Archive of SID



# ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم‌وخشک ایران

اسماعیل ضرغامی[۱] و الهه ادیبی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۹

**چکیده:** روند توسعه پایدار در ساختمان نیاز به سیستم‌های کارآمدی را که منجر به بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان می‌شود، افزایش داده است. سیستم بام سبز گسترده یکی از روش‌های مطلوب صرفه‌جویی در مصرف انرژی است که، بشر را از منافع زیست‌محیطی و زیبایی شناسانه نیز بهره‌مند می‌گرداند. این مقاله به منظور ارزیابی رفتار حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم‌وخشک ایران، انجام گرفته است. روش تحقیق در این مقاله از نوع کمی بوده، همچنین از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی برای تکمیل مطالب، بهره‌گیری شده است. ابتدا با استفاده از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی (دیزاین بیلدر) تأثیر عواملی از جمله ارتفاع گیاه، شاخص مساحت برگ و ارتفاع بستر گیاه برای محاسبه مصرف انرژی سالیانه در یک ساختمان مسکونی متداول در اقلیم گرم‌وخشک مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته، سپس با ارزیابی بهینه‌ترین راهبردها در سه عامل مذکور، مقدار بهینه سازی مصرف انرژی با بهره‌گیری از بام سبز اندازه گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که چنان‌چه گیاه دارای ارتفاع کمتر، لایه بستر کشت عمیق‌تر و شاخص مساحت برگ بیشتر باشد، ساختمان در بهره‌وری مصرف انرژی، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. همچنین، با ارزیابی راهبردهای مذکور در این ساختمان مسکونی، تا حدود ۸/۵۴٪ در مصرف انرژی سالیانه آن صرفه‌جویی به عمل آمده است. بام سبز گسترده، یک راهکار عملی و پایدار در بهره‌وری انرژی در اقلیم گرم‌وخشک محسوب می‌شود و می‌توان با بررسی سازوکارهای بهینه سازی کاربرد آن، در این اقلیم از منافع متعدد آن بهره‌مند گردید.

**واژگان کلیدی:** اقلیم گرم‌وخشک، بام سبز، بهینه سازی مصرف انرژی، معماری.

۱ دانشیار، معماری، معماری و شهرسازی، تربیت دبیر شهید رجایی تهران، تهران، ایران.

**۲ دانشجوی کارشناسی ارشد** معماری، معماری و شهرسازی، تربیت دبیر شهید رجایی تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: eng.elaheh.adibi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID



## ۱- مقدمه

از دهه ۱۹۸۰ به بعد، توسعه پایدار به عنوان مفهوم اصلی و بنیادی در راهبرد جهانی سازمان ملل و در گزارش برانتلند قرار گرفت. گزارش خانم برانت لند (۱۹۸۳)، توسعه پایدار را «توسعه‌ای که نیازهای نسل حاضر را بدون به خطر انداختن توانایی‌های آینده، برای برآوردن نیازهای خودشان» تعریف می‌کند (فرهودی و همکاران، ۱۳۹۰، به نقل از برانت لند). توسعه پایدار، سه حوزه اصلی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد (نسترن و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از مباحثی که توسعه پایدار در آن ایده‌های نوینی را جهت نیل به مقصود مطرح کرده، معماری پایدار است. بر اساس طرح OECD (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی) بناهای پایدار، بناهایی تلقی می‌شوند که کمترین تأثیرات مخرب را بر محیط‌های ساخته شده (مصنوع) و طبیعی مجاور و بلافصل خود و نیز ناحیه اطرافشان و همچنین زمینه کلی خود داشته باشند. ساختمان‌های پایدار، به تمام چرخه حیات ساختمان، محیط با کیفیت، کارکرد مطلوب و آینده توجه می‌کند (زندیه و همکاران، ۱۳۸۹). جمعیت رو به رشد انسان‌ها، نیازمند ساخت‌وساز و تأمین انرژی بیشتر است. منابع محدود سوخت‌های فسیلی، نگرانی نسبت به مسائل زیست‌محیطی، مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت هوای شهری و نیاز به محدود کردن مصرف انرژی ساختمان‌ها محققان را بر آن داشت که، به بررسی راه حل‌هایی بپردازند که نه تنها به ذخیره انرژی بلکه به زیبایی‌شناسی و حفظ محیط زیست نیز کمک می‌نماید. در میان این راه حل‌ها، بام‌های سبز به عنوان سیستم‌های پایداری که مزایای زیست‌محیطی، زیبایی شناسانه و نیز بهینه سازی مصرف انرژی را فراهم می‌آورند، مطرح شد. کاربرد بام سبز در ساختمان مزایای بی‌شماری، از جمله حفظ منابع انرژی، ارتقاء کیفیت محیط و کاهش بار فاضلابی ساختمان دارد، که در جدول (۱) به برخی از آنها اشاره شده است.

**جدول ۱- مزایای بهره‌گیری از بام سبز در ساختمان**

| ردیف | مزیت | منبع |
|---|---|---|
| ۱ | کاهش جزیره گرمایی | ( Pauleit, Ennos, and Golding, 2005; Gill et al, 2007; Bradley, 2010 ) |
| ۲ | محافظت در مقابل جذب بیش از اندازه خورشید و تبخیر و تعرق در سرما- خنک کنندگی متقابل | ( Cameron, Taylor, and Emmett, 2014; Perini et al, 2011 ) |
| ۳ | کاهش سرمای زمستانی | ( Kohler, 2008 ) |
| ۵ | کاهش مصرف کربن برای گرمایش | ( Jo and McPherson, 2001 ) |
| ۶ | زیستگاه جانداران شهری | ( Tilley et al, 2014 ) |
| ۷ | توقف شتاب و کاهش زه آب | ( Viles, Sternberg, and Cathersides, 2011 ) |
| ۸ | غربال گری ذرات معلق هوایی و بهبود کیفیت هوا | ( Perini and Magliocco, 2012 ) |
| ۹ | بهبود زیبایی شناسی منظر شهری | ( Loh, 2008 ) |
| ۱۰ | افزایش سرانهٔ فضای سبز، ارتقای کیفیت محیط زیست | ( Banting, Doshi, and Missios, 2005 ) |
| ۱۱ | کاهش آلودگی صوتی | ( Bradley, 2010 ) |
| ۱۲ | افزایش عمر بام | ( Jusuf and Wong, 2007 ) |
| ۱۳ | کشت و پرورش محصولات کشاورزی | ( خالدی، ۱۳۹۱ ) |
| ۱۴ | کاهش بار سیستم های مجاری فاضلاب | ( Berndtsson, Bengtsson, and Jinno, 2009 ) |
| ۱۵ | حفظ تعادل اکولوژیک | ( رائو، ۱۳۸۵ ) |
| ۱۶ | تنوع زیستی - حفظ منابع انرژی | ( Luckeet, 2009) |
| ۱۷ | کاهش تلفات | ( Rudofsky, 1964) |
| ۱۸ | رفاه اجتماعی و بهبود سطح زندگی | ( Luckeet, 2009 ) |
| ۱۹ | تعاملات اجتماعی | ( طوفان، ۱۳۸۶ ) |
| ۲۰ | بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و کاهش مصرف انرژی سالانه | ( Jaffal, Ouldboukhitine, and Belarbi 2012; Castleton et al. 2010; Fioretti et al. 2010; Keshtkar and Ansari 2009; Santamouris et al. 2007 ; Eumorfopoulou and Aravantinos 1998; Lazzarin, Castellotti, and Busato 2005) |

www.SID.ir

Archive of SID



**۱-۱- اهداف پژوهش**

این تحقیق به بررسی تأثیر کاربرد بام سبز در شهر کویری سمنان، می‌پردازد. مطالعات اندکی بر روی تأثیر ویژگی‌های بام سبز (عمق بستر، ارتفاع گیاه، شاخص مساحت برگ گیاه، عمر بام، اندازه و ارتفاع آن) در آب‌وهوای گرم‌وخشک انجام شده است. بیشتر مطالعاتی که در این زمینه انجام شده، در شرایط آب‌وهوای معتدل اروپایی صورت گرفته که به طور قطع، نتایج حاصله بسیار متفاوت با شرایط آب‌وهوای گرم‌وخشک ایران است. بدین ترتیب اهداف پژوهش حاضر را می توان به شرح ذیل بیان نمود:

بررسی تأثیر عوامل مؤثر در عملکرد حرارتی بام سبز از جمله ارتفاع گیاه، ارتفاع بستر گیاه و شاخص مساحت برگ گیاه، بر میزان مصرف انرژی سالانه. و بررسی میزان پایداری و بهره‌وری استفاده از بام سبز در آب‌وهوای گرم‌وخشک ایران.

در ادامه به این سؤالات پاسخ داده می‌شود که، آیا بام سبز می‌تواند به عنوان یک راهبرد معمارانه، پاسخ‌گوی صرفه‌جویی در مصرف انرژی آب‌وهوای گرم‌وخشک ایران باشد یا خیر؟ و این راهبرد تا چه اندازه قابلیت بهره‌وری در این اقلیم را داراست؟ آیا تغییر در میزان بهره‌گیری از عوامل یاد شده در هدف اول، بر کارایی حرارتی این نوع بام تأثیرگذار است؟

**۲-۱- نقش حرارتی بام سبز**

عملکرد حرارتی بام سبز بستگی به آب‌وهوای محلی دارد، زیرا مشخصات مصالح بام سبز بسیار وابسته به شرایط محیط بیرونی است (Theodosiou, 2003 ; Zhao et al, 2014). مطالعات تحقیقات پیشین نشان داده است که یک بام سبز که با گیاهان پوشانده شده، عملکرد حرارتی متفاوتی از بام بدون گیاه دارد. این تفاوت‌ها با توجه به سایه گیاهان، تعرق و حفاظ بادی به وجود می‌آید (Tabares and Srebric, 2012). از نقطه نظر انرژی، بام‌های سبز قادر به کاهش بیشینه دما در سطح بام، متوقف کردن نوسان دما و ذخیره انرژی در ساختمان‌هاست. همچنین اثرات ترکیبی تبخیر و تعرق و سایه اندازی گیاه را در تابستان و عایق‌بندی اضافی (به واسطه لایه خاکی) را در زمستان فراهم می‌کند (Castleton et al, 2010).

