مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۶، جلد ۴۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۲۵۵-۲۶۰

بررسی تأثیر افزایش شار تابشی انعکاسی بر عملکرد صفحات فتوولتایی

مرتضی گلین رستمی دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران

مصطفی ذکریاپور استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامسر، رامسر، ایران

ناصر کردانی* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

صفحات فتوولتایی انرژی تابشی خورشید را دریافت و به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. هدف از این پژوهش بررسی میزان تغییرات توان و راندمان الکتریکی با استفاده از تغییر شرایط محیطی که صفحه فتوولتایی در آن محل نصب و مورد آزمایش قرار گرفته، می‌باشد. آزمایش در شهرکرد با ارتفاع ۲۰۴۵ متری انجام شده است. میزان توان و راندمان الکتریکی خروجی طی چهار روز به‌طور مداوم و با شرایط یکسان مقایسه شده است که سه روز در شرایط کاملاً یکسان و یک روز با نصب بازتابنده آلومینیومی به ابعاد ۱۲ مترمربع بر سطح زمین بوده است. نتیجه کلی بدین‌صورت است که با نصب بازتابنده آلومینیومی میزان شار تابشی انعکاسی بر دمای سطح صفحه بسیار تأثیرگذار می‌باشد. چنانچه بر روی صفحه عمل خنک‌سازی انجام شود، می‌توان توان الکتریکی را بالا برد. میزان راندمان زمانی که از بازتابنده آلومینیومی استفاده شده است در کمترین حالت ۵/۳۷ درصد و بیشترین حالت ۱۳/۱۱ درصد بوده است. درحالی‌که در روزهای دیگر بدون بازتابنده با شرایط یکسان، کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب ۱۱/۲۷ و ۱۵/۹۹ درصد بوده است.

واژه‌های کلیدی: راندمان الکتریکی، سیستم فتوولتایی ، بازتابنده آلومینیومی، شهرکرد ، نتایج آزمایشگاهی.

An investigation on the effect of the radiation flux reflected on the performance of photovoltaic panels

M Galiyan Rostami Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Nour, Nour, Iran

M Zakariapour Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Ramsar, Ramsar, Iran

N Kordani Department of Mechanical Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Abstract

Photovoltaic panels receive, solar radiation energy, and directly converted into electrical energy. The aim of this study is to evaluate the changes in the electrical power and electrical efficiency by changing environmental condition that photovoltaic cells installed in. The experiment is done in Shahrekord, with a height of 2045 meters. The electrical output power and the efficiency over the four days continuously compared with the same condition, that, three days of this, is in a completely same condition and one day by installing a foil with the size of 12 square meters on the ground. The results show that with installing reflective foil, the radiant flux affects on the surface temperature. By cooling on the panel surface, the electrical power output is enhanced. The efficiency aluminum reflector is used when the maximum at least 5.37 % of the 13.11 percent. While on other days without reflector with the same conditions, minimum and maximum values 11.27 and 15.99 percent respectively.

Keywords: Electrical efficiency, Photovoltaic system, Aluminum reflector, Shahrekord, Experimental results.

۱- مقدمه

هرسال دمای جهانی به‌طور متوسط ۰/۷۶ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. این افزایش دما براثر رشد روزافزون کارخانه‌ها و صنایع سبک و سنگین منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای است که از انقلاب صنعتی قرن ۱۸ میلادی آغاز شده است. این در حالی است که در حال حاضر سهم انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر تنها ۱۴ درصد از سهم کل منابع تأمین‌کننده انرژی است[۱]. از میان منابع تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی فراوان‌ترین و پاک‌ترین منبع می‌باشد[۲]. خورشید به‌عنوان یک جسم سیاه با دمای ۵۷۶۲ کلوین در منظومه شمسی قرار دارد. دمای مرکز خورشید در حدود 8×10^{6} تا 40×10^{6} کلوین تخمین زده شده است. مجموع انرژی خروجی از خورشید $3/8\times10^{20}$ مگاوات است که در تمام جهات منتشر می‌شود که مقدار $1/7\times10^{14}$ از این انرژی به زمین می‌رسد. در این شرایط تخمین زده شده است که ۳۰ دقیقه تابش رسیده به زمین، انرژی موردنیاز یک سال کره‌ی زمین را فراهم می‌کند[۳]. مقدار سالانه انرژی رسیده به سطح زمین، ۱۰۰۰۰ بار بیشتر از مقدار منابع موجود در دسترس است بطوریکه تنها استفاده از۰/۰۱ درصد از این انرژی دریافتی به سطح زمین می‌تواند نیاز انرژی کل جهان را تأمین کند[۴]. از دلایل عمده استفاده از سوخت‌های فسیلی نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران هزینه دسترسی آسان به این سوخت‌ها و قیمت‌های بسیار پایین آن‌ها به دلیل یارانه‌های دولتی است علاوه هزینه موردنیاز برای این مقدار انرژی از نیروگاه با سوخت فسیلی است[۵]. طبق بررسی‌های انجام‌یافته تغییرات شدت تابش در سطح کشور در کمترین حد خود بین ۱۱/۵-۶ مگاژول بر مترمربع متفاوت می‌باشد[۶]. با توجه به وضعیت آب‌وهوایی ایران و بالا بودن میزان تابش اشعه خورشید در واحد سطح، می‌توان انرژی

