



بنام آیدشان محیط زیست فردا
شماره ثبت: ۱۰۵۶۰

دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



ادغام سیستم فتوولتاییک خورشیدی و پشت بام سبز

مصطفی واحدی* ، حامد مهربانی ، حسین ابوترابی زارچی

دانشجوی کارشناسی رشته‌ی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی Mostafa.Vahedi70@gmail.com
دانشجوی کارشناسی رشته‌ی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی Taha.mehrabi1991@gamil.com
عضو هیئت علمی برق و رئیس بخش خورشیدی پژوهشکده‌ی هوا خورشید دانشگاه فردوسی h.zarchi@gmil.com

چکیده

امروزه دو تکنولوژی پنل های فتوولتاییک و پشت بام سبز به صورت مجزا در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می گیرد که باعث توسعه ی ساختمان پایدار شده، همچنین پشت بام سبز منجر به کاهش گازهای گلخانه ای می شود. در پنل های خورشیدی با افزایش دما راندمان و توان خروجی کاهش می یابد و از طرفی تابش مستقیم خورشید موجب افزایش تبخیر و تعرق گیاه و کاهش پوشش گیاهی و راندمان بام سبز می گردد حال خنک شدن پشت بام بخاطر وجود پوشش گیاهی باعث افزایش خروجی پنل و ارتقاء راندمان آن بین ۶ تا ۱۰٪ می شود از طرفی سایه ی ایجاد شده توسط پنل مانع از تابش مستقیم خورشید به گیاه شده و تبخیر و تعرق را کاهش می دهد که موجب افزایش رشد و نمو گیاه می گردد. این مقاله به مطالعه ی ادغام پشت بام سبز با سیستم های فتوولتاییک ثابت و متحرک (تعقیب کننده ی خورشیدی) پرداخته و همچنین اقدامات صورت گرفته در نقاط مختلف جهان را مورد بررسی قرار داده است.

واژه های کلیدی: سیستم فتوولتاییک، پشت بام سبز، افزایش راندمان، ادغام



بم آدیشان محیط زیست فردا
شماره ثبت: ۱۰۵۶۰

دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک
محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان
۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



مقدمه

ترکیب و استفاده از پنل های خورشیدی و پشت بام سبز موجب توسعه ساختمان پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می شود. (Castleton, et al., 2010) کنار هم قرار گرفتن این دو تکنولوژی و یکپارچه سازی آنها باعث بهبود بهره وری هر دو شده به گونه ای که سایه ی ایجاد شده توسط پنل بر روی گیاه از تابش مستقیم نور خورشید جلوگیری کرده و تبخیر و تعرق گیاه را کاهش می دهد که این خود منجر به رشد بهتر گیاه می گردد (Castleton, et al., 2010; Hui, 2010; Hui, 2006). از طرفی گیاهان باعث خنک شدن و کاهش دمای محیط اطراف خود می شوند حال مستقر کردن پنل ها در کنار پشت بام سبز راندمان پنل های خورشیدی را بالا می برد چرا که هر چه دمای محیط پایین تر باشد خروجی پنل ها بالاتر خواهد بود (Köhler, et al., 2002). در ابتدا تصور می شد که ترکیب این دو سیستم موجب ایجاد رقابتی محدود کننده بین آنها خواهد شد اما ترکیب کردن و یکپارچه سازی نشان از عملکرد بهتر هر دوی آنها داشت (Köhler, Wiartalla and Feige, 2007). در کشور های مختلف تحقیقات زیادی پیرامون عملکرد و اندازه گیری انرژی و اثرات حرارتی هر کدام از این تکنولوژی ها صورت گرفته اما تحقیقات انجام گرفته بر روی ادغام پشت بام سبز و سیستم فتوولتائیک بسیار محدود است. این مقاله مزایای این ادغام و تحقیقات انجام شده در جهان تا امروز را مورد بررسی قرار می دهد. امید است که این مقاله باعث درک بهتر این ادغام و گسترش استفاده از انرژی های تجدید پذیر و طراحی ساختمان های پایدار گردد.

مباحث و ساختار کلی

سه مبحثی که باید در ابتدا مورد بررسی قرار گیرند به ترتیب عوامل مؤثر بر بازدهی پنل های خورشیدی، ویژگی های حرارتی سقف سبز، محل قرارگیری و نصب پنلها بر روی پشت بام هستند.