گتر و همکارانش در پژوهشی دریافتند که، بام سبز می‌تواند سبب کاهش دمای ۵ درجه سانتیگرادی در پاییز، با تغییرات مشابه در بهار شود. مهم‌ترین یافته آنها این بود که، اختلاف دما بین بام ماسه‌ای و بام سبز در تابستان یک افزایش ۲۰ درجه سانتیگرادی را نشان می‌داد (Getter et al, 2011). از عوامل کلیدی در عملکرد سیستم‌های گیاهی، نقش تبخیر و تعرق گیاهان است. یک بام سبز مرطوب، حرارت بیشتری را از طریق تبخیر و تعرق نسبت به یک بام سبز خشک از دست می‌دهد. کاستلتون و همکاران (Castleton et al, 2010) و فنگ و همکاران (Feng, Meng, and Zhang, 2010) نشان داده‌اند که، وقتی واسط، یعنی همان لایه بستر کشت گیاه، همیشه اشباع از آب است، تبخیر و تعرق گیاهان و سیستم خاکی، ۵۸/۴٪ از حرارت خورشیدی را به خود اختصاص می‌دهد. مطالعه لازارین و همکاران (Lazzarin, Castellotti, and Busato, 2005) نشان داده است که، گرمای از دست رفته از طریق تبخیر و تعرق برای یک بام سبز خشک، کمتر از نیمی از یک بام سبز مرطوب است. آنها همچنین محاسبه کرده‌اند که مقدار تبخیر و تعرق برای آب‌وهواهای مختلف متفاوت است.

در شبیه سازی، راهبردهای مختلفی وجود دارد که عملکرد نهایی انرژی یک بام سبز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله این راهبردها، می‌توان به شاخصه‌های عایق‌کاری ساختمان، منطقه آب‌وهوایی، نوع گیاه (شاخص مساحت برگ، مقاومت روزنه‌ای، ارتفاع و پوشش) (Palomo, 1998 ,Kumar and Kaushik, 2005, Sailor, 2008)، واسط رشد (مقدار ضخامت، ترکیب، تراکم، رطوبت) (Sailor, 2008 Sailor and Hagos, 2011,) و مشخصات لایه زه‌کشی (Saadatian et al, 2013, ) اشاره کرد.

**۳-۱- انواع بام سبز**

مطالعات متعددی در رشته‌های مختلف راجع به انواع بام‌های سبز، در طول بیست سال گذشته انجام شده است. برخی نویسندگان، این سیستم‌ها را به دو دسته ((گسترده)) و ((متمرکز)) تقسیم کرده‌اند (Getter and Rowe, 2006 ; Wong, Tan, and Chen, 2007 Jim and Tsang, 2011, Oberndorfer et al, 2007). در حالی‌که عده‌ای دیگر یک دسته میانی T با نام بام سبز ((نیمه فشرده)) معرفی نموده‌اند، که ترکیبی از گسترده و فشرده است (Raji, Tenpierik, and Dobbelteen, 2015). بام سبز گسترده تنها شامل یک یا دو نوع گیاه

www.SID.ir

Archive of SID



و محیط کاشت کم عمق است، در حالی‌که سیستم متمرکز که با نام باغ‌بام نیز شناخته می‌شود و شامل انواع مختلفی از گیاهان و مشابه یک پارک طراحی می‌شود. در این تحقیق، از بام‌های سبز گسترده جهت ارزیابی عملکرد آن در اقلیم گرم‌وخشک استفاده شده است.

بام‌های سبز گسترده با حداقل نیازمندی به تعمیر و نگهداری (۲-۱ بار در سال) و انتخاب گیاهان با توجه به ویژگی نیازمندی به نگهداری اندک و خودرو بودن انجام می‌شود (Hien, Puay, and Yu, 2007 ). برخی مزایای بام سبز گسترده عبارت از: فاقد تقویت سازه‌ای اضافی، سرمایه‌گذاری کمتر در واسط رشد و گیاه و تعمیر و نگهداری کمتر است (Jim and Tsang 2011). باید توجه کرد که بام‌های سبز گسترده، گزینه بهتری برای استفاده در بام ساختمان‌هایی است، که نمی‌توانند بارهای غیر منتظره را تحمل کنند (Castleton et al, 2010). همچنین، استفاده از پوشش گیاهی، با ظرفیت بالای نگهداری آب در این نوع از ساختمان‌ها، بسیار مطلوب‌تر است. باید به این نکته توجه داشت که انتخاب بهترین نوع پوشش گیاهی و لایه‌های مناسب خاک، بستگی به متغیرهای بسیاری از جمله آب‌وهوا دارد (Jaffal, Ouldboukhitine, and Belarbi 2012). به‌طور کلی، بام‌های سبز گسترده، بسترهای کم عمقی (<mm200) دارند که اضافه وزن بیش از اندازه را برای سازه‌های با سقف معمولی، نشان نمی‌دهد( ۷۰-۱۷۰ kg / m۲ ) ( Oberndorfer et al, 2007).

**۴-۱- پیشینه پژوهش**

ابریک و همکارانش، در تحقیقی عمق بستر، سن بام، شکل و ارتفاع پوشش گیاهی را در بام‌های سبز مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها ۵۱ بام سبز را در منطقه‌ای شهری، در هلسینکی در سال ۲۰۱۱ ارزیابی کرده‌اند. آنها نشان داده‌اند که عمق بستر و سن بام، بر ساختار پوشش گیاهی بام سبز، غالب هستند. بسترهای کم عمق‌تر و سقف‌های جوان‌تر، نگهدار گل‌های ناز و خزه‌ها بود، در حالی‌که بسترهای عمیق‌تر و سقف‌های قدیمی‌تر، پوشش‌های علف‌زاری را نیز پشتیبانی می‌کردند ( Gabrych, Kotze, and Lehvavirta, 2016).

یعقوبیان و سربریک با استفاده از مدل‌های ساختمانی مرجع دپارتمان انرژی ایالات متحده آمریکا، سی مورد مختلف ساختمانی را با توجه به پوشش‌های گیاهی مختلف، نوع ساختمان و سن ساختمان برای دو آب‌وهوای متفاوت، شبیه سازی کرده‌اند. هدف آنها در این تحقیق، نمایش اهمیت پوشش گیاهی در شبیه سازی بام سبز و پیش‌بینی تقاضای انرژی ساختمان بوده است. نتایج نشان می‌دهد که دمای سطح بستر بام سبز، با افزایش پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. این کاهش دما به علت کاهش مقدار جذب تابش خورشیدی روی سطح بستر و نیز افزایش فرایند تبخیر از روی آن است (Yaghoobian and Srebric, 2015).

بویلاکوا و همکارانش به بررسی عملکرد حرارتی ۲۰۰۰ متر مربع سیستم بام سبز گسترده، واقع در شهر لیدا (اسپانیا)، که به عنوان آب‌وهوای قاره‌ای مدیترانه‌ای خشک دسته‌بندی شده است، پرداخته‌اند. این مطالعه اهمیت عامل فضا و زمان (گذرا بودن) را در بام‌های سبز فشرده نشان می‌دهد، که می‌تواند به تغییراتی روی عملکرد حرارتی و همچنین ترکیب فلورستیکی منجر شود. آنها ابتدا نوع پوشش گیاهی و ترکیب فلورستیکی آن را جهت بررسی پویایی لایه گیاهی روی سطح بام مورد آزمایش قرار دادند. سپس با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل گیاهی، مطالعه‌ای را بر روی لایه بستر گیاه، تأثیر تبخیر و تعرق و رفتارهای مختلف سیستم بام را در فصل تابستان و زمستان انجام داده‌اند. مطالعه رفتار حرارتی نشان داده است که، افزایش پوشش گیاهی از ۱۰٪ در سال ۲۰۱۰ به ۸۰٪ در سال ۲۰۱۲ پیشرفت چشم‌گیری را به لحاظ عملکرد انرژی نشان نمی‌دهد. در حالی‌که کمبود رطوبت در لایه بستر در اثر سرمایشی تبخیر و تعرق لایه ایجاد مشکل می‌نماید (Bevilacqua et al, 2015).

کوما و همکاران ارزیابی و توسعه رفتار حرارتی و پایداری و مصرف انرژی را در بام‌های سبز گسترده با مدل سازی سه اتاقک یکسان با سیستم‌های سقف متفاوت در آب‌وهوای مدیترانه‌ای اسپانیا، مورد بررسی قرار داده‌اند. تنها تفاوت این سه اتاقک در سیستم ساخت‌وساز سقف است. سقف یک اتاقک دارای مصالح معمول منطقه به عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. در حالی‌که در دو اتاقک دیگر، لایه عایق، توسط یک بام سبز گسترده به ضخامت ۹cm (شامل خرده لاستیک بازیافتی و پوزولان به عنوان لایه زهکش) جایگزین شده است. دو اتاقک دارای بام سبز مصرف انرژی کمتری (به ترتیب ۱۶/۷٪

www.SID.ir

Archive of SID



و۲/۲٪) را از حالت پایه در دوره گرما نشان می‌دهد، در حالی‌که در هر دو سیستم مصرف انرژی بیشتری (به ترتیب ۶/۱٪ و ۱۱/۱٪) را از حالت پایه در طول دوره سرما دیده می‌شود (Coma, 2016).

