

مطالعه‌ی تجربی ترکیب گردآورنده‌های خورشیدی حرارتی و الکتریکی

نغمه حسینی¹

¹ کارشناس نظارت بر بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی

چکیده

در ایران و جهان درصد انرژی بسیاری در ساختمان‌ها صرف می‌شود که این مقدار بیان‌گر هزینه‌ای بسیار و از بین بردن منابع طبیعی و تخریب محیط زیست در بعد وسیعی است. امروزه، یک راه حل برای رفع نیازهای انرژی، استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک برای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی و سیستم‌های حرارتی خورشیدی برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی است. یکی از مهم‌ترین مشکلات سیستم‌های فتوولتائیک، راندمان پایین تبدیل انرژی سلول‌های فتوولتائیک است. علاوه بر این، با افزایش دمای سلول‌ها از حد مشخصی، راندمان عملکرد این سلول‌ها کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های افزایش راندمان سیستم‌های فتوولتائیک، خنک کردن آنهاست. در این مطالعه‌ی تجربی، یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک بررسی شده که با فیلم نازکی از آب خنک گشته و در آن یک سیستم اضافه برای استفاده از حرارت منتقل شده به فیلم آب به‌کار رفته است. اندازه‌گیری‌های تجربی برای سیستم‌های ترکیبی و پانل معمولی نشان می‌دهند که دمای پانل فتوولتائیک در سیستم ترکیبی، نسبت به دمای پانل معمولی پایین‌تر است. نتایج نشان می‌دهند که راندمان الکتریکی سیستم ترکیبی نسبت به پانل معمولی بالاتر است. علاوه بر این، از آن‌جا که حرارت خارج شده از پانل فتوولتائیک توسط فیلم آب هدر نرفته است، راندمان کلی سیستم ترکیبی بیش از سیستم معمولی است.

کلمات کلیدی: خنک‌کاری سیستم‌های فتوولتائیک، راندمان الکتریکی، سیستم ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی، راندمان کلی

تاریخچه

مشکلات زیست محیطی استفاده‌ی بیش از حد سوخت‌های فسیلی برای تولید الکتریسیته و نیز، استفاده از موتورهای احتراق، روز بروز افزایش می‌یابد. از طرفی، منابع انرژی با گذشت زمان رو به کاهش هستند. برای حل این مشکلات منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان منبع جدیدی برای انرژی مطرح شده‌اند. انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر است. سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی عموماً در دو دسته قرار می‌گیرند. سیستم‌های حرارتی که انرژی خورشیدی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند و سیستم‌های فتوولتائیک که انرژی خورشیدی را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. تلاش‌های زیادی برای کاهش هزینه‌ی تولید سلول‌های فتوولتائیک و افزایش راندمان آن‌ها و کاهش فاصله‌ی بین فتوولتائیک و روش‌های معمول برای تولید توان مانند توربین‌های بخار و گاز صورت گرفته است. کارهای زیادی برای کاهش هزینه‌ی تولید آرایه‌های فتوولتائیک، بهبود راندمان سیستم و جمع‌آوری

انرژی بیشتر در واحد سطح آرایه انجام شده است. عملکرد سیستم فتوولتائیک تحت تأثیر پارامترهای مختلفی از جمله دما می‌باشد. بخشی از تشعشع خورشیدی جذب شده که به الکتریسیته تبدیل نشده است، به انرژی حرارتی تبدیل گشته و سبب کاهش راندمان الکتریکی می‌گردد. این اثر نامطلوب که منجر به افزایش دمای سلول می‌شود و راندمان الکتریکی را کاهش می‌دهد، توسط یک روش مناسب خروج حرارت، می‌تواند تعدیل شود. سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک/حرارتی متشکل از مدول‌های فتوولتائیک و کلکتورهای حرارتی برای خنک‌کاری سلول‌های فتوولتائیک، استفاده از حرارت تولید شده توسط پانل و افزایش انرژی خروجی سیستم قابل کاربرد هستند. با گردش مناسب یک سیال با دمای ورودی پایین، حرارت از پانل خارج گشته و راندمان الکتریکی در حد مناسبی قرار می‌گیرد. انرژی حرارتی خارج شده، به روش‌های مختلفی قابل استفاده است و بدین طریق، می‌توان انرژی خروجی سیستم را افزایش داد.