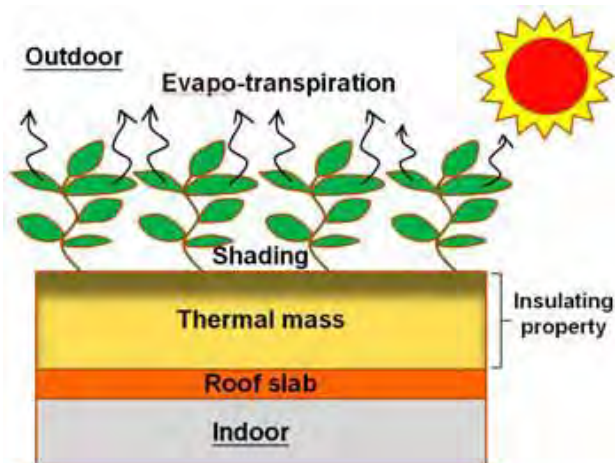
۱- عوامل مؤثر بر بازدهی پنل های خورشیدی

نسبت برق و الکتریسیته تولید شده توسط پنل به مقدار تابش خورشید به سطح آن بازده الکتریکی پنل را مشخص می کند. دو عامل که بر روی بازدهی پنل تأثیر بسزایی دارند درجه حرارت محیط و میزان گردوغبار است (H. Cutforth and D. Judiesch 2007). درجه حرارت از عوامل ابتدایی است که راندمان پنل را تحت تأثیر قرار می دهد. دمای بالای سطح پشت بام میزان رسانایی کریستال های نیمه رسانای پنل را افزایش داده که به نوبه خود باعث کاهش ولتاژ می گردد. دمای بالا می تواند تولید برق پنل را تا ۲۵٪ کاهش داده و به میزان ۵٪.۴ به ازای هر درجه سانتی گراد از قابلیت سیلیکون های کریستالی پنل کم کند. حال تنها راه برای حل این شکل و افزایش بازده پنل پیدا کردن روشی برای کاهش دمای اطراف پنل است (Köhler, Wiartalla and Feige 2007). دیگر عامل مؤثر بر راندمان سیستم های خورشیدی آلودگی هوا و ذرات گردوغبار موجود در هواست. انباشته شدن غبار بر روی سطح ماژول مانع از رسیدن نور خورشید شده و بخشی از تابش خورشید را نیز بازتاب می کند و خروجی پنل را پایین می آورد (Meral and Dinçer, 2011; Parida, Iniyani and Goicm 2011). بازدهی پنل ها به سبب انباشته شدن گردوغبار خاکستر به میزان 0.4 gr/cm^2 در حدود ۵٪.۱ کاهش می یابد. هر چند که محاسبه ی دقیق این مقدار به علت وضعیت های گوناگون آب و هوای مناطق مختلف کاری دشوار است و نیازمند مطالعه ی موردی است (Köhler, Wiartalla and Feige 2007).

۲- ویژگی های دمایی و حرارتی سقف سبز

عوامل خارجی آب و هوا نظیر میزان تابش خورشید، دمای خارجی، رطوبت نسبی و باد هنگامی که از شاخ و برگ گیاهان عبور می کند کاهش پیدا کرده و یا تغییر می کنند. حجم زیادی از نور خورشید توسط گیاهان جذب شده که باعث رشد بهتر و سریع تر گیاه و انجام گرفتن فرآیندهای زیستی گیاه از قبیل فتوسنتز،

تبخیر و تعرق و تنفس می‌شود (Del Barrio, 1998; Niachou, et al., 2001; Feng, Meng and Zhang, 2010). میزان گرمای انتقال پیدا کرده از سقف سبز تحت تأثیر ۴ مکانیزم است. ۱- تبخیر و تعرق ۲- سایه‌های گیاهان ۳- عایق حرارتی ۴- ذخیره‌سازی حجم حرارتی (Hui, 2009).
 شکل زیر مفاهیم اولیه‌ی ویژگی‌های حرارتی سقف سبز را نشان می‌دهد (Hui, 2009).



مزایای حرارتی سقف سبز می‌تواند از دو منظر تأثیرات داخلی و تأثیرات خارجی مورد مطالعه قرار گیرد. اول تأثیرات داخلی یا مستقیم بر روی ساختمان که می‌تواند دمای سقف را کنترل کند و باعث حفظ حرارت ساختمان شده و انرژی مصرفی آن را کاهش می‌دهد (Castleton, et al., 2010; Hui, 2010; Hui, 2006). دوم تأثیرات خارجی یا غیرمستقیم است که بر روی محیط اطراف اثر گذاشته و دمای مناطق شهری را کاهش داده و مضرات بالا بودن دما را تخفیف می‌دهد. از دیگر تأثیرات سقف سبز می‌توان به وجود لایه‌های عایق آن اشاره کرد که علاوه بر حفاظت و افزایش عمر مفید پشت‌بام مانع از رسیدن رطوبت و نور آفتاب به سطح آن می‌شود (Castleton, et al., 2010).