رفاهی و تلخابی اثر بام سبز در دمای داخلی ساختمان و روی مصرف انرژی را با استفاده از عوامل شاخص سطح برگ و عمق لایه خاک در سه اقلیم ایران مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بام سبز در آب‌وهوای گرم‌ومرطوب بندرعباس، گرم‌وخشک اصفهان و سردوخشک تبریز، منجر به کاهش ۸/۵، ۹/۲ و ۶/۶ درصدی مصرف انرژی می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که طی بررسی‌هایی که در این تحقیق، روی آب‌وهوای گرم‌وخشک شهر اصفهان انجام شده است، شاخص مساحت برگ ۵ cmو ارتفاع خاک ۱۰cm بهینه ترین گزینه‌ها در مصرف مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه برای کاربرد بام سبز در این اقلیم، انتخاب شده‌است (Refahi and Talkhabi, 2015).

- لو و همکارانش به این نتیجه رسیده‌اند که اثر متقابل بین دسترسی به آب، عمق بستر و لایه ذخیره آب بسیار مهم است (Lu et al, 2015). همچنین مادری و همکارانش، اثر ارتفاع بام سبز، مساحت سطح، سن و عمق بستر را روی تنوع پوشش گیاهی با استفاده از راهنمای شانون به عنوان یک شاخص، مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که، تنها عامل مهم، عمق بستر است. با این حال، تحلیل‌ها اشاره می‌کند به اینکه همچنین ارتفاع بام، سن، مساحت سطح و نگهداری، نقش مهمی را در تعریف طبقه‌بندی گیاهی یا تنوع عملکردی ایفا می‌نماید (Madre et al, 2014).

نکتاریوس و همکارانش، در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که رشد فیزیولوژیکی گیاه سدوم، سیستم بام سبز گسترده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آنها دریافتند که بسترهای عمیق‌تر از ۱۵cm، برای رشد و تحمل شرایط سخت خشک‌سالی سودمند هستند. با این حال، گیاه سدوم می‌تواند به راحتی، بستر کم‌عمق ۷/۵cm را بدون به خطر افتادن رشد پایدارش توسط حفظ عملکرد فیزیولوژیکی تحت تنش شدید حفظ کند (Nektarios et al, 2015). با این حال براون و لاندهولم، در تحقیقی تغییرات جامعه گیاهی را روی بام سبز یک ساختمان طی پنج سال مداوم مقایسه کرده‌اند. آنها رابطه بین عمق بستر و دمای آن را جهت بررسی تأثیر خرداقلیم روی تنوع گیاهی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که خرداقلیم، بر روی روش طراحی بام سبز و عملکرد پوشش گیاهی آن بسیار مؤثر بوده است (Brown and Lundholm, 2015). مولینکس و همکارانش نیز در تحقیقی، تأثیر خاک بازیافتی لایه بستر را بر روی تنوع پوشش گیاهی بام سبز مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که عمق مؤثر، برای تنوع پوشش گیاهی متفاوت است. هچنین، با افزایش عمق بسترهای فقیرتر، می‌توان تنوع زیستی را بیشتر کرد، که اگر دارای عمق ۵/cm۵ باشد، چندان موفق نخواهد بود (Molineux et al, 2015).

تی ماسک و ماندر در استونی، نشان داده‌اند که یک لایه بستر ۱۰۰ میلی‌متری بام سبز می‌تواند نوسانات دمایی را در دوره‌های تابستانی به طور قابل توجهی کاهش دهد (Teemusk and Mander, 2009). در همین رابطه جافال و همکارانش یک مدل حرارتی بام سبز را به یک ساختمان نسبت داده‌اند و شبیه سازی‌هایی را برای این خانه تک خانواری با سقف معمولی و سقف سبز در سه آب‌وهوای مختلف انجام داده‌اند. در نهایت، بهره‌گیری از بام سبز، تقاضای انرژی کل را در هر سه آب‌وهوای مورد مطالعه کاهش داده است. کاهش ۳۲٪ برای آب‌وهوای مدیترانه‌ای آتن، ۶٪ برای آب‌وهوای معتدل لاروشل و ۸٪ برای آب‌وهوای سرد استکهلم مشاهده شده است (Jaffal, Ouldboukhitine, and Belarbi, 2012).

گاسوس و همکارانش مطالعه‌ای بر اساس محاسبات حرارتی و شبیه سازی رایانه‌ای برای نمایش مزایای حرارتی بام سبز بر روی صرفه‌جویی انرژی انجام داده‌اند که نشان می‌دهد فناوری بام سبز، رویکردی جهت افزایش بهره‌وری انرژی سالانه به شمار می‌رود (Goussous, Siam, and Alzoubi, 2014). دیوال و هیسلر پیشنهاد می‌دهند که پوشش گیاهی می‌تواند، نفوذ هوای سرد را به پوشش ساختمان تا ۴۰٪ کاهش دهد (Dewalle and Heisler, 1980). در ادامه، هیسلر نوعی مدل سازی کمربند حفاظتی طراحی شده کاشت را، پیش‌بینی کرده است که می‌تواند به ذخیره انرژی گرمایی ۲۵-۱۰٪ منجر شود (Heisler, 1991).

## ۲- روش تحقیق

در این مقاله، یک ساختمان مسکونی در یکی از شهرهای

www.SID.ir

Archive of SID



کویری ایران انتخاب شد و در دو حالت اول (بدون بام سبز) و حالت دوم (با بهره گیری از بام سبز) مورد شبیه سازی انرژی قرار گرفته است. برای محاسبه میزان مصرف انرژی گرمایش و سرمایش سالیانه از روش شبیه سازی رایانه‌ای بهره‌گیری شده است. برنامه شبیه ساز انرژی در این مقاله، نرم‌افزار دیزاین بیلدر است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته است و قابلیت مدل‌سازی همه جنبه‌های ساختمان را دارد. به جز مدل‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌نماید. این نرم‌افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز را دارد. نرم‌افزار مدل‌سازی دیزاین بیلدر با استفاده از فایل اقلیمی شهرهای مختلف ایران، محاسبات دریافت و اتلاف و مصرف انرژی را دقیقا بر اساس شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان انجام می‌دهد. همچنین بار سرمایشی و گرمایشی را بر اساس استاندارد اشری (ASHRAE)، با استفاده از موازنه حرارتی که در انرژی پلاس مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه می‌نماید (www.enef.co). تمامی متغیرهای پیش‌فرض از جمله مصالح دیوارها و پنجره‌ها، تعداد نفرات، سیستم سرمایش و گرمایش و ... برای تمامی موارد توسط این نرم‌افزار به مدل داده شده است. همچنین برای کاهش تأثیر سایر عوامل در روند تحلیل، همه شرایط استفاده از ساختمان و ضرایب انتقال حرارتی اجزای پوسته آنها ثابت بوده است تا شرایط یکسانی برای تحلیل انرژی فراهم شود. باید به این امر توجه کرد که بعضی از عوامل، شاید بتواند نیاز به مصرف انرژی گرمایشی را کاهش دهد، اما منجر به افزایش نیاز به انرژی سرمایشی می‌گردد. در هر صورت راه‌کار بهینه، زمانی خواهد بود که هر دو بار گرمایشی و سرمایشی کاهش یابد. مراحل شبیه سازی تحقیق به شرح زیر است:

بررسی تأثیر ارتفاع گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

بررسی تأثیر شاخص مساحت برگ گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

بررسی تأثیر ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

بررسی میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه در دو حالت پایه (بدون بهره گیری از بام سبز) و حالت بام سبز

به‌طور کلی، عملکرد حرارتی بام سبز توسط سه شاخص مهم ارتفاع گیاه، شاخص مساحت برگ گیاه و ارتفاع لایه بستر آن بر روی ساختمان مسکونی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالیانه هر شاخص به طور جداگانه در جداول مربوطه، به تفصیل ارائه گردید و سپس با بررسی نتایج، راهبردهای مطلوب هر شاخص انتخاب و با ادغام آنها، شبیه سازی انرژی بام سبز انجام شده است.

### ۲-۱- فرضیات و متغیرهای تحقیق

فرضیه زیر در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است: به نظر می‌رسد که اجرای بام سبز در آب‌وهوای کویری ایران بتواند پاسخ‌گوی مناسبی برای کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی باشد.

برای پیش‌برد این فرضیه و اهداف تحقیق یک نمونه متداول ساختمان مسکونی در شهر کویری سمنان به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر طراحی شده، (شکل ۱و۲) و سه متغیر اساسی مؤثر بر عملکرد حرارتی بام سبز در این ساختمان مورد شبیه سازی مصرف انرژی قرار گرفته است.

**جدول ۲- مشخصات ترموفیزیکی لایه‌های بام اولیه**

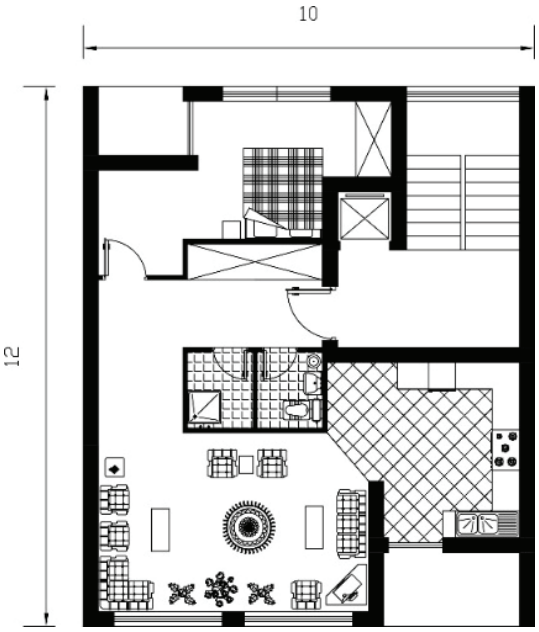
| ردیف | لایه | هدایت حرارتی (وات بر مترکلوین) | چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) | گرمای ویژه (ژول بر کیلوگرم کلوین) | مقاومت حرارتی | ضخامت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | محافظ عایق (شن و سنگریزه) | ۱،۲۱ | ۱۷۰۰ | ۹۲۰ | – | ۷ |
| ۲ | عایق ضدآب | ۰،۲۳ | ۱۱۰۰ | ۱۰۰۰ | – | ۱ |
| ۳ | بتن شیب بندی | ۰،۴۱ | ۹۰۰ | ۱۰۰۰ | – | ۲ |
| ۴ | عایق حرارتی | ۰،۰۳۷ | ۳۰ | ۱۰۰۰ | – | ۳ |
| ۵ | سازه سقف | – | ۱۲۲۰ | ۱۰۰۰ | ۰،۲۸ | ۲۵ |
| ۶ | نازک کاری | ۰،۵۷ | ۱۱۵۰ | ۱۰۰۰ | – | ۱،۵ |