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: naser.kordani@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۳۰

خورشیدی را به‌عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی در نظر گرفت. سیستم قدرت فتوولتایی به علت شرایط خاص آن ازجمله میزان آلودگی بسیار کم و طبیعت پایدار آن به علت عمر پایدار خورشید، یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد.

در پژوهشی تجربی که توسط حسینی و همکاران[۷] انجام گرفت از صفحه بازتابنده استیل (فولاد) برای افزایش شار تابشی ورودی به صفحه استفاده شده است. با ترکیب صفحات بازتابنده خنک کاری بر روی صفحه فتوولتایی به‌طور هم‌زمان، توان الکتریکی خروجی از ۳۳/۴۷ درصد به ۳۶/۹۵ درصد افزایش یافته است. همچنین راندمان الکتریکی در حالت بازتابنده و خنک کاری برابر با ۱۱/۹ درصد و در حالت بدون بازتابنده و خنک کاری ۱۰/۷۸ درصد گزارش شده است. هلمی و همکاران[۸] از آینه تخت به‌عنوان بازتابندهای تشدیدکننده[1] شار تابشی برای صفحه فتوولتایی نصب‌شده در الدیبای مصر استفاده کردند. نتیجه بدین‌صورت گزارش شده است که راندمان الکتریکی در دو حالت همراه با بازتابنده و در حالت بدون بازتابنده به ترتیب برابر با ۱۲/۶ درصد و ۱۱/۰۲ درصد بوده است. تابعی و همکاران[۹] برای بررسی میزان تأثیر سرمایش با آب بر روی صفحات فتوولتایی آزمایشی ترتیب دادند که شامل استفاده از صفحات بازتابنده آلومینیومی در مقابل صفحه با زاویه ۹۰ درجه بوده است. جریان آب از طریق یک پمپ متصل به صفحه که از برق صفحه تغذیه می‌کند تأمین می‌شود. نتیجه آزمایشات بدین‌صورت بوده که دبی پمپ با صفحات آلومینیوم انعکاس‌دهنده برابر با ۱۸ درصد افزایش یافته و در مورد استفاده هم‌زمان از انعکاس‌دهنده آلومینیومی و فیلم آب ۴۸ درصد افزایش نسبت به صفحه معمولی گزارش شده است. کردزاده و همکاران[۱۰] تأثیر استفاده از خنک کاری آرایه‌های فتوولتایی از طریق جریان فیلم آب را بررسی کردند. یک فیلم نازک آب به‌وسیله پمپ، آب از بالای صفحه به سمت پایین روی صفحه جریان پیدا می‌کند که با این کار انعکاس از سطح صفحه کم شده درنتیجه راندمان بهبود می‌یابد. احمد و همکاران[۱۱] در رابطه با مدول‌های فتوولتایی همراه و بدون بازتابنده با سطح شیب‌دار را مورد مطالعه قراردادند. آن‌ها نشان دادند که بازتابنده می‌تواند سالانه انرژی خروجی صفحات فتوولتایی را تا حدود ۲۲ درصد بهبود بخشد. کستیک و همکاران[۱۲] به بررسی سیستم‌های فتوولتایی -گرمایی (PV/T) همراه و بدون بازتابنده پرداختند. آن‌ها نشان دادند که انرژی صرفه‌جویی شده برای گردآورنده گرمایی بدون بازتابنده معادل ۶۰/۱ درصد و همراه بازتابنده معادل ۴۶/۴۷ درصد است. کراتر[۱۳] تأثیرات خنک کاری صفحات به‌وسیله فیلم آب را بر روی توان خروجی از صفحه را بررسی کرده است. به این نتیجه رسیده که با استفاده از خنک کاری با آب بر روی صفحه فتوولتایی می‌توان دما را تا ۲۲ درجه کاهش داد و درنتیجه افزایش ۱۰ درصدی در توان الکتریکی حاصل می‌شود. شمید و همکاران[۱۴] راجع به افزایش راندمان سلول‌های فتوولتایی به‌وسیله سرمایش صفحات بحث کردند. بررسی آن‌ها با تمرکز بر پارامتر سرعت باد انجام گرفت. اساس کار آن‌ها دست یافتن به مقادیر راندمان بالا به کمک سرمایش صفحات از طریق قرار دادن صفحات در مسیر جریان هوای آزاد بود. کول و همکاران[۱۵] با بررسی تأثیر خنک کاری صفحات فتوولتایی به‌وسیله باد در شرایط طبیعی جوی نشان دادند که در صورت داشتن باد با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه می‌توان دمای سطح صفحات را به میزان ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس در تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع را خنک‌تر کرد که نتیجه آن بالا رفتن راندمان می‌باشد. حسن و همکاران[۱۶] درزمینه الگوی مصرفی بار الکتریکی در کویت و تأمین آن به‌وسیله سیستم‌های فتوولتایی بحث کردند. در حین تحقیقات فوق به این نتیجه رسیدند که بیشترین توان تولیدی به‌وسیله آرایه‌های فتوولتایی با بیشترین شدت تابش خورشیدی حاصل می‌شود که این نتیجه تائید کننده تأثیر مثبت و قابل‌توجه استفاده از سیستم‌های فتوولتایی در کاهش بار از نیروگاه‌های تولید برق حاضر است.