۲- محل قرارگیری پنل‌ها بر روی پشت‌بام سبز

پنل‌های خورشیدی باید بالای سطح گیاه قرار گیرد تا از ایجاد سایه‌ی گیاه بر روی ماژول جلوگیری گردد. بر روی سقف‌های مسطح گیاهان کاشته شده باید به صورت گسترده و با ارتفاع کم باشد (Köhler, et al., 2002). سازه‌هایی که برای نصب پنل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای ارتفاع و زاویه‌ی مناسب برای جذب حداکثری تابش خورشید باشد به گونه‌ای که گیاهان زیر آن نیز از سایه‌ی ماژول‌ها استفاده کنند (Köhler, Wiartalla and Feige, 2007).
 شکل زیر نحوه‌ی نصب صحیح پنل‌ها را نشان می‌دهد (Peck and van der Linde, 2010).



فریم پنل‌ها از جنس آلومینیم و پلاستیک ساخته می‌شود و بر روی خود ماژول نیز لایه‌ای پوششی وجود دارد تا به آب باران اجازه‌ی جاری شدن بدهد و به گیاهان زیر پنل برسد و آب مورد نیاز آن‌ها را تأمین کند. وجود فریم پنل‌ها و توزیع نیرو بر روی آن و وجود گیاهان در زیرسازه‌ی پنل‌ها از وارد آمدن نیروهای نقطه‌ای به سطح پشت‌بام جلوگیری می‌کند (Peck and van der Linde, 2010; Makrides, et al., 2009).

تحلیل و شبیه‌سازی انرژی ساختمان به کمک نرم‌افزار

یکی از نرم‌افزارهایی که می‌توان کمک شایانی به تحلیل و شبیه‌سازی انرژی ساختمانی بکند نرم‌افزار Energy plus که با استفاده از آن می‌توان اثرات و نتایج ادغام پشت‌بام سبز و سیستم فتوولتائیک را بر انرژی ساختمان محاسبه کرد (Sailor, Wamser and Rosenstiel, 2010).

برای این منظور چهارمدل را برای شبیه‌سازی انتخاب می‌کنیم. حالت اول: پشت‌بام عادی ساختمان بدون استفاده از سیستم‌ها حالت دوم: سقف با تکنولوژی پشت‌بام سبز حالت سوم: سقف با تکنولوژی ماژول‌های فتوولتائیک و حالت چهارم: سقف با استفاده از هر دو تکنولوژی. تمامی این مدل‌ها بر روی پشت‌بامی ۱۲ طبقه در هنگ‌کنگ با مساحت 46320m^2 قرار گرفته است (Hui, 2009).

میزان مصرف انرژی سالیانه این ساختمان

در این شبیه‌سازی به جای محاسبه‌ی اثرات انرژی به محاسبه‌ی میزان انرژی مصرفی تک‌تک قطعات روشنایی و تهویه‌ی ساختمان می‌پردازیم. از این جهت از برق تولیدی پنل تنها برای روشنایی و از سقف سبز فقط برای بار حرارتی ساختمان استفاده می‌کنیم. نتیجه‌ی به دست آمده نشان می‌دهد که پنل‌ها در حالت ادغام در مقایسه با سقف معمولی 118Gj بیشتر انرژی تولید می‌کند. اما در مورد تهویه‌ی محیط مقادیر مصرف انرژی بسیار به هم نزدیکند که علت آن را می‌توان کوچک بودن سطح پشت‌بام نسبت به مساحت کل ساختمان در نظر گرفت (Hui, 2009).

پس از محاسبه‌ی انرژی تولیدی پنل‌ها به صورت ماهیانه مشخص شد که میزان خروجی در حالت ادغام ۸٪ بیشتر از حالت غیرادغام است (Hui, 2009).

بررسی برخی موارد انجام شده در جهان

هر یک از تکنولوژی‌های پنل‌های فتوولتائیک و پشت‌بام سبز به طور گسترده در نقاط مختلف جهان از جمله ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند اما تعداد پروژه‌هایی که این سیستم در آن ترکیب شده باشند بسیار محدوداند.