www.SID.ir

Archive of SID

Trial Version Trial Version Trial Version Trial Version

شکل ۱- پلان ساختمان مسکونی




شکل ۲-تصویر سه بعدی ساختمان مسکونی

جدول ۳- مشخصات ترموفیزیکی لایه‌های بام سبز

| ردیف | لایه | هدایت حرارتی (وات بر مترکلوین) | چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) | گرمای ویژه (ژول بر کیلوگرم کلوین) | مقاومت حرارتی | ضخامت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | گیاه | – | – | – | – | ۱۰ |
| ۲ | خاک | ۰,۱۳-۰,۷۴ | ۷۳۰-۱۱۵۰ | ۱۱۶۰-۱۶۸۰ | – | ۲۰ |
| ۳ | زهکش (لاستیک خرد شده ) | ۰,۱۳ | ۶۱۰ | ۱۰۰۰ | – | ۴ |
| ۴ | عایق ضدآب | ۰,۲۳ | ۱۱۰۰ | ۱۰۰۰ | – | ۱ |
| ۵ | بتن شیب بندی | ۰,۴۱ | ۹۰۰ | ۱۰۰۰ | – | ۲ |
| ۶ | سازه سقف | – | ۱۲۲۰ | ۱۰۰۰ | ۰,۲۸ | ۲۵ |
| ۷ | نازک کاری | ۰,۵۷ | ۱۱۵۰ | ۱۰۰۰ | – | ۱,۵ |

تمامی لایه‌های ساخت بنا به همراه مشخصات ترموفیزیکی آنها، باید برای نرم‌افزار شبیه‌ساز معرفی گردد، تا بتواند ارزیابی صحیحی از مصرف انرژی در ساختمان انجام دهد. برای تعریف مشخصات پوسته بام ساختمان، از مصالح معمول در ایران و به خصوص اقلیم گرم‌وخشک استفاده شده، که در جدول (۲و۳) به آنها اشاره شده است.

## ۳-یافته‌های پژوهش

یافته‌های این تحقیق در چهار بخش ارایه شد که عبارت است از:

- ارتفاع گیاه
- شاخص مساحت برگ گیاه
- ارتفاع لایه بستر کشت گیاه
- مصرف انرژی سالانه در دو حالت تحت ارزیابی

### ۳-۱- بررسی تأثیر ارتفاع گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

پنج حالت مختلف cm ۵۰ – ۱۰ برای ارتفاع گیاه این بام سبز برای نرم‌افزار دیزاین بیلدر معرفی شد که نتایج شبیه سازی انرژی هر کدام به طور جداگانه به دست آمده است. همان‌طور که نمودار (۱) نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع گیاه میزان مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد، اما در انرژی سرمایشی مصرفی میزان متغیری، به‌دست آمده است.

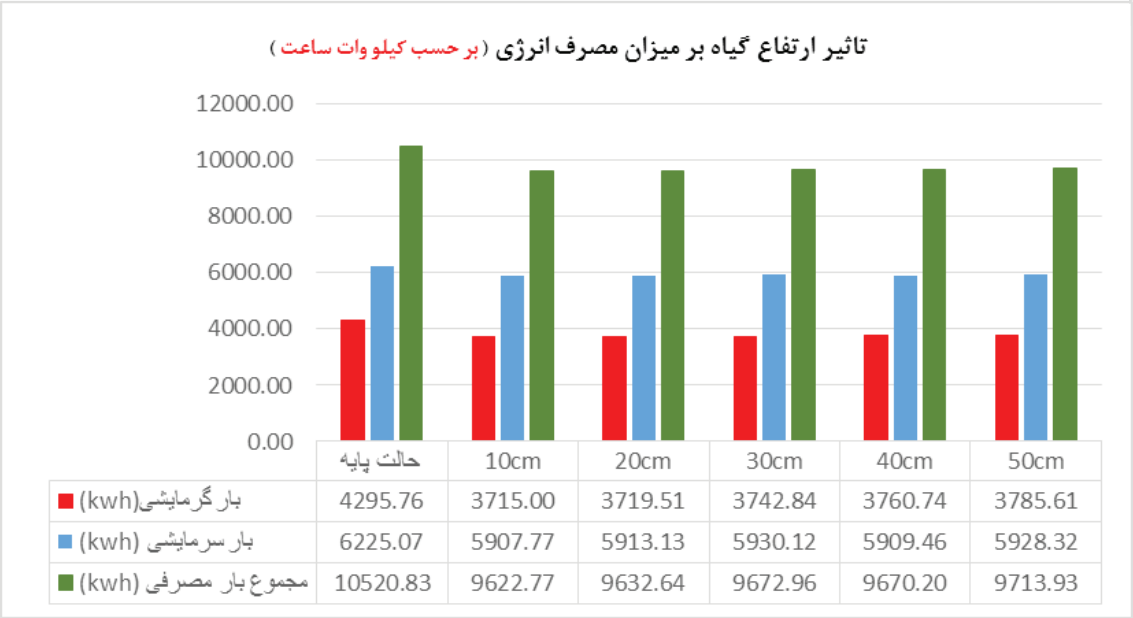
### ۳-۲- بررسی تأثیر شاخص مساحت برگ گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

شاخص سطح برگ، به عنوان مجموع مساحت یک طرف برگ گیاهان در واحد سطح زمین تعریف می‌شود. این شاخص به صورت یک عدد و بدون واحد معین نشان داده می‌شود. این تعریف برای پهن برگان مناسب است. برخی از محققان برای گونه‌های دارای برگ‌های سوزنی

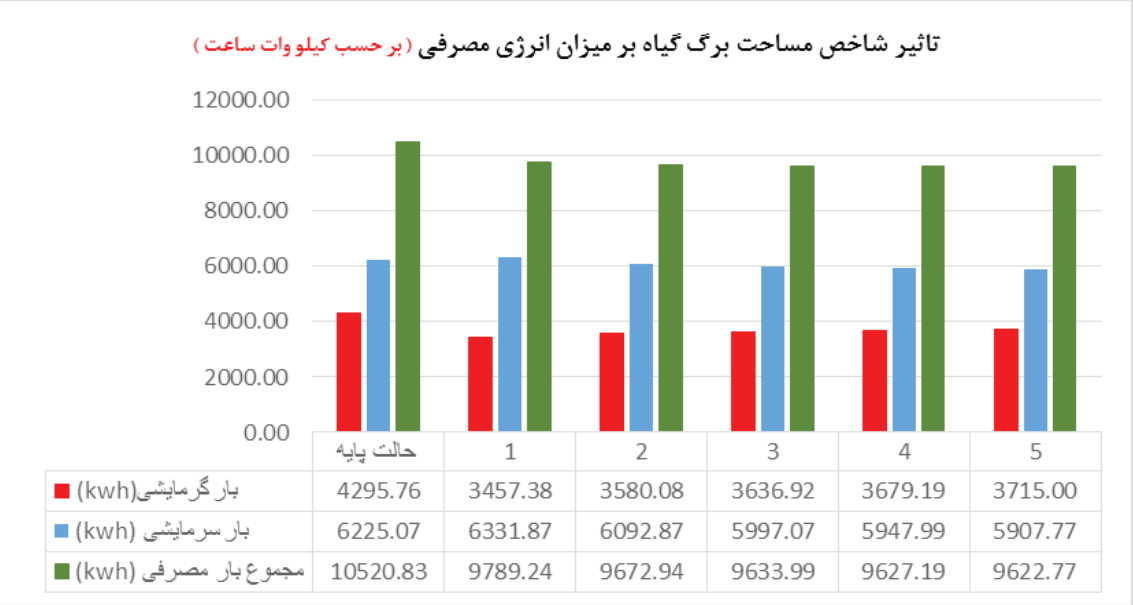
www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۳-تأثیر ارتفاع گیاه بر میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه




شکل۴-تأثیر شاخص مساحت برگ گیاه بر میزان انرژی مصرفی

و غیر پهن، پیشنهاد محاسبه نصف مجموع مساحت برگ در واحد سطح زمین را ارایه داده‌اند. دامنه تغییرات این شاخص بر اساس نتایج مطالعات منتشر شده از ۰/۴ برای Quercus petrea تا ۱۴ برای گونه Pseudotsuga menziesii گزارش شده است (Jonckheere et al, 2004). پنج حالت مختلف ۵ - ۱ برای شاخص مساحت برگ گیاه این بام سبز برای نرم‌افزار معرفی گردید، که نتایج شبیه سازی انرژی هر کدام، به طور جداگانه به دست آمده است. همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، با افزایش شاخص مساحت برگ گیاه، میزان مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد. اما در انرژی سرمایشی مصرفی، میزان مصرف انرژی کاهش یافته است.