۲- راندمان مدول های فتوولتایی به‌عنوان تابعی از دما

تأثیر دما بر روی راندمان الکتریکی صفحه فتوولتایی از طریق تغییر مقادیر I(جریان) و V (ولتاژ) صورت می‌گیرد. توان بیشینه در صفحات فتوولتایی به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$P_m = V_m I_m = (FF)V_{oc} I_{sc} \quad (۱)$$

FF به معنی فاکتور کفایت است و پسوندهای OC و SC به ترتیب به معنی مدارباز و اتصال کوتاه می‌باشند. از اینجا مشخص می‌شود که ولتاژ مدارباز و فاکتور انباشتگی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با افزایش دما، کاهش پیدا می‌کند. این بدین دلیل است که برانگیختگی حرارتی الکترون‌ها، منجر به افت خواص مطلوب در نیمه‌هادی‌های بکار رفته در سلول می‌شوند. درحالی‌که جریان اتصال کوتاه به‌طور نامحسوس با افزایش دما، افزایش می‌یابد[۱۷].

برای بدست آوردن راندمانی که توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌صورت آزمایشگاهی صورت می‌گیرد از رابطه (۲) استفاده می‌شود که A مساحت صفحه مورد آزمایش است و برحسب مترمربع محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{P}{G.A} \quad (۲)$$

۳- تشریح سیستم و ارائه نتایج

در این پژوهش از صفحه فتوولتایی با برند تجاری اورسان[2] با توان خروجی ۶۰ وات با ابعاد ۸۴۰ ×۵۴۰ ×۳۵ میلی‌متر استفاده شده است. تجهیزات اندازه‌گیری شامل تابش‌سنج[3] مدل TES-1333 با دقت قرائت ۱ وات بر مترمربع ساخت کشور تایوان، دماسنج[4] تماسی مدل TES-1319A با دقت قرائت ۰/۱ درجه سلسیوس ساخت کشور تایوان، میله حرارت‌سنج سطحی مدل TP-K03 ساخت کشور تایوان و مولتی متر[5] دیجیتال مدل DT9208A ساخت کشور چین استفاده شده است. آزمایشات طی ۴ روز انجام‌گرفته است. نتایج از ساعت ۹ صبح الی ۱۷ بعد از ظهر در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه‌ای ثبت شده است. بازتابنده آلومینیومی به ابعاد ۱۲ مترمربع بر روی سطح زمین نصب‌شده است. انتخاب شهرکرد به‌عنوان شهر مورد آزمایش، به این دلیل است که این شهر شرایط آب‌وهوایی خنک و کوهستانی دارد و راندمان الکتریکی صفحات در شرایط طبیعی بین ۱۱/۲۷ الی ۱۵/۹۹ درصد گزارش شده است[۱۸]. انتخاب زاویه شیب مناسب بر اساس داده‌های حاصل از

