



## بام‌های سبز گامی مؤثر در کنترل هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای اتمسفری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

کد مقاله: ۸۸۳۳۲

میترا چراغی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

ایجاد بام‌های سبز تلاشی در جهت پایدارتر ساختن شهرها، یکی از راه‌های مدرن برای مشکلات شهری و کاهش آلودگی هوا از طریق ایجاد فضای سبز می‌باشد. استفاده از فناوری معماری سبز که از تکنیک‌های پیشرفته فضای سبز است، به دلیل مزایایی چون کاهش آلودگی هوا، کاهش گرمایش جهانی، از بین رفتن جزیره حرارتی در شهر، کنترل میزان منواکسید کربن، کنترل هیدروکربن‌ها و افزایش سرانه فضای سبز است. مطالعات مختلف نشان دادند که استفاده از بام سبز نقش موثری در کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به ویژه ۱۶ ترکیب PAH گزارش شده توسط EPA دارد که در این مطالعه پس از بیان مقدماتی در زمینه هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و بام سبز به معرفی گیاهان مناسب برای بام سبز با هدف کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار، آلاینده‌های آلی، معماری سبز

۱- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی،

آلاینده‌های سمی زیست محیطی یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلودگی در اثر افزودن بیش از حد هر ماده‌ای به محیط زیست ایجاد می‌شود و منجر به از بین رفتن تنوع زیستی جهانی و اثرات جبران ناپذیری بر سلامت انسان و ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها می‌شود (Simcik and Offenber, 2006). این می‌تواند توانایی اکوسیستم‌ها را برای جذب آلاینده‌های تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی محدود کند و ظرفیت تولید آن را به خطر بیندازد (Romero, 2006). در شهرهایی با جمعیت زیاد و فضای سبز کم، آلودگی می‌تواند کیفیت زندگی ساکنان آن را کاهش دهد (Zhu et al., 2012). فعالیت‌های آنتروپوژنیک ضایعات شیمیایی زیادی را به جو ما اضافه می‌کنند، از جمله گوگرد و اکسیدهای نیتروژن، ازن، فلزات و هیدروکربن‌ها که در کلانشهرها به غلظت بالایی رسیده‌اند و منجر به بحران اکولوژیکی می‌شوند (Simcik, 1999).

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) گروه بزرگی از ترکیبات آلی دارای دو تا هفت حلقه بنزنی می‌باشد. PAHs گروه وسیعی از آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشند که ناشی از احتراق ناقص مواد آلی نظیر سوخت‌های فسیلی می‌باشد. برخی از PAHs دارای خاصیت سرطان‌زایی، جهش‌زایی و تراژونی هستند و خطر جدی برای سلامتی دارند و بدین علت نگرانی در رابطه با وجود PAHs در هوای آزاد روبه افزایش است. PAHs از هر دو منابع طبیعی و انسان‌ساخت وارد محیط می‌شوند. حضور وسیع PAHs ناشی از تولید آنها توسط تمامی انواع فرآیندهای احتراق مواد آلی است. منابع انسان‌ساخت PAHs و مشتقات آنها بسیار متفاوت بوده و شامل احتراق ناقص سوخت، پسماند، یا دیگر مواد آلی مانند تنباکو و مواد گیاهی است. آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتشفشان‌ها نیز از جمله منابع طبیعی انتشار PAHs محسوب می‌شوند. از میان PAHs، 16 ترکیب به دلیل عدم تجزیه بیولوژیکی سریع توسط میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه ایجاد سمیت و خطر در محیط زیست بیشتر مطرح بوده و بعنوان شاخص آلودگی ترکیبات PAHs می‌باشند. این ۱۶ ترکیب شامل Naphthalene (Nap)، Anthracene، Phenanthrene (Phen)، Fluorene (Flu)، Acenaphthene (Ace)، Acenaphthylene (Acy)، Anthracene (Anth)، Chrysene (Chr)، Benzo[a]Anthracene (BaA)، Pyrene (Pyr)، Fluoranthene (Flrt)، Benzo[a]Pyrene (BaP)، Benzo[k]Fluoranthene (BkF)، Bbenzo[b]Fluoranthene (BbF)، Indeno[1,2,3-cd]Pyrene (Ind) و Benzo[ghi]Perylene (BghiP)، Dibenzo[a,h]Anthracene (DBahA) می‌باشند. PAHs که بطور وسیعی در اتمسفر پراکنده شده‌اند به عنوان یکی از اولین آلاینده‌های اتمسفری با احتمال سرطان‌زایی شناخته می‌شوند. PAHs منتشره به اتمسفر قبل از ترسیب بر روی خاک، گیاهان یا آب، در فواصل بسیار طولانی از منبع انتشار منتقل می‌شوند. با افزایش وزن ملکولی، سرطان‌زایی PAHs افزایش و سمیت حاد آنها کاهش می‌یابد. سرطان‌زاترین PAHs شامل BaA، BaP، DBahA می‌باشند (Ponce de León et al., 2014).