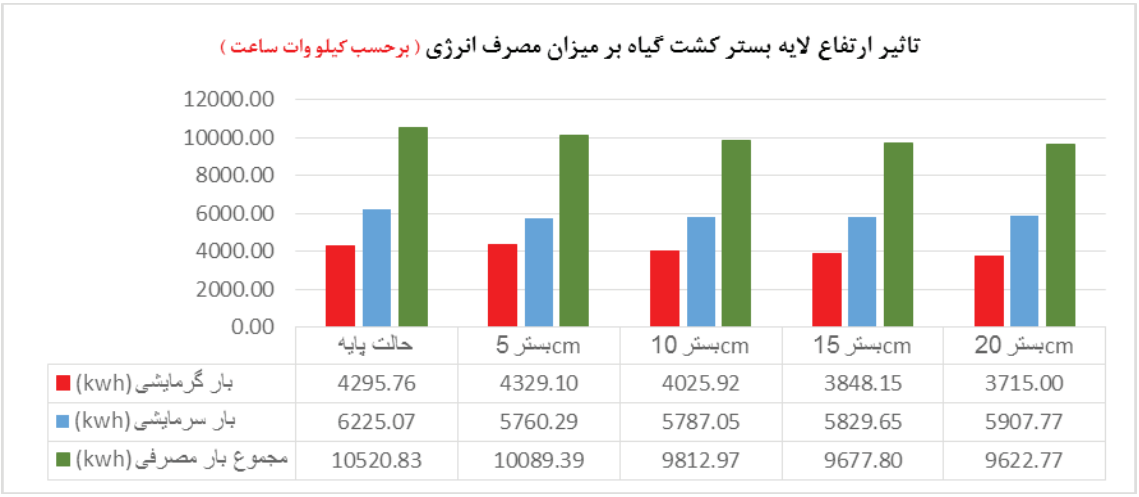
### ۳-۳- بررسی تأثیر ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

در این قسمت با توجه به حالات مناسب در دو مورد پیشین (ارتفاع گیاه و شاخص مساحت برگ آن)، پنج حالت مختلف پایه، ۵ cm، ۱۰ cm، ۱۵ cm و ۲۰ برای ارتفاع لایه بستر کشت گیاه این بام سبز برای نرم‌افزار معرفی گردید که نتایج شبیه سازی انرژی هر کدام به طور جداگانه به دست آمده است. همان‌طور که

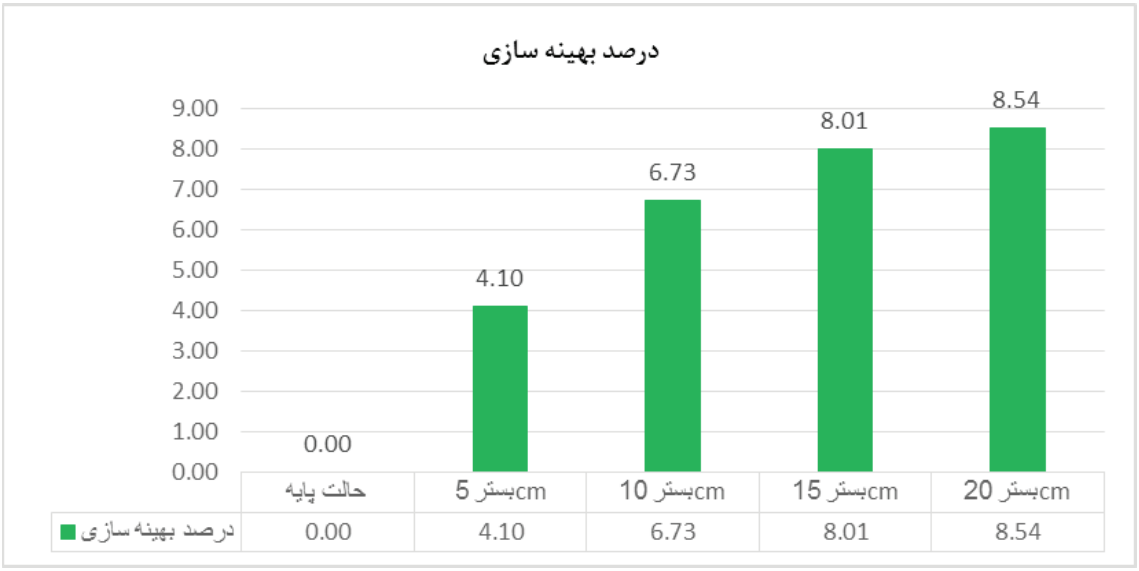
www.SID.ir

Archive of SID






شکل۵-تأثیر ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بر میزان مصرف انرژی




شکل ۶- درصد بهینه سازی مصرف انرژی چهار ارتفاع مختلف بستر کشت نسبت به حالت پایه

شکل (۴) نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع لایه کشت، انرژی گرمایشی مصرفی کاهش و انرژی سرمایشی مصرفی افزایش می‌یابد. به هر صورت حالت مطلوب، حالتی است که مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه کاهش یابد.

شکل (۵) درصد بهینه سازی مصرف انرژی را در چهار حالت نسبت به حالت پایه نشان می‌دهد، که در ارتفاع‌های ۵ cm، ۱۰ cm، ۱۵ cm و ۲۰ cm به ترتیب ۴/۱۰٪، ۶/۷۳٪، ۸/۰۱٪ و ۸/۵۴٪ بهینه سازی در میزان مصرف انرژی به دست آمده است.

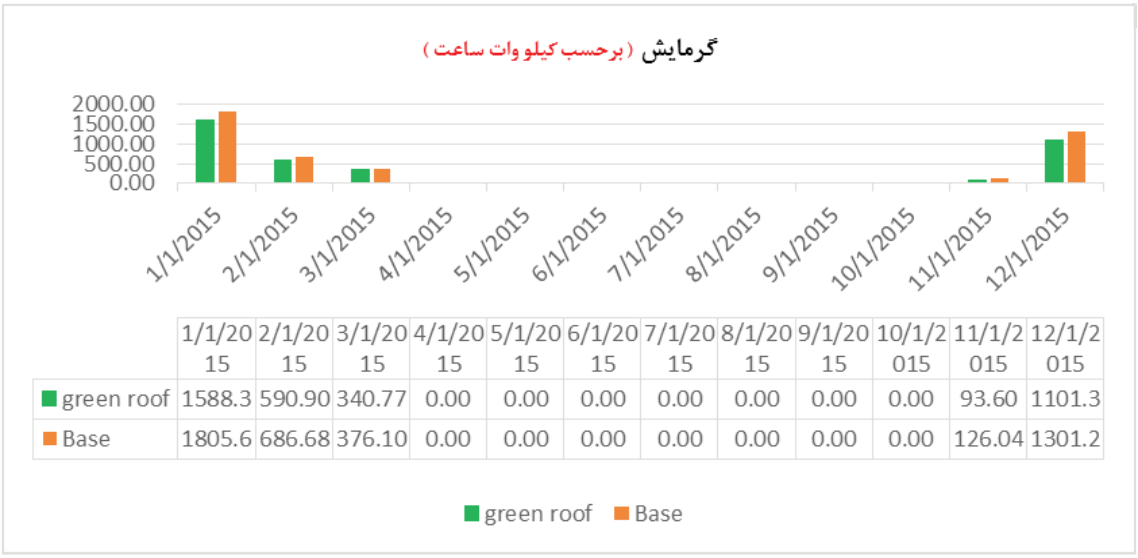
### ۴-۳- بررسی میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه در دو حالت پایه و حالت بام سبز

در این قسمت با توجه به نتایج به دست آمده در سه قسمت پیشین، مقایسه‌ای بین میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه در دو حالت بام پایه و بام سبز انجام شده است. همان‌طور که اشکال (۳ و۴) نشان می‌دهد، میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در حالت بام سبز کاهش محسوسی پیدا کرده است. شکل (۵) مصرف مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی و شکل (۶) میزان درصد بهینه سازی مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی را نسبت به حالت پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که این نمودار نشان می‌دهد، میزان درصد بهینه سازی انرژی سرمایشی در فصول گرم ۵/۱۰٪ و میزان درصد بهینه سازی انرژی گرمایشی در فصول سرد ۱۳/۵۲٪ است.