۱- HKU main library

به جهت بررسی مشکلات عملی ادغام سقف سبز و سیستم فتوولتائیک اندازه‌گیری‌های میدانی بر روی پشت‌بام HKU انجام گرفت. این مطالعه به کمک دو پنل یکسان که بر روی سقف بدون پوشش گیاهی و سقف سبز نصب شده بود، صورت گرفت. در این تحقیق دما در نقاط مختلف و توان خروجی پنل به کمک سنسورها و وسایل اندازه‌گیری ثبت شد. اندازه‌گیری دما در سطح خاک نشان می‌دهد که در حالت ادغام دمای سطح خاک بین ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر است که این تأثیر سایه‌ی پنل را نشان می‌دهد. این اعتقاد وجود دارد که این سایه در بهبود رشد گیاه، مؤثر است. پس از ثبت دما در سطح روی پنل مشخص شد که دما در حالت ادغام در سطح پنل بین ۵ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر است. این پایین‌تر بودن دما موجب شد که پنل در حالت ادغام ۰.۳٪ برق بیشتری تولید کند (Hui and Chan, 2010).

۲- UFK factory

UFK یک ساختمان قدیمی است که برای اولین بار سقف سبز در سال ۱۹۸۴ بر روی پشت‌بام آن نصب شد. در این طرح آزمایشی بخشی از ساختمان دارای تکنولوژی پشت‌بام‌سبز بدون پنل و قسمت دیگر دارای هر تکنولوژی بود تا بتوان تفاوت آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. از طرفی استفاده از پنل‌های متحرک (تراک‌های خورشیدی) در کنار پنل‌های ثابت از دیگر ویژگی‌های این طرح بود. این آزمایش نشان داد که در بخش دارای پنل تعداد گونه‌های کشت شده، ارتفاع متوسط و ارتفاع نهایی گیاهان بهبود پیدا کرده و افزایش یافته است (Köhler, et al., 2002).

برای دستیابی به بیشترین خروجی پنل نیاز است که زاویه‌ی پنل با زاویه‌ی تابش نور خورشید در حالت قائم باشد تا بیشترین تابش خورشید به سطح پنل برسد. در پنل‌های ثابت برای رسیدن به این مهم با توجه به عرض جغرافیایی آن را در زاویه‌ای قرار می‌دهند که بیشترین تابش را دریافت کند اما سیستم متحرک (تراک‌های خورشیدی) همواره جهت خورشید را دنبال کرده و در تمام طول روز در زاویه‌ای عمود بر جهت تابش قرار می‌گیرد که این امر موجب افزایش خروجی می‌گردد. در این آزمایش مشخص کرد که استفاده از تراک‌های خورشیدی به طور میانگین در حدود ۲۰٪ افزایش تولید و خروجی را به دنبال خواهد داشت (Köhler, et al., 2002).

نتایج

پس از انجام آزمایشات و مطالعات موردی در نقاط مختلف جهان این باور به وجود آمده است که دو سیستم پشت‌بام سبز و پنل‌های فتوولتائیک می‌توانند بدون هیچ محدودیت و رقابتی در کنار یکدیگر قرار بگیرند (Köhler, Wiartalla and Feige, 2007). براساس نتایج به دست آمده از آزمایشات می‌توان نتیجه گرفت که این ادغام می‌تواند هم بر عملکرد هر یک از این دو تکنولوژی و هم بر محیط اطراف و ساختمان تأثیر مثبت گذاشته و مزایایی را به دنبال داشته باشد. از جمله فواید این ادغام بر محیط اطراف و ساختمان می‌توان به زمینه‌سازی انرژی ساختمان و جلوگیری از هدررفت آن و بهبود دمای هوای شهری و کاهش کربن دی‌اکسید و گردوغبار موجود در هوا اشاره کرد. میزان دستیابی به این فواید و مزایا به نحوه‌ی طراحی و بهینه‌سازی این دو سیستم بستگی دارد و رسیدن به ماکزیمم راندمان نیازمند مطالعه و داشتن دانش کافی در مورد تأثیرات متقابل این دو تکنولوژی است (Peck and van der Linde, 2010).