محققین زیادی در این زمینه کار کرده‌اند و روش‌های مختلفی برای طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی پیشنهاد داده‌اند تا با خنک‌کاری مدول فتوولتائیک، راندمان سیستم را بهبود بخشیده و انرژی بیشتری جمع‌آوری شود. جزئیات سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی توسط محققین زیادی از سال 1978 مطرح شده است [1-5]. تریپانگ نستوپولس [6] سیستم‌های ترکیبی خورشیدی فتوولتائیک/حرارتی را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار داد و برای خروج حرارت از پانل فتوولتائیک، از دو سیال آب و هوا در پشت صفحه‌ی پانل استفاده نمود. در سیستمی که وی مورد آزمایش قرار داد، آب در لوله‌هایی جریان داشت که توسط یک صفحه‌ی صاف مسی به پشت پانل متصل بودند و بدین طریق، تماس حرارتی ایجاد می‌شد. کالوگیرو و تریپانگ نستوپولس [7] به صورت تحلیلی، مزایای سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی را نسبت به مدول‌های فتوولتائیک معمولی نشان داده و از نظر انرژی و هزینه، کاربرد یک سیستم ترکیبی را توجیه نمودند.

یک روش خنک‌کاری مدول فتوولتائیک، جریان دادن فیلم آب روی سطح مدول فتوولتائیک، برای کاهش دمای سطح آن است. با استفاده از این روش، انعکاس هم کاهش می‌یابد و راندمان الکتریکی بهبود می‌یابد. کراتر [8] تأثیر خنک‌کاری با فیلم آب را روی توان مدول فتوولتائیک بررسی نمود. عبدالله‌زاده و عامری [9] با استفاده از پاشش آب روی سطح مدول فتوولتائیک، عملکرد یک سیستم پمپاژ آب را بهبود بخشیدند. یک فیلم نازک و پیوسته‌ی آب روی سطح پانل جریان داشته که این کار بدون چرخش مجدد همان آب انجام می‌شد. مزیت خنک‌کاری سیستم فتوولتائیک با ایجاد فیلم آب روی سطح پانل، حصول راندمان الکتریکی بالاتر به خاطر کاهش



شکل 2: سیستم پمپاژ و مبدل حرارتی در سیستم ترکیبی فتوولتائیک/حرارتی

هر دو پانل به سمت جنوب با زاویه‌ی 29° قرار داده شدند. شدت تشعشع با یک سلاریمتر مدل Kimo SL100 اندازه‌گیری گشت که در گوشه‌ی یکی از پانل‌ها با زاویه‌ی یکسان با پانل‌ها نصب شد. دمای محیط در فاصله‌های زمانی مشخص در سایه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دمای پانل‌ها، ترموکوپل‌های تماسی نوع K به کار رفت. برای اندازه‌گیری دمای آب قبل و بعد از جاری شدن روی سطح پانل و نیز در خروج از مبدل حرارتی، از ترموکوپل‌های استاندارد نوع K استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها برای هر دو پانل به‌طور همزمان در یک دوره‌ی 14 روزه در ماه شهریور سال 1389 در تهران (عرض جغرافیایی: 35°41'، طول جغرافیایی: 51°25') و در فواصل زمانی 10 دقیقه‌ای صورت گرفت.

نتایج

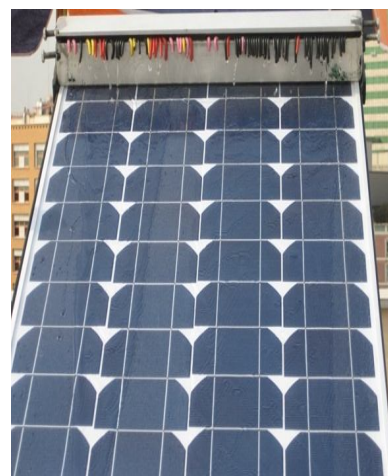
در این بخش، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مربوط به روز 17 شهریور سال 1389 آورده شده‌اند. تغییرات شدت تشعشع رسیده به سطح پانل‌ها در طول روز انجام آزمایش در شکل 3 نشان داده شده است. با توجه به جریان آب و خنک‌سازی اضافه توسط تبخیر آب، دمای کاری اندازه‌گیری شده در پانل استفاده شده در سیستم ترکیبی بسیار پایین‌تر از پانل مرجع است. همان‌گونه که در شکل 4 مشاهده می‌شود، ماکزیمم اختلاف دمای 18/7°C بین دو پانل قابل استفاده است. این کاهش دما، سبب بهبود راندمان الکتریکی می‌شود که در شکل 5 نیز، قابل مشاهده است.

اتلاف انعکاسی علاوه بر کاهش دماست. عیب این نوع سیستم در این است که حرارت حاصله توسط آبی که روی سطح آرایه‌ی فتوولتائیک جریان یافته، هدر می‌رود.