www.SID.ir

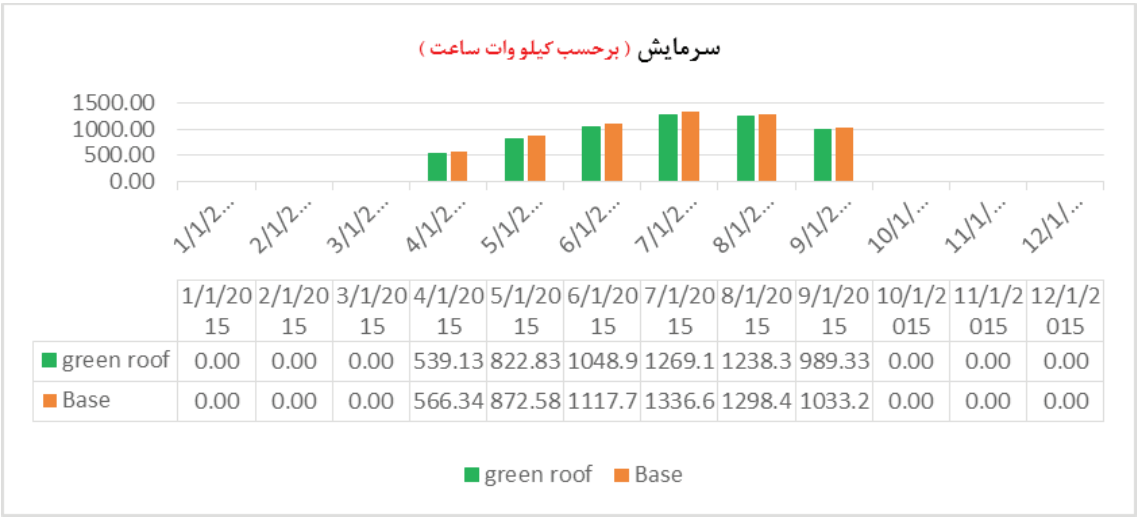
Archive of SID





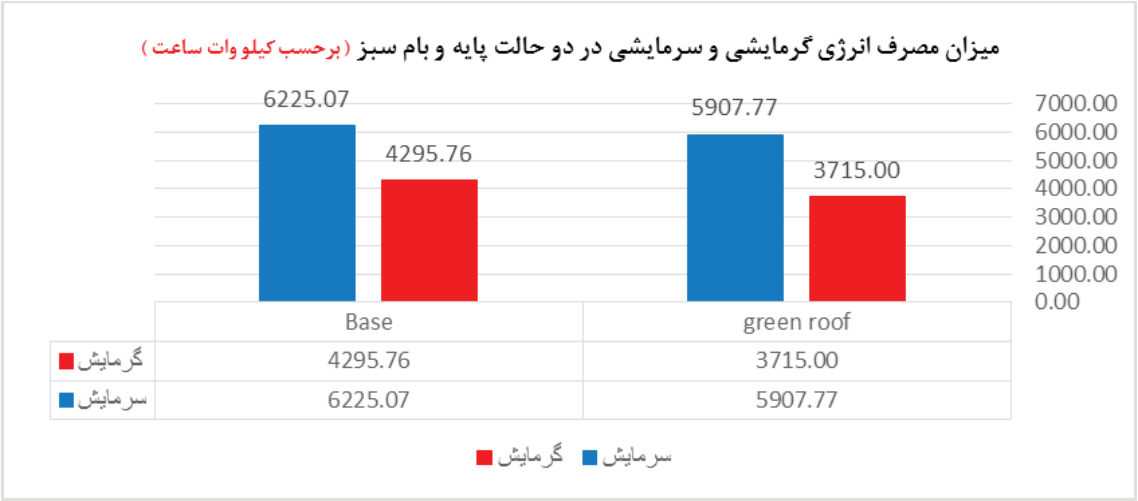

| | 1/1/2015 | 2/1/2015 | 3/1/2015 | 4/1/2015 | 5/1/2015 | 6/1/2015 | 7/1/2015 | 8/1/2015 | 9/1/2015 | 10/1/2015 | 11/1/2015 | 12/1/2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| green roof | 1588.3 | 590.90 | 340.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 93.60 | 1101.3 |
| Base | 1805.6 | 686.68 | 376.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 126.04 | 1301.2 |

شکل۷- نمودار میله‌ای تأثیر بام سبز بر میزان انرژی گرمایشی سالانه




| | 1/1/2015 | 2/1/2015 | 3/1/2015 | 4/1/2015 | 5/1/2015 | 6/1/2015 | 7/1/2015 | 8/1/2015 | 9/1/2015 | 10/1/2015 | 11/1/2015 | 12/1/2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| green roof | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 539.13 | 822.83 | 1048.9 | 1269.1 | 1238.3 | 989.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Base | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 566.34 | 872.58 | 1117.7 | 1336.6 | 1298.4 | 1033.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

شکل ۸- نمودار میله‌ای تأثیر بام سبز بر میزان مصرف انرژی سرمایشی سالانه



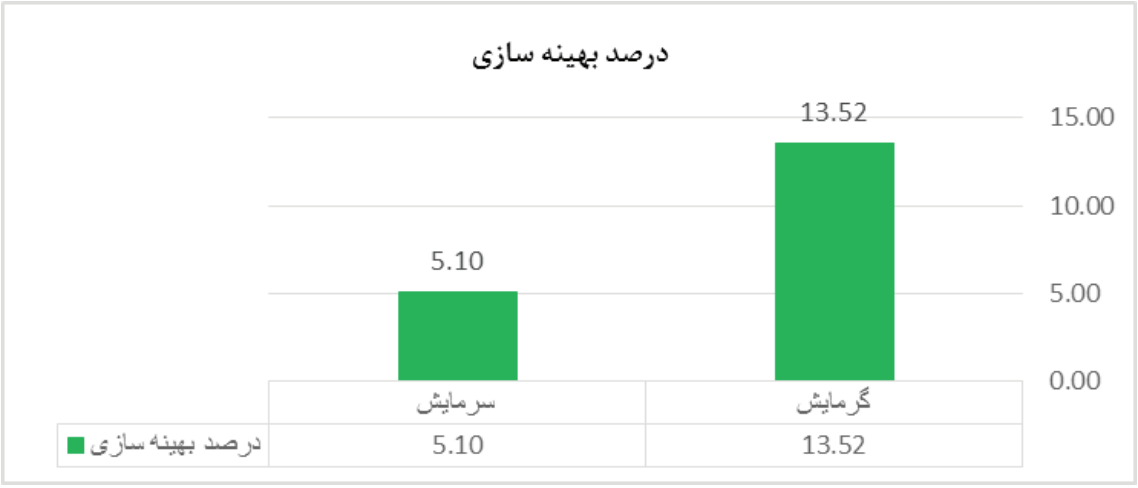

| | Base | green roof |
|---|---|---|
| گرمایش | 4295.76 | 3715.00 |
| سرمایش | 6225.07 | 5907.77 |

شکل۹- میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی در دو حالت پایه و بام سبز

www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۱۰- درصد بهینه سازی بام سبز در در فصل گرما و سرما

**۳-۵- تجزیه و تحلیل نهایی**

برای مطالعه عملکرد حرارتی بام سبز بایستی به عوامل اثرگذار بر نحوه کارکرد آن توجه نمود. همان‌طور که در مبانی نظری تحقیق ذکر آن رفت، عوامل مختلفی چون نوع عایق کاری بام، منطقه آب‌وهوایی، ویژگی‌های گیاه مورد کشت و... می‌تواند این عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. هر کدام از عواملی که در این تحقیق به طور جداگانه و یا با هم ارزیابی شد، اثر قابل توجهی بر میزان مصرف انرژی بر جای گذاشته است که در ادامه به بحث پیرامون آنها پرداخته خواهد شد.

**۳-۵-۱- تحلیل تأثیر ارتفاع گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه**

با توجه به شکل (۳) میزان مصرف انرژی با هدف گرمایش، با افزایش ارتفاع گیاه رابطه مستقیم دارد. اما مصرف انرژی با هدف سرمایش، با افزایش ارتفاع گیاه هیچ‌گونه ارتباط کاهشی یا افزایشی در روند بهینه سازی مصرف انرژی دیده نشد. هرچند با مقایسه مقادیر مصرفی انرژی گرمایشی و سرمایشی حالت پایه با حالات ثانویه (بام سبز)، یک روند کاهشی مثبتی را در مقدار انرژی مصرفی مشاهده شد. به عبارت دیگر، میزان مصرف انرژی کل گرمایشی و سرمایشی سالانه، با افزایش ارتفاع گیاه رابطه مستقیمی دارد و هر چه در اقلیم گرم‌وخشک ارتفاع گیاه کمتر باشد، برای بهره‌وری مصرف انرژی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. بنابراین، ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع بهینه کاشت گیاه در این اقلیم است که در این حالت تا حدود ۸٪ در مصرف انرژی مجموع سالانه صرفه‌جویی به عمل می‌آید.

**۳-۵-۲- تحلیل تأثیر شاخص مساحت برگ گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه**

با توجه به شکل (۴) میزان مصرف انرژی با هدف گرمایش، با افزایش شاخص مساحت برگ گیاه رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر هر چه برگ پهن‌تر می‌شود، به سبب ایجاد مانع برای نفوذ اشعه خورشیدی، میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد. اما به هر حال مقادیر مصرفی انرژی گرمایشی در فصل سرد در نامناسب ترین حالت شبیه سازی شده، می‌تواند تا حدود ۱۳/۵٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی نماید. اما میزان مصرف انرژی به هدف سرمایش، با افزایش شاخص مساحت برگ گیاه رابطه معکوس دارد، که در بهترین حالت تا حدود ۵/۱۰٪ می‌تواند در مصرف انرژی سرمایشی صرفه‌جویی نماید. البته در شاخص مساحت برگ (۳) میزان مصرف انرژی سرمایشی از حالت پایه بیشتر شده است که می‌توان نتیجه گرفت، گیاهان سبز با شاخص مساحت برگ کم (یعنی در حدود گیاهان سوزنی) توانایی افزایش بهره‌وری انرژی سرمایشی را ندارند. به‌طور کلی میزان مصرف انرژی مجموع گرمایشی و سرمایشی سالانه، با افزایش شاخص مساحت برگ گیاه، رابطه معکوس دارد. به عبارت دیگر، هر چه در اقلیم گرم‌وخشک شاخص مساحت برگ گیاه بیشتر باشد، برای بهره‌وری انرژی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. بنابراین شاخص مساحت برگ گیاه (۴)، شاخص بهینه کاشت گیاه در این اقلیم است. یعنی هر چه برگ گیاه پهن‌تر باشد، مقدار سایه اندازی آن بیشتر شده و در نتیجه بازدهی بهتری خواهد داشت. لازم به ذکر است، گیاه انتخابی باید به گونه‌ای باشد، که پهنای مورد نظر را تأمین نماید و ضمن

www.SID.ir

Archive of SID



سایه‌اندازی بیشتر در تابستان، خزان‌پذیر نباشد و مانع از جذب گرمای خورشید در زمستان نشود.

**۳-۵-۳- تحلیل تأثیر ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه**

با توجه به شکل (۵) میزان مصرف انرژی به هدف گرمایش، با افزایش لایه بستر کشت گیاه رابطه معکوس دارد. به عبارت دیگر، هر چه به ارتفاع لایه کشت اضافه می‌شود، از بار گرمایشی مصرفی ساختمان، کاسته می‌شود. البته در مورد بستر با ارتفاع cm۵، اندکی افزایش نسبت به حالت پایه مشاهده می‌شود. از این نتایج می‌توان چنین ارزیابی کرد که با توجه به خاصیت عایقی لایه (خاک) کشت، بدیهی است که هر چه ارتفاع بیشتر شود، از بار گرمایشی کاسته خواهد شد. از سوی دیگر، میزان مصرف انرژی به هدف سرمایش، با افزایش ارتفاع لایه بستر کشت گیاه رابطه مستقیم دارد. هر چند علی‌رغم افزایش مصرف، میزان آن از حالت پایه یعنی بدون تعبیه بام سبز کمتر است و در بهترین حالت تا حدود ۷/۵٪ می‌تواند، بر بهره‌وری انرژی سرمایشی بیفزاید. به طور کلی، میزان مصرف انرژی کل گرمایشی و سرمایشی، با افزایش ارتفاع لایه بستر کشت گیاه رابطه معکوس دارد. بنابراین، هر چه در اقلیم گرم‌وخشک ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بیشتر باشد، از لحاظ بهره‌وری مصرف انرژی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در نتیجه، ارتفاع لایه بستر کشت گیاه cm۲۰ و cm۱۵، ارتفاع لایه کشت بهینه برای بام سبز در این اقلیم است. به عبارت دیگر از آنجا که خاک، نوعی عایق حرارتی محسوب می‌شود، در نتیجه بام سبز بازدهی بهتری خواهد داشت. همان‌طور که مقدار درصد بهینه سازی مصرف انرژی در ارتفاع‌های مختلف لایه بستر در فصل پیشین گفته شد، ارتفاع‌های cm۲۰ و cm۱۵ به ترتیب با ۸/۵۴ و ۸/۰۱٪ بهترین درصدها را به خود اختصاص داده‌اند.