[1] booster

[2] Eversun

[3] Solar Power Meter

[4] Thermometer

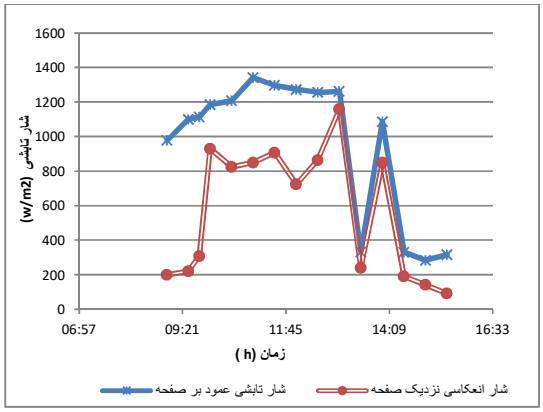
[5] Multimeter

بهینه‌سازی زوایای شیب صورت گرفته است. شهرکرد در ماه سپتامبر (۱۰ شهریور تا ۱۰ مهر) زاویه بهینه شیب برای صفحه فتوولتایی به علت نزدیکی محل جغرافیایی با استان اصفهان، زاویه شیب مناسب برای ماه سپتامبر برابر با ۲۵/۶ درجه در جهت جنوب می‌باشد[۱۹]. نتایج تحقیقات انجام شده آزمایشگاهی به‌صورت شکل‌های ۳ تا ۹ می‌باشد. شکل‌های ۱ و ۲ شرایط مسئله در شهرکرد را نشان می‌دهند.

شکل۱- تجهیزات آزمایشگاهی مورداستفاده همراه بازتابنده آلومینیومی

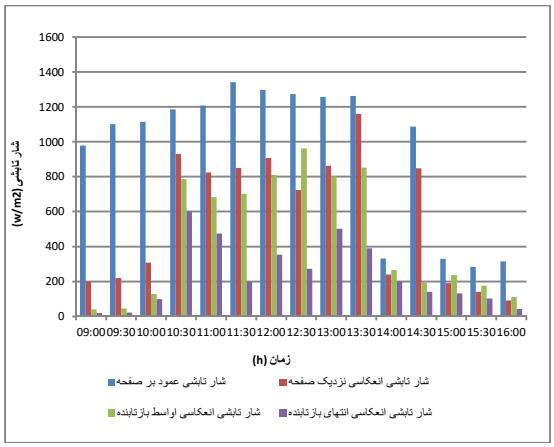
شکل۲- تجهیزات آزمایشگاهی مورداستفاده بدون بازتابنده آلومینیومی

شکل ۳-الف میزان تأثیر شارهای تابشی عمود و انعکاسی بر سطح صفحه را نشان می‌دهد. زمانی که از بازتابنده آلومینیومی استفاده می‌شود، شار تابشی انعکاسی تا حدود بیشتر از نصف شار تابشی عمود بر صفحه دریافت و تأثیرگذار است. این تأثیر می‌تواند بر راندمان کل هم مفید و هم مضر باشد. ثابت شده است که ولتاژ مدارباز و فاکتور انباشتگی با افزایش دمای سطح صفحه، کاهش می‌یابند (به دلیل برانگیختگی الکترون‌ها در دمای بالا خصوصیت نیمه رسانایی سلول افت می‌کند) و همچنین جریان اتصال کوتاه به مقدار کمتر نسبت به ولتاژ افزایش می‌یابد[۱۷]. منظور از جریان اتصال کوتاه همان میزان آمپر است که افزایش آن در مقابل کاهش ولتاژ نامحسوس است به دلیل اینکه بیشترین تأثیر را تغییرات ولتاژ بر توان الکتریکی خروجی می‌گذارد. حال چنانچه بر روی صفحه عمل خنک‌سازی انجام شود و یا صفحات در مسیر باد قرار گرفته شوند، می‌توان توان خروجی الکتریکی و درنهایت راندمان الکتریکی را بالا برد ولی اگر بر روی صفحه عمل خنک کاری انجام نشود، موجب بالا رفتن دمای سطح صفحه و درنهایت تا حد زیادی باعث کاهش توان خروجی و درنتیجه کاهش چشمگیری در میزان راندمان داشته باشد.