هدف تحقیق تجربی حاضر، بررسی عملکرد یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک است که توسط یک سیستم خنک‌کاری تجهیز شده است. در این سیستم ترکیبی یک فیلم نازک آب از بالای سطح پانل جریان می‌یابد و سیستم اضافه‌ای برای استفاده از آب گرم تولیدی توسط سیستم نیز، در نظر گرفته شده است.

روش تجربی

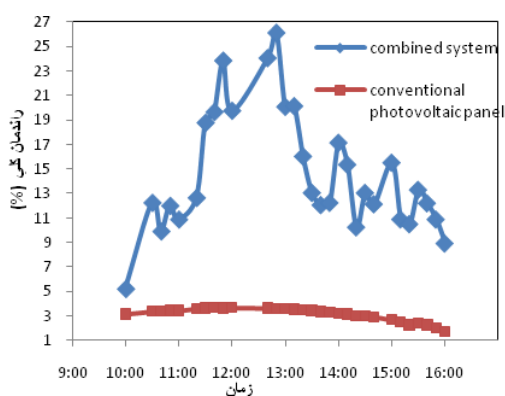
دستگاه تجربی از دو پانل فتوولتائیک مشابه اما مجزا با سطح 0/44 متر مربع تشکیل شده است. ولتاژ و جریان ماکزیمم خروجی پانل‌ها به ترتیب 23 ولت و 2/16 آمپر می‌باشد. توان ماکزیمم خروجی نیز، 60 وات است. یکی از پانل‌ها در یک سیستم ترکیبی همراه با جریان فیلم نازکی از آب روی سطح پانل همراه است و نیز، یک سیستم اضافه برای استفاده از حرارت تولید شده توسط پانل در این سیستم ترکیبی قرار دارد. پانل دیگر، بدون تجهیزات اضافه، به عنوان پانل مرجع است. برای ایجاد فیلم نازک آب روی سطح پانل فتوولتائیک، از یک لوله استفاده شد که یک حاشیه‌ی طولی در روی لوله ایجاد گشته و این لوله در بالای پانل قرار گرفته است (شکل 1 مشاهده گردد). آبی که توسط یک پمپ با قدرت 0/25 اسب بخار به لوله‌ی تغذیه پمپ شده، از حاشیه روی سطح پانل جاری گشته و یک فیلم نازک را ایجاد می‌کند. آبی که در پایین پانل جمع می‌شود، از داخل یک لوله‌ی فین‌دار عبور نموده که به عنوان یک مبدل حرارتی و وسیله‌ای برای مصرف حرارت گرفته شده توسط آب، مورد استفاده قرار گرفته است. نقش دیگر لوله‌ی فین‌دار، پخش حرارت به محیط و ایجاد دمای یکنواخت و پایین برای آبی است که از بالای پانل جاری می‌شود. نرخ جریان، $1 \frac{\text{لیتر}}{\text{دقیقه}}$ می‌باشد. سیستم پمپاژ و مبدل حرارتی که در سیستم ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 1: نمای جلو از پانل فتوولتائیک خورشیدی تجهیز شده با مولد فیلم آب

شده توسط پانل، دمای پانل را کاهش می‌دهد. کاهش دما با توجه به حرارت جذب شده توسط آب، قابل قبول است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که حرارت جذب شده توسط آب که روی سطح پانل جاری می‌شود، هنگام عبور از مبدل حرارتی، خارج شده و تقریباً به دمای آب در بالای پانل نزدیک می‌شود.

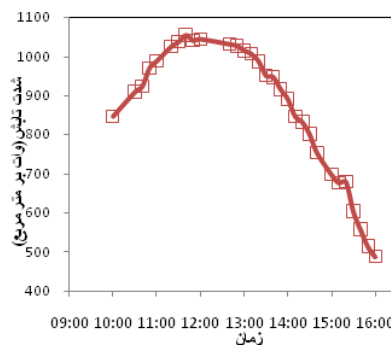
راندمان کلی به صورت کل انرژی خروجی سیستم در مقایسه با انرژی رسیده به سیستم تعریف می‌شود. برای سیستم معمولی، کل انرژی خروجی سیستم شامل انرژی الکتریکی تولیدی می‌باشد. انرژی حرارتی خروجی به صورت افزایش انرژی درونی آب جاری روی پانل با توجه به افزایش دمای آب تعریف می‌شود ($m \cdot c_p \cdot \Delta T$). با توجه به حرارت مخصوص بالای آب، افزایش دمای آب بسیار کوچک است. همان‌گونه که در شکل 6 مشهود است، در سیستم ترکیبی، راندمان کلی نسبت به سیستم معمولی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است.