**۴-۵-۳- تحلیل میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه در دو حالت پایه و حالت بام سبز**

میزان مصرف انرژی به هدف سرمایش، در ساختمانی که دارای بام سبز است، کاهش یافته. همچنین میزان مصرف انرژی به هدف گرمایش نیز کاهش قابل توجهی پیدا کرده است. به عبارت دیگر بام سبز تأثیر چشم‌گیری بر میزان بهره‌وری مصرف انرژی چه در فصل گرم و چه در فصل سرد سال در اقلیم گرم‌وخشک می‌گذارد. تعبیه این نوع بام‌ها در آب‌وهوای خشک و کویری ایران می‌تواند منجر به صرفه‌جویی ۵/۱۰٪ انرژی سرمایشی در فصول گرم و صرفه‌جویی ۱۳/۵۲٪ انرژی گرمایشی در فصول سرد شود. آنچه که در ارزیابی نتایج دیده می‌شود تأثیر بام سبز بر صرفه‌جویی انرژی گرمایشی در اقلیم گرم‌وخشک بیشتر است.

## ۴- نتیجه‌گیری

در بحث توسعه پایدار و به تبع آن، معماری پایدار، اینکه هر ساختمان باید با بستر و محیط طبیعی پیرامون خود تعامل داشته باشد، به امری بدیهی مبدل شده است. قسمت بحث برانگیز و مورد توجه این امر، چگونگی برقراری تعامل و نوع تدابیر در نظر گرفته شده است (زندیه و همکاران، ۱۳۸۹). چالش معماری پایدار در ارتباط با یک راه حل جامع برای ملاحظات محیطی و در عین حال برای به دست آوردن سطح کیفیت زندگی و ارزش‌های فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی و آسایشی است (WGSC, 2004). بام سبز یکی از رویکردهای نوین معماری پایدار است که، در پی نگرانی‌های زیست‌محیطی قرن بیستم پا به عرصه وجود نهاد. این سیستم برخاسته از مفاهیم توسعه‌ی پایدار، به جهت حفظ شرایط مطلوب اکولوژیکی و زیبایی‌های طبیعی، حفظ سلامت جسم و روح شهروندان و ارزش‌های اقتصادی و معنوی روی کار آمده است. در این مقاله، شبیه سازی مصرف انرژی بر روی فضای ساختمانی متداول، در اقلیم گرم‌وخشک ایران که از بام سبز بهره می‌گیرد، با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر پایداری و عملکرد حرارتی این نوع بام، مانند ارتفاع گیاه، شاخص مساحت برگ و ارتفاع بستر گیاه مورد مطالعه قرار گرفته است. به این ترتیب که ابتدا هر یک از راهبردها به صورت جداگانه برای این بام مورد شبیه سازی قرار گرفته و در انتها با ارزیابی راه حل‌های بهینه، میزان بهره‌وری استفاده از بام سبز به دست آمده است. ویژگی‌های پوسته ساختمان به جز سقف در تمام مراحل انجام کار یکسان در نظر گرفته شده و آنچه که مورد شبیه‌سازی انرژی قرار گرفته، عوامل مربوط به نحوه عملکرد عناصر موجود در بام سبز است.

مواردی که از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت، عبارتند از:

هر چه ارتفاع گیاه کمتر باشد، برای بهره‌وری مصرف انرژی عملکرد، بهتری از خود نشان می‌دهد. در این تحقیق پنج ارتفاع مختلف cm۵۰-۱۰ برای ارزیابی

www.SID.ir

Archive of SID



نحوه عملکرد انرژی بام در نظر گرفته شده است که در این میان، با توجه به نتایج به دست آمده، ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع بهینه کاشت گیاه در این اقلیم است. با توجه به آن‌که بام سبز موجود در تحقیق از نوع گسترده در نظر گرفته شده و در این نوع بام، تنها کاشت یک یا دو نوع گیاه صورت می‌گیرد، در نتیجه بایستی گیاهانی را در نظر گرفت که اول توانایی تحمل شرایط روزهای گرم تابستان و شب‌های سرد زمستان را دارند و دوم ارتفاع کمتری دارند.

هر چه شاخص مساحت برگ گیاه بیشتر باشد، برای بهره‌وری مصرف انرژی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در این تحقیق پنج شاخص مساحت برگ گیاه ۵-۱ برای ارزیابی نحوه عملکرد انرژی بام در نظر گرفته شده است که، در این میان با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص مساحت برگ گیاه، شاخص بهینه کاشت گیاه در این اقلیم است. به عبارتی هر چه برگ گیاه پهن‌تر باشد، مقدار سایه اندازی آن بیشتر می‌شود و در نتیجه بازدهی بهتری خواهد داشت. البته باید توجه داشت که لزومی ندارد تنها به عامل شاخص مساحت برگ توجه نمود، بلکه هر چه گیاه بتواند گستردگی بیشتری بر روی سطح بام ایجاد نماید، می‌تواند بر عملکرد حرارتی این قسمت از ساختمان تأثیر مطلوبی بر جای گذارد.

هر چه ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بیشتر باشد، از لحاظ بهره‌وری مصرف انرژی، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در این تحقیق چهار اندازه ارتفاعی cm۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ برای لایه کشت جهت ارزیابی نحوه عملکرد انرژی بام در نظر گرفته شده است، که در این میان با توجه به نتایج به‌دست آمده، ارتفاع لایه بستر کشت گیاه cm۲۰ و cm۱۵، ارتفاع لایه کشت بهینه برای بام سبز در این اقلیم است. هر چند در مورد لایه cm ۵ نیز که بازدهی کمتری نسبت به سه اندازه دیگر دارد، می‌تواند تا حدود ۴/۱٪ به بهره‌وری انرژی بیفزاید. به طور کلی از آن‌جا که خاک نوعی عایق حرارتی محسوب می‌شود، در نتیجه با افزایش ارتفاع لایه کشت، بام سبز بازدهی بهتری خواهد داشت. البته باید به این موضوع نیز توجه داشت که نوع گیاه انتخابی تا چه حد قابلیت رشد در ارتفاع‌های مختلف را دارد و در بام سبز از نوع گسترده تا حداکثر ارتفاع cm۲۰ می‌توان گیاه کاشت. مزیتی که بسترهای عمیق‌تر دارند این است که آب بیشتری را جذب می‌کنند و در دوره‌های بی‌آبی و خشکی، گیاه دچار تنش کم آبی نخواهد شد.

اگر چه بام سبز تأثیر مطلوبی در بهره‌وری مصرف انرژی در تمامی فصول گرم و سرد سال از خود نشان می‌دهد، اما تأثیر آن بر صرفه‌جویی انرژی گرمایشی در اقلیم گرم‌وخشک بیشتر است.

در مناطق گرم‌وخشک، به علت کمبود بارش سالیانه، این مناطق نیازمند بهره‌گیری از انواع پوشش گیاهی بومی است که توانایی تحمل شرایط سخت محیطی را داشته باشد. به علاوه، از گیاهانی با سطح پوشش بالا بهره‌گیری شود، که علاوه بر این‌که سبزینگی خود را در آفتاب گرم تابستان حفظ می‌نماید، خزان پذیر است و مانع جذب گرمای خورشید در فصل سرما می‌شود.

نکته دیگری که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که، در سیستم بام سبز گسترده، عمق و وزن لایه کاشت گیاه، کم است. برای این فضا گیاهانی مانند ساکولنت‌ها (گیاهان گوشتی)، سدوم‌های پوششی، خزه‌ها، چمن‌ها و گیاهان دارویی مناسب هستند. این گروه از گیاهان، نمایی زیبا از لحاظ ساختار اکولوژیکی به بام‌های سبز داده است و سطح وسیعی را به راحتی پوشش می‌دهد و شامل گونه‌های بسیار متنوعی است. از جمله گیاهان سدوم می‌توان از Sedum glaucophyllum با گل‌های سفید و متراکم، گیاهان پیازی Allium schoenoprasum (پیاز کوهی) و گونه‌های Diantahus (میخک سانان) نام برد. این گونه‌ها گیاهانی هستند که با بذرافشانی تکثیر می‌شوند. چمن‌ها مانند Koeleria glauca و انواع فستوکاها که در اطراف و فضاهای خالی بین دیگر گیاهان کاشته می‌شوند و علاوه بر زیبایی به حفظ رطوبت کمک می‌کنند. بهترین گزینه در ارتباط با پوشش گیاهی، شناسایی گونه‌های بومی با ریشه‌های کم عمق است که علاوه بر تنوع و زیبایی، با محیط سازگاری دارد و رشد خوبی خواهند داشت (http://www.iranagrimagazine.com).

همان‌طور که در پیشینه تحقیق، ذکر آن رفت بهره‌گیری از بام سبز در اقلیم گرم‌وخشک ایران می‌تواند حدود ۹٪ بر بهینه سازی مصرف انرژی کمک نماید. همچنین، در این تحقیق که سه ویژگی در بام سبز مورد ارزیابی عملکرد حرارتی قرار گرفت، با بهره‌گیری از این راهبرد معمارانه، در ساختمانی مسکونی، در اقلیم مشابه ولی

www.SID.ir

Archive of SID



با طول و عرض جغرافیایی متفاوت، می‌توان تا حدود ۸/۵۴٪ مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه را کاهش داد. بنابراین می‌توان با اتخاذ سیستم‌های مناسب بام سبز به پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی در این شرایط آب‌وهوایی یاری رساند.