## ۲- سرنوشت و تغییر شکل PAHs در اتمسفر

رفتار PAHs در اتمسفر وابسته به واکنش‌های پیچیده فیزیکوشیمیایی، برهم‌کنش با دیگر آلاینده‌ها، تغییر شکل‌های فتوشیمیایی و ترسیب خشک و تر می‌باشد. PAHs در هوای محیط و با توجه به شرایط اتمسفر (نظیر درجه حرارت هوا، رطوبت و سایر عوامل)، ماهیت آئروسول‌ها و مشخصه‌های PAHs در فاز گازی یا بصورت جذب شده بر روی سطح ذرات وجود دارند. بطور کلی PAHs LMW بسیار فرار بوده و عمدتاً در فاز گازی می‌باشند. اگرچه PAHs سبک‌تر دارای سمیت کمتری هستند اما آنها قادر به واکنش با دیگر آلاینده‌ها (ازن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد) جهت تشکیل دیون‌ها، نیترو و دی‌نیترو PAHs و اسیدهای سولفوریک می‌باشند که ممکن است سمیت آنها بسیار افزایش یابد. PAHs دارای چهار و بیشتر از چهار حلقه در شرایط محیطی به مقدار بسیار ناچیزی تبخیر می‌شوند. بنابراین اغلب PAHs سنگین بواسطه فشار بخار پایین‌شان در اتمسفر در فاز ذره‌ای می‌باشند. برخی از مطالعات ارتباط معنی‌داری بین مقدار PM در هوا و غلظت PAHs در فاز ذره‌ای یافته‌اند. میزان PAHs فاز گازی و ذره‌ای در هوا تابعی از درجه حرارت هوا و میزان فراریت PAHs می‌باشد. بنابراین با افزایش درجه حرارت هوا میزان PAHs فاز گازی افزایش می‌یابد (SIMAT-SMA, 2011).

## ۳- بام‌های سبز گسترده

اصطلاح بام سبز به یک سیستم سبک اطلاق می‌شود که از لایه‌های پیش‌ساخته تشکیل و با بام ساختمان یک سیستم واحد را به وجود آورده و رشد گیاهان را در محیط کشت رویشی خاصی، در تمام یا قسمت‌هایی از بام میسر می‌سازد. یک بام سبز، بامی است که مقدار با تمامی آن با پوشش گیاهی و خاک، یا با محیط کشت روینده، پوشانده می‌شود. لفظ بام سبز گهگاه برای بام‌هایی که مفاهیم معماری سبز را مد نظر قرار می‌دهند، نظیر پانل‌های خورشیدی و یا صفحات فتوولتائیک، بکار می‌رود. در

طراحی بام سبز گسترده، بخش زیادی به پوشش گیاهی غالباً چمن تعلق می‌گیرد و سازه‌هایی مانند آلاچق و مبلمان و ... وجود ندارد و تنها از ایجاد یک سطح سبز گسترده و وسیع بعد زیست محیطی آن قابل استفاده است و از لحاظ اقتصادی نیز بام‌های سیستم گسترده به علت عدم نیاز به تقویت سازه و نگهداری گیاهان ۵۰-۸۰ درصد ارزاتر از بام‌های فشرده هستند (Snodgrass and Mcin, 2010).