۱- فواید پشت‌بام سبز

فاصله‌ی پوشش گیاهی از پنل‌ها، ارتفاع گیاهان و نوع پوشش گیاهی از عوامل مهم در طراحی پشت‌بام سبز محسوب می‌شود. پوشش گیاهی موجب کاهش دمای خالص اطراف خود شده که این مسئله باعث افزایش بازده و خروجی پنل شده و گرمای حاصله از پنل هنگام تولید الکتریسیته در طول روز را کاهش می‌دهد. سایز و مساحت پوشش گیاهی نیز باید مورد توجه قرار گیرد تا بتواند به اندازه کافی محیط اطراف خود را خنک کرده و اثراتی که مدنظر است را داشته باشد. قرارگیری گیاهان در کمترین فاصله نسبت به پنل باعث تأثیر مستقیم آن‌ها بر روی پنل از طریق تبخیر و تعرق می‌شود. استفاده از سیستم آبیاری اسپرینگ نیز باعث کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت شده و می‌تواند یک غبار آب در محدوده‌ی اطراف خود ایجاد کند. با نصب صحیح سیستم آبیاری می‌توان گردوغبار اطراف پنل‌ها را نیز کاهش داد. ارتفاع پوشش گیاهی نیز باید در نظر گرفته شود چرا که ارتفاع زیاد گیاهان باعث ایجاد سایه روی سطح پنل گردیده و به علت سری بودن پنل خروجی آن را شدیداً کاهش می‌دهد.

۲- کاربرد و مزایای پنل‌های خورشیدی

برق تولید شده توسط پنل‌های فتوولتائیک برای تأمین برق مورد نیاز پمپ‌های آب، روشنایی و دیگر لوازم الکتریکی استفاده می‌شود. این برق می‌تواند وارد شبکه شده و هزینه‌ی تمام شده برق ساختمان‌ها و منازل را کاهش دهد. هم‌چنین استفاده از ماژول‌های خورشیدی باعث کم کردن هزینه‌ی سیم‌کشی می‌گردد.

این پنل‌ها با ایجاد سایه روی سطح پشت‌بام از تابش مستقیم خورشید به گیاه و تعرق بیش از اندازه ی گیاه جلوگیری کند که خود موجب افزایش رشد گیاه و پوشش گیاهی می‌گردد.

۳- دیگر ملاحظات

از نکاتی که باید به آن توجه کرد این است که هر کدام از این دو سیستم قطعات بسیار زیادی دارند و باید در هنگام طراحی به وزن این قطعات و آب جمع شده حاصل از آبیاری دقت کرد. از جمله محدودیت‌هایی که بر سر طراحی وجود دارد مقاومت ساختمان در برابر این وزن است و نیاز است که طراح آن‌ها را متناسب با استحکام سقف ساختمان طراحی کند. نکته دیگر این است که سقف سبز و پوشش گیاهی نیازمند مراقبت‌ها و اقداماتی نظیر آبیاری، خرس کردن، زه‌کشی و کوددهی است که باید به صورت دوره‌ای انجام پذیرد. گیاهان نیز باید به گونه‌ای انتخاب گردند که حداقل مراقبت را نیاز داشته باشند از طرفی پنل‌های خورشیدی نیز باید راهروهایی ایجاد کرد تا بتوان بدون لگدمال کردن گیاهان آن‌ها را بازدید و یا تعمیر کرد.

نتیجه گیری

با توجه به افزایش مهاجرت روستاییان و جمعیت شهرها نیاز به شناخت تکنولوژی های جدید و استفاده از آنها برای دستیابی به ساختمان پایدار بیشتر احساس می شود. ادغام پشت بام سبز و سیستم فتوولتاییک باعث بهبود عملکرد آنها شده و خروجی هر دو را افزایش می دهد. این مقاله موارد انجام شده در جهان و نتایج آنها را مورد بررسی قرار می دهد. نتایج حاکی از آن است که دمای سطح خاک و پشت بام به علت اثر سایه ی پنل پایین تر است و رشد گیاه بهتر است. خروجی پنل نیز افزایش می یابد چرا که پایین بودن دمای هوا موجب افزایش راندمان پنل می گردد. برای دستیابی به بهترین عملکرد باید این دو سیستم را به صورت بهینه طراحی کرد.