## منابع


خالدی، ش (۱۳۹۱). جزوه درسی اقلیم شناسی شهری. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

رائو، پنینتی کریشنا (۱۳۸۵). توسعه پایدار، اقتصاد و سازوکارها. ترجمه: احمدرضا یاوری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

زندیه، مهدی، پروردی نژاد، سمیرا (۱۳۸۹)، توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران، مسکن و محیط روستا،۲۱-۲.

طوفان، سحر (۱۳۸۶)، بام‌های حیات، فصل‌نامه معماری و ساختمان، ۱۲، ۵۵-۵۲.

فرهودی، رحمت الله، تیموری، محمدتقی (۱۳۹۰)، سنجش توسعه پایدار محله‌های شهری با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: منطقه ۱۷ شهرداری تهران، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۴۳، جلد ۷۷، ۱۱۰-۸۹.

مهندسین مشاور آرشیدز. نرم‌افزار دیزاین بیلدر. بازیابی شده در ۹۴/۰۶/۰۲، از http://www.enef.co/۲. html?start=۴.

گروه چاوشگران (۱۳۹۳، ۲۰ اسفند). بام سبز و پوشش گیاهی. ماه‌نامه دام و کشت و صنعت. بازیابی شده در ۹۴/۰۶/۱۵، از http://www.iranagrimagazine.com/fa/contents/۱۹۱.

نسترن، مهین، قاسمی، وحید، هادیزاده زرگر، صادق (۱۳۹۲)، ارزیابی شاخص‌های پایداری اجتماعی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)، مجله جامعه شناسی کاربردی، شماره ۵۱، سال ۲۴.

Banting, D., H. Doshi, J. Li, and P. Missios. (2005). Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Dept of Agricultural Science, Ryerson University, Toronto.

Berndtsson,J.C., L. Bengtsson, and K. Jinno. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. Jornal of ecological engineering, (35), 369-380.

Bevilacqua, Piero. (2015). Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. Building and Environment, (92), 305-316.

Bradley, Rowe. (2010). Green roofs as a means of pollution abatment. Jornal of Environmental Pollution, (159), 2100-2110.

Brown, Charlotte, and J. Lundholm. (2015). Microclimate and substrate depth influence green roof plant community dynamics. Landscape and Urban Planning, (143), 134–142.

Cameron, R.W.F., J.E. Taylor, and M.R. Emmett. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. Build Environ, (73),198-207.

Castleton, H.F., V. Stovin, S.B.M. Beck, and J.B. Davison. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. Energy Build, (42), 1582-1591.

Coma, Julia. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. Renewable Energy. (85), 1106-1115.

Dewalle, D.R., and G.M, Heisler. (1980). Landscaping to reduce year round energy bills. Yearbook of agriculture: cutting energy costs. Washington DC, USA.

Eumorfopoulou, E., and D. Aravantinos. (1998). The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. Energy Build, (27),29-36.

Feng, C., Q. Meng, and Y. Zhang. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. Energy Build, (42), 959-965.

Fioretti, R., A. Palla, LG. Lanza, and P. Principi. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. Build Environ, (45),1890-904.

Gabrycha, Małgorzata, D. J. Kotzeb, and S. Lehvävirta. (2016). Substrate depth and roof age strongly affect plant abundanceson sedum-moss and meadow green roofs in Helsinki, Finland. Ecological Engineering,


www.SID.ir

Archive of SID



Green roof study and design in accordance with eco-condition. Department of Architecture Faculty of Art and Architecture Tarbiat Modares University.

Kohler, M. (2008). Green facades-a view back and some visions. Urban Ecosyst, (11), 423-36.

Kumar, R., and R.S. Kaushik. (2005). Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. Build. Environ, (40), 1505-1511.

Lazzarin, R.M., F. Castellotti, and F. Busato. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. Energy Build, (37),1260-1267.

Loh, S. (2008). Living walls: A way to green the built environment. BEDP Environ Des guide, (1),1-7.

Lu, J., L. Yuan, J. Yang, A. Chen, and Z. Yang. (2015). Effect of substrate depth on initialgrowth and drought tolerance of Sedum lineare in extensive green roof system. Ecol. Eng. (74), 408–414.

Luckeet, K. (2009). Green roof construction and maintenance. New York: McGraw-Hill.

Madre, F., A. Vergnes, N. Machon, and P.h. Clergeau. (2014). Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: first insights from a large-scale sampling. Landsc. Urban Plan, (122), 100–107.

Molineuxa, Chloe, G. Alan, C. Stuart, and N. Darry. (2015). Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity. Ecological Engineering, (82), 596–604.

Nektarios, A., N. Panayiotis, E. Ntoulas, I. Nydrioti, E. Kokkinou, and I. Amountzias. (2015). Drought stress response of Sedum sediforme grown in extensive greenroof systems with different substrate types and depths. Scientia Horticulturae, (181), 52–61.

Nyuk Hien, W., T. Puay Yok, C. Yu. (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. Build Environ, (42), 25-54.

Oberndorfer, E., J. Lundholm, B. Bass, R.R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Keohler, K.K.Y. Liu, and B. Rowe. (2007). Green roofs as urban ecosystems: (86), 95–104.

Getter, K.L., and D.B. Rowe. (2006). The role of extensive green roof in sustainable development. Hort. Sci, 41 (5), 1276-1285.

Getter, K.L., D.B. Rowe, J.A. Andresen, and I.S. Wichman. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate. Energy Build, (43):3548-3557.

Gill, S.E., J.F. Handley, A.R. Ennos, and S. Pauleit. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environ, (33), 115-33.

Goussous, Jawdat, H. Siam, and H. Alzoubi. (2014). Prospects of green roof technology for energy and thermal benefits in buildings: Case of Jordan. Sustainable Cities and Society, (14): 425–440.

Heisler, G.M. (1991). Computer simulation for optimising windbreak placement to save energy for heating and cooling buildings. In: Proceedings of third international windbreaks and agroforestry symposium, 100-104.

Jaffal, I., S.E. Ouldboukhitine, and R. Belarbi. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renew. Energy, (43), 157-164.

Jim, C.Y., and S.W. Tsang. (2011). Ecological energetics of tropical intensive green roof. Energy Build, 43 (10), 2696-2704.

Jo, H.K., and G.E, McPherson. (2001). Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago. U S A J Environ Manag, (61), 165-77.

Jonkheere, I., S. Fleck, K. Nackaerts, and P. Coppin. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I , Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology, 121(1-2), 19-35.

Jusuf, S. K., and N. H. Wong. (2007). GIS-Based Urban Elements Study and Its Rooftop Greenery Potential in NUS Campus. 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century. Crete island. Greece.

Keshtkar Ghalati, A., and M. Ansari. (2009).

www.SID.ir

Archive of SID



energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. Energy, (32), 1781-1788.

Tabares Velasco, P.C., and J. Srebric. (2012). A heat transfer model for assessment of plant based roofing systems in summer conditions. Build Environ, (49), 310-323.

Teemusk, A., and U. Mander. (2009). Green roof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia. Build Environ, (44), 643-650.

Theodosiou, T.G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. Energy Build, (35), 909–917.

Tilley, D., S. Matt, L. Schumann, and P. Kangas. (2014). Vegetation characteristics of green façades, green cloaks and naturally colonized walls of wooden barns located in the Mid-Atlantic Region of North America. J Living Archit, (1),1-35.

Viles. H, T. Sternberg, and A. Cathersides. (2011). Is ivy good or bad for historic walls? J Archit Conserv, (17), 25-41.

WGSC, (2004), Working Group for Sustainable Construction [WGSC], Working Group Sustainable Construction Methods and Techniques Final Report.

Wong, N.H., P.Y. Tan, and Y. Chen. (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. Build. Environ, (42), 25-54.

Yaghoobian, Neda, J. Srebric. (2015). Influence of plant coverage on the total green roof energy balance andbuilding energy consumption. Energy and Buildings, (103), 1–13.

Zhao, M., P.C. Tabares Velasco, J. Srebric, S. Komarneni, and R. Berghage. (2014). Effects of plant and substrate selection on thermal performance of green roofs duringthe summer. Build. Environ,(78), 199–211.

ecological structures, functions, and services. BioScience, 57 (10), 823-833.

Palomo Del Barrio, E. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy Build, (27), 179-193.

Pauleit, S., R. Ennos, and Y. Golding. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change - a study in Merseyside. UK. Landsc Urban Plan, (71), 295-310.

Perini, K., and A. Magliocco. (2012). The integration of vegetation in architecture, vertical and horizontal greened surfaces. Int J Biol, (4), 79-91.

Perini, K., M. Ottele, A.L.A. Fraaij, E.M. Haas, and R. Raiteri. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. Build Environ, (46), 2287-2294.

Raji, B., M.J. Tenpierik, and A. van den Dobbelteen. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: a literature review. Renew. Sustain. Energy Rev, (45), 610-623.

Refahi, Amir Hossein, and H. Talkhabi. (2015). Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. Renewable Energy, (80), 595-603.

Rudofsky, B. (1964). Architecture without Architects. New York : Museum of Modern Art . distributed by Doubleday: Garden City, NY.

51- Saadatian, Omidreza, K. Sopian, E. Salleh, C.H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, A. Toudeshki, and M.Y. Sulaiman. (2013). A review of energy aspects of green roofs, Renew. Sustain. Energy Rev, (23), 155-168.

Sailor, D.J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. Energy Build, 40 (8), 1466-1478.

Sailor, D.J., and M. Hagos. (2011). An updated and expanded set of thermal property data for green roof growing media. Energy Build, (43), 2298-2303.

Santamouris, M., C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros. (2007). Investigating and analysing the

www.SID.ir