#### ۴- گیاهان مورد استفاده در بام سبز

گیاهان مورد استفاده در بام سبز می‌توانند از گیاهان علفی و پوشش‌های مصنوعی تا درختچه‌ها و درختان چوبی و غیر چوبی باشند. این گیاهان باید بتوانند در برابر محیط خشن و بی‌روح پشت بام در شرایط کم‌آبی، یخ‌زدگی، طوفان و غیره مقاومت کنند. نوع گیاهان انتخابی بسته به نوع آب و هوا و شرایط اقلیمی، متفاوت است. به طور کلی سه عامل مکانی، اجتماعی و اقتصادی در انتخاب گونه‌های مناسب دخیل‌اند. لازم است که گیاهان مناسب هر اقلیمی انتخاب شود، خواه شرایط آن بصورت دوره‌ای خیلی خشک، خیلی گرم، خیلی سرد یا خیلی متغیر باشد. مهمترین مسئله در بام گسترده یا بام سبز دامنه مقاومتی پوشش گیاهی آن است. چرا که شرایط خشک در بیشتر اقلیم‌ها حاکم بر این نوع بام‌ها است. گیاهان شاداب گیاهانی هستند که در بافت‌های خود به مدت طولانی آب را ذخیره می‌کنند از جمله این گیاهان سدوم و تعداد کمی از گیاهان خانواده کراکسولاسیا می‌باشند. تعداد کمی از گونه‌های سدوم مناسب برای بام سبز وجود دارد که دارای رنگ‌های مختلف و الگوهای رشد متفاوتند. در ترکیب با خزه رایج‌ترین جمعیت گیاهی بکار رفته در بام‌های گسترده می‌باشند. در نقاطی از جهان که سدوم به طور طبیعی وجود ندارد توسعه بازار بام سبز به مبارزه‌ای بین گونه‌های مقاوم متناسب با اقلیم محلی و سنت‌های بومی بدل شده است. با در نظر گرفتن این عوامل باید گونه‌هایی انتخاب شوند که:

الف) گونه‌هایی با نیاز آبی پایین: با توجه به شرایط اقلیمی کشور ما که بیش از دو سوم از مساحت کشور در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و مسئله خشک‌سالی که سال‌هاست گریبان‌گیر تقریباً تمام نقاط کشور شده است، که مقاومت در برابر خشکی یک فاکتور اصلی در انتخاب گیاه است به علاوه نیاز پایین گیاه هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد و در مصرف آب صرفه جویی میکند.

ب) گونه‌های گیاهی با طول عمر دراز: هزینه نگهداری رابطه‌ی مستقیمی با طول عمر گیاه دارد. گیاهان با طول عمر کم هزینه‌ی نگهداری و تعویض پوشش گیاهی را افزایش می‌دهد. به همین سبب انتخاب گونه‌های گیاهی گران‌تر با طول عمر بالاتر نسبت به گیاهان ارزان با طول عمر کم ارجحیت دارد.

ج) گیاهان با توقع پایین: هرچه گیاه کم‌توقع‌تر باشد و با اقلیم منطقه سازگارتر باشد بازدهی بام سبز افزایش می‌یابد. به همین دلیل انتخاب گونه‌های بومی منطقه به دلیل سازگاری بالا با محیط و نیاز کم به نگهداری، آبیاری، کوددهی و هرس در اولویت قرار دارند.

چهار گروه اصلی گیاهان مورد استفاده در بام سبز عبارتند از:

۱- گروه اول گیاهان پوششی؛ گیاهانی که به دلیل خزنه بودن، سطح خاک را میتوان به کمک آن‌ها پوشش داد. این گیاهان رشد سریعی داشته و ارتفاع زیادی ندارند. موجب زیبایی فضای سبزتان خواهند شد. این گونه‌های گیاهی در رنگ‌ها و گونه‌های متنوعی موجود هستند و به آسانی با شرایط جوی و محیطی سازگار می‌شوند. به این ترتیب مراقبت و نگهداری از آن‌ها کاهش می‌یابد. از این گیاهان جهت پوشش خاک، فضای بین مناطق چمن‌کاری و یا گلکاری شده استفاده می‌شود. مثال: (ژاپنی، یال اسبی، لیزوماکیا)

