگی تاثیرگذاری بام سبز در کاهش دمای محیط. ۱۳۹۱. باغ نظر، ۹(۲۰): ۷۳-۸۲.
- 24- Young, T., Cameron, D. D., Sorrill, J., Edwards, T. and Phoenix, G.K. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014. 13(3): 507-516.
- 25- Rowe. D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*. 2011, 159(8): 2100-2110.
- materials. *Building and Environment*. 2012, 48: 57-65.
- 16- Clark, C., Adriaens, P., and Talbot, F. B. Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental science & technology*. 2008, 42(6): 2155-2161.
- 17- Colla, S. R., Willis, E., and Packer, L. Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: apidae)? *Cities and the Environment*. 2009, 2(1): 1-12.
- 18- Bianchini, F. Influence of Construction and Demolition (C&D) Waste on Green Roof Performance. A thesis for the degree of Master of Applied Science. The College of Graduate Studies (Civil Engineering). The University of British Columbia. 2012.
- 19- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., and Pressnail, K. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science and Technology*. 2006, 40(13): 4312-4316.
- ۲۰- عبدالمهی فر، م، فاتحی فر، ا، و وثوق محمودی، س. امکان‌سنجی استفاده از بام‌های سبز در شهرها.