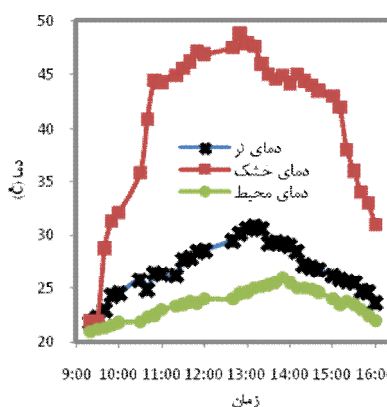
شکل 5: مقایسه تغییرات راندمان کلی سیستم ترکیبی با سیستم معمولی در طول روز انجام آزمایش

نتیجه‌گیری

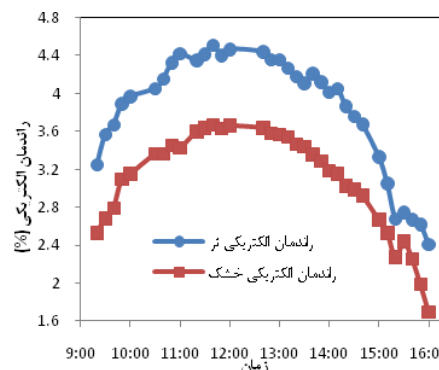
راندمان پانل فتوولتائیک نسبت به دمای پانل حساس بوده و با افزایش دمای پانل، کاهش می‌یابد. یکی از راه‌های بهبود عملکرد سیستم، پوشاندن سطح پانل با فیلم نازکی از آب است که هم دمای سطح پانل و هم اتلافات انعکاسی را کاهش می‌دهد. نتایج کار حاضر، نشان می‌دهد که وقتی دمای پانل در سطح مشخصی قابل کنترل باشد، آب جمع‌آوری شده در پایین پانل قابل استفاده برای گرمایش می‌باشد. بنابراین، وقتی آب مجدداً به بالای پانل پمپاژ می‌شود، در سطح دمایی قابل قبولی برای جاری شدن مجدد روی سطح پانل خواهد بود. در سیستم ترکیبی مورد آزمایش، استفاده از فیلم آب برای خنک‌کاری پانل فتوولتائیک، منجر به کاهش دما و اتلاف انعکاسی پانل فتوولتائیک و افزایش راندمان الکتریکی سیستم ترکیبی گشت. بنابراین، کل انرژی خروجی سیستم ترکیبی (انرژی حرارتی و الکتریکی جمع‌آوری شده در واحد سطح) در مقایسه با انرژی خروجی سیستم معمولی (انرژی الکتریکی) افزایش قابل ملاحظه‌ای داشت.



شکل 3: تغییرات شدت تشعشع در طول روز انجام آزمایش



شکل 4: مقایسه تغییرات دمای سطح پانل در سیستم ترکیبی با دمای پانل در سیستم معمولی در طول روز انجام آزمایش



شکل 5: مقایسه تغییرات راندمان الکتریکی سیستم ترکیبی با سیستم معمولی در طول روز انجام آزمایش

نتایج تجربی نشان دادند که فیلم پیوسته‌ی آب روی سطح پانل فتوولتائیک دو تأثیر مهم بر عملکرد سیستم دارد. اولاً، انعکاس تشعشع خورشیدی را کاهش می‌دهد. ثانیاً، با جذب حرارت تولید

- [1] E.C. Kern and M.C. Russel, Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, Proceedings of the 13th IEEE Photovoltaic Specialists, 1978, pp. 1153–1157.
- [2] S.D. Hendrie, Evaluation of combined photovoltaic/thermal collectors, Proceedings of international ISES Conference, 1979, pp. 1865–1869.
- [3] L.W. Florschuetz, Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors, Journal of Solar Energy 22, 1979, pp. 361–366.
- [4] P. Raghuraman, Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/thermal, flat-plate collector performance, Journal of Solar Energy Engineering 103, 1981, pp. 291–298.
- [5] C. H. Cox and P. Raghuraman, Design considerations for flat-plate photovoltaic/thermal collectors, Journal of Solar Energy 35, 1985, pp. 227–241.
- [6] Y. Tripanagnostopoulos, Hybrid Photovoltaic/Thermal Systems, Journal of Solar Energy 72, 2002, pp. 217–234.
- [7] S.A. Kalogirou and Y. Tripanagnostopoulos, Industrial application of PV/T solar energy systems, Journal of Energy Conversion and Management 47, 2006, pp. 3368–3382.
- [8] S. Krauter, Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels, Journal of Solar Energy Materials & Solar Cells 82, 2004, pp. 131–137.
- [9] M. Abdolzadeh and M. Ameri, Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells, Journal of Renewable Energy 34, 2009, pp. 91–96.