۲- گروه دوم/ گیاهان بالا رونده/ رونده / پیچ: از این گیاهان معمولاً برای طرای و تزئین بالکن و لبه بام و دیوار استفاده می‌شود. این گیاه به صورت معلق در لبه بام سبز یا پوشش دیوار کاشته شده و قادر است فضای مورد نظر را با برگ‌های خود به خوبی پوشش دهد. این گیاه به صورت طولی رشد کرده و نه تنها مناسب بام سبز بوده بلکه برای داشتن دیوارسبز نیز میتوان از آن استفاده کرد. سرعت رشد این گیاهان بالا بوده و میتوان مسیری برای رشد این نوع گیاهان انتخاب کرد تا آنها در همان مسیر مشخص شده رشد کنند. گیاهان رونده معمولاً با هر شرایطی کنار می‌آیند. مثال: (شیرخشت، پیچ‌گلیسین، پیچ‌امین‌الدوله، انواع پیچ)

۳- گروه سوم / گیاهان سوزنی‌برگ: بهترین گزینه برای بام سبز گیاهان همیشه سبز سوزنی‌برگ هستند. این گیاهان به راحتی با شرایط موجود سازگار شده و مقاومت بالایی دارند. گیاهان سوزنی‌برگ رشد خوبی دارند، در تمام طول سال سبز هستند. با زنده نگه داشتن فضای بام، طراوت و زیبایی خاصی به بام سبز می‌بخشد. مثال ( کامیس پاریس )

۴- گروه چهارم / گل و گیاه معطر و خوشبو: گونه‌ای از گیاهان که با کاشتن آنها میتوان یک محیط عالی برای استراحت و پرورش گیاهان در بام سبز ایجاد کرد. محیط بام سبز را خوشبو و عطرآگین نمود. نمونه‌های متنوعی که هر کدام دارای عطر خاص خود هستند. گونه‌ای از آن‌ها وجود دارد که نه تنها بوی خوش دارند بلکه رونده بوده و به صورت پیچکی رشد می‌کنند.

بسیاری از گیاهان معطر در مکان های خشک و صخره ای رشد می کنند برای بام سبز بسیار مناسب است. مثال (آویشن باغی و پونه کوهی) در جدول ۱ به برخی از گیاهان مورد استفاده در بام های سبز اشاره شده است.

## ۵- بام سبز مناسب برای کاهش هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای

پوشش های گیاهی به چندین روش، آلودگی را از بین می برد: گیاهان، آلاینده های گازی را از طریق روزنه های خود جذب می کنند، گیاهان مواد شیمیایی خطرناک در هوا را از طریق حفره های نازک بر روی برگ ها جذب می کنند. ریشه و باکتری موجود در خاک نیز در حذف مواد سمی دخالت دارند، و قادر به شکستن اجزای ارگانیک خاص مثل هیدروکربن معطر در بافت گیاه و یا در خاک. علاوه بر این پوشش گیاهی بام های سبز به صورت غیرمستقیم آلاینده های هوا را کاهش می دهند زیرا با خنک کردن هوا و پایین آوردن دمای اطراف پشت بام و انتقال هوای خنک و وجود سایه درختان، گیاهان طی فرآیند فتوسنتز کربن با جذب دی اکسید کربن و تبدیل آن به اکسیژن بطور طبیعی کربن اضافی هوا را جذب می کنند. همچنین طی فرآیند فتوسنتز، برگ درختان سایر مواد شیمیایی مانند اکسیدهای نیتروژن، آمونیم تولید شده در هوا، بخشی از دی اکسید گوگرد و ازن که مولد قسمتی از مشکلات مه آلودگی و اثرات گلخانه ای هستند را از محیط خارج می کند. برگ درختان با جذب و حفظ گرد و غبار و سایر ذرات معلق هوا تا زمان شست و شو و بارندگی مقدار گرد و غبار و سایر ذرات معلق هوا را تا ۷۵ درصد کاهش داده و تأثیر به سزایی بر بهبود کیفیت هوا دارد. از میان گونه های گیاهی معرفی شده در جدول ۱، شبدر، رزماری و شمشاد نقش مؤثری در کاهش هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای دارند.