منابع

- Castleton, H. F., *et al.*, 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit, *Energy and Buildings*, 42 (10): 1582-1591.
- Del Barrio, E. P., 1998. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, *Energy and Buildings*, 27 (1998): 179-193.
- Droege, P.(2001), *Design and Planning after Globalisation: Cities in the age of Climate change and Fossil Fuel Depletion*. Reprints 38th IFLA World-Congress, June 2001, K 39 – K60, Singapore.
- Feng, C., Meng, Q. and Zhang, Y., 2010. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs, *Energy and Buildings*, 42 (6): 959-965.
- Ho, S. K., Chan, J. K. C. and Lau, I. P. L., 2007. Performance evaluation of a large building integrated photovoltaic system in Hong Kong, paper presented at *the International Conference on Electrical Engineering 2007*, Hong Kong, 4 pages.
- Hui, S. C. M., 2010. Development of technical guidelines for green roof systems in HongKong, In *Proceedings of Joint Symposium 2010 on Low Carbon High Performance Buildings*, 23 November 2010, Hong Kong, 8 pages.
- Hui, S. C. M., 2009. *Study of Thermal and Energy Performance of Green Roof Systems: Final Report*, Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong.
- Hui, S. C. M. and Chan, H. M., 2008. Development of modular green roofs for high-density urban cities, paper presented at *the World Green Roof Congress 2008*, 17-18 September 2008, London, 12 pages.
- Hui, S. C. M., 2006. Benefits and potential applications of green roof systems in Hong Kong, In *Proceedings of the 2nd Megacities International Conference 2006*, 1-2 December 2006, Guangzhou, China, pp. 351-360.
- Kaldellis, J. K. and Fragos, P., 2011. Ash deposition impact on the energy performance of photovoltaic generators, *Journal of Cleaner Production*, 19 (4): 311-317.
- Köhler, M., Wiartalla, W. and Feige, R., 2007. Interaction between PV-systems and extensive green roofs, In *Proceedings of the Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show*, Minneapolis, April 29-May 1, 2007, 16 pages.

- Köhler, M., *et al.*, 2002. Photovoltaic-panels on greened roofs: positive interaction between two elements of sustainable architecture, In *Proceedings of the RIO 02 - World Climate & Energy Event*, January 6-11, 2002, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 151-158.
- Krauter, S. and Hanitsch, R.: *Actual Optical and Thermal Performance of PV Modules*. In: *Solar Energy Materials and Solar Cells* 41/42 (1996) pp. 557-574.
- Li, H.W., Cheung, H.W. and Lam, C., 2005. Analysis of the operational performance and efficiency characteristic for photovoltaic system in Hong Kong, *Energy Conversion and Management*, 46 (2005): 1107-1118.
- Makrides, G., *et al.*, 2009. Temperature behavior of different photovoltaic systems installed in Cyprus and Germany, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93 (2009): 1095-1099.
- Meral, M. E. and Dinçer, F., 2011. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (5): 2176–2184.
- Niachou, A., *et al.*, 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings*, 33 (2001); 719–729.
- Parida, B., Niyan, S. and Goicm R., 2011. A review of solar photovoltaic technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3): 1625-1636.
- Peck, S. W. and van der Linde, D., 2010. System integration, *Eco-structure*, September 2010.
- Sailor, D. J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs, *Energy and Buildings*, 40 (8): 1466-1478.
- Sailor, D. J., Wamser, C. and Rosenstiel, T., 2010. Solar PV and green roof integration - performance and design considerations, an invited presentation at *the 8th Annual GreenRoof & Wall Conference – Cities Alive*, Vancouver, Canada.
- Wachsmann, U., (2000), *Technische und ökonomische Bewertung einer Ertragssteigerung durch Modulvorderseitenkühlung an Photovoltaischen Pumpsystemen*. Diplomarbeit, TU Berlin, 2000.
- Witmer, L. T. and Brownson, J. R. S., 2010. System integrative design in the 2009 Penn State Solar Decathlon net-zero energy home, In *Proceedings of the SOLAR 2010 Conference Proceedings*, May 17-22, 2010, Phoenix, Arizona, American Solar Energy Society, 4 pages.
- Wong, N. H., *et al.*, 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, *Building and Environment*, 38 (2003): 261–270.
- Laar, M., Köhler, M., Grimme, F.W.; Gusmão, F.; de Assunção Paiva, V.; Tavares, S.; Schmidt, M.; Augusta de Amigo, N., Souza, C.G. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. ENCAC 2001, Campinas
- Weisser, D. 2007. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, *Energy*, 32(9): 1543-1559
- Weisser, D. 2007. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, *Energy*, 32(9): 1543-1559
- Teemusk, A. and Ü. Mander. 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events, *Ecological Engineering*, 30(3): 271-277
- H. Cutforth and D. Judiesch, “Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie.” *Agricultural and Forest Meteorology*, no. 145, pp. 167–175, 2007