جدول ۱- گیاهان مورد استفاده در بام سبز

ردیف	نام علمی	نام فارسی	اقلیم	نیاز آبی	سیستم مناسب
۱	<i>Actinidia</i>	کیوی	نیمه گرمسیری	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۲	<i>Trifoliata</i>	شبدر	گرم و مرطوب	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۳	<i>Rosmarinus</i>	رزماری	نیمه خشک	کم	گسترده
۴	<i>Compsis</i>	پیچ اناری	گرم	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۵	<i>Celastrus</i>	شمشاد	تمام اقلیم ها	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۶	<i>Clematis</i>	پیچ کلیماتیس	معتدل و خنک	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۷	<i>Cotoneaster</i>	شیرخشت	معتدل و خنک	متوسط	متمرکز/ ترکیبی
۸	<i>Fortuynia</i>	شب بو	گرم و مرطوب	کم	گسترده
۹	<i>Hedra</i>	پاپیتال	معتدل	متوسط	گسترده
۱۰	<i>Homulus</i>	رازک	گرم و خشک	متوسط	گسترده
۱۱	<i>Lonicera</i>	پیچ امین الدوله	گرم	کم	متمرکز/ ترکیبی
۱۲	<i>Parthenocissus</i>	موجسب	نیمه خشک	کم	متمرکز/ ترکیبی
۱۳	<i>Vitisberlandieri</i>	انگور	مدیترانه	کم	متمرکز/ ترکیبی
۱۴	<i>Polygonum auberti</i>	پیچ برفی	سرد و خشک	کم	متمرکز/ ترکیبی
۱۵	<i>Wisteria</i>	گلیسین	معتدل	کم	متمرکز/ ترکیبی

## ۶- نتیجه گیری

بام سبز یکی از رویکردهای نوین معماری و شهرسازی و برخاسته از مفاهیم توسعه پایدار است که از آن می توان در جهت افزایش سرانه فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط زیست و توسعه پایدار شهری بهره برد. بام سبز شامل مجموعه ای بهم پیوسته از پوشش گیاهی با رشد متناسب و یک عایق ضد آب نفوذ ناپذیر است که سقف را پوشش می دهد. نقش عمده بام سبز در مدیریت آب های ناشی از بارندگی، بازیافت آب، کاهش اثر گازهای گلخانه ای، تنوع زیست محیطی در موجودات زنده شهری، گیاهان و جانوران، محافظت از پوسته زمین، جلوگیری از تابش اشعه فرابنفش به ساختمان، بهبود و تلطیف هوا، کاهش دما، معتدل نمودن هوای گرم، جلوگیری از آتش سوزی ساختمان ها، کاهش نفوذ تابش الکترومغناطیس، بهبود کیفیت اقلیمی، ایجاد تهویه مطبوع در شهر، ایجاد چشم اندازهای زیبای شهری، مطبوعیت و مطلوبیت فضاهای شهری، پاکیزگی و کاهش آلودگی هوا، ذخیره انرژی،

کاهش آلودگی صوتی کاهش هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعویض سقف ساختمان است. علاوه بر این‌ها در مطالعات انجام شده، نقش بام سبز در کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای به ویژه ۱۶ ترکیب PAH گزارش شده توسط EPA تایید شده است که در این میان، گونه های شبدر، رزماری و شمشاد نقش مؤثری در کاهش هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای دارند.

## منابع

1. Simcik, M. F. and J. H. Offenberg. "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Great Lakes." *Environ. Chem.* 5, (2006): 307–353.
2. Romero, L. P. *Cambio Ambiental Global: Nuevos Desafíos a Viejos Problemas?* Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (2006).
3. Zhu, T., M. Melamed, D. Parrish, M. Gauss, L. Gallardo, M. Lawrence, A. Konare, and C. Liousse. *Impacts of Megacities on Air Pollution and Climate*. GAW Report No. 205. (Switzerland: World Meteorological Organization, 2012).
4. Simcik, M. F., J. Steven, J. Eisenreich, and P. J. Lioy. "Source Apportionment and Source/Sink Relationships of PAHs in the Coastal Atmosphere of Chicago and Lake Michigan." *Atmosph. Env.* 33, (1999): 5071–5079.
5. Ponce de León, C., R. Huerta, I. Sommer, F. Rojo, M. Moya, M. Hernández, and I. Rosas. "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Rainwater Collected in a Tropical Polluted Urban Area." *Polycycl. Aromat. Comp.* 34, (2014): 69–88.
6. SIMAT-SMA. *Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Secretaria del Medio Ambiente*. (México DF:SIMAT-SMA, 2011).
7. Snodgrass, E.C., McIntyre, L., 2010. *The Green Roof Manual*. Timber Press, Portland, OR.
8. Spolek, C., 2008. *Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon*.