شکل۳-الف- تغییرات شارهای تابشی عمود و انعکاسی با زمان به همراه بازتابنده آلومینیومی

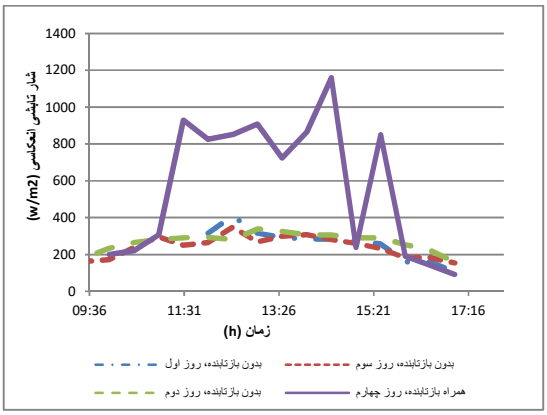
شکل ۳-ب شکلی دیگر از مقایسه شارهای تابشی انعکاسی در سه حالت نزدیک صفحه فتوولتایی ، اواسط بازتابنده و انتهای بازتابنده با شار تابشی عمود بر سطح صفحه را نشان می‌دهد. بیشترین تأثیر شار تابشی انعکاسی نزدیک به سطح صفحه می‌باشد و نشان می‌دهد که هرچقدر ابعاد بازتابنده بیشتر باشد، بیشترین تأثیر را بر عملکرد صفحه دارد.



شکل ۳-ب- تغییرات شارهای تابشی انعکاسی و عمود با زمان

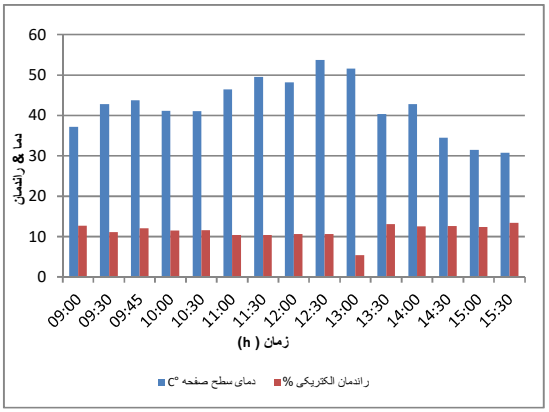
در شکل ۴ شارهای تابشی انعکاسی در ۴ روز با شرایط یکسان نشان داده‌شده که شار تابشی زمانی که بر روی سطح زمین بازتابنده آلومینیومی قرار گرفته باشد تا چه حد زیادی می‌تواند بر توان خروجی و راندمان تأثیرگذار باشد. ساعات ۹ و ۹:۳۰ دقیقه، نتایج در شرایط عادی

همانند روزهای گذشته بدون بازتابنده آلومینیومی ثبت شده است ولی ساعت ۹:۳۰ دقیقه بازتابنده آلومینیومی به ابعاد ۱۲ مترمربع بر روی سطح زمین نصب‌شده است. مشاهده می‌شود که بعد از گذشت ۱۵ دقیقه میزان شار تابشی عمود بر صفحه ۷۱ واحد بالا می‌رود یعنی ۱/۱۶ درصد افزایش، درحالی‌که میزان شار انعکاسی نزدیک به صفحه مقدار ۸۶/۵ واحد بیشتر شده یعنی افزایش ۲۸/۳۳ درصدی دریافت شار تابشی انعکاسی در ۱۵ دقیقه. در ادامه ساعت ۱۰ نسبت به ساعت ۹:۴۵ میزان شار تابشی عمود بر سطح صفحه با افزایش ۵/۹۹ درصدی همراه بوده است، درحالی‌که میزان شار انعکاسی افزایش ۶۶/۹۴ درصدی را داشته است که مقدار بسیار زیادی بوده و می‌تواند یک پارامتر بسیار مهم و اثرگذار محسوب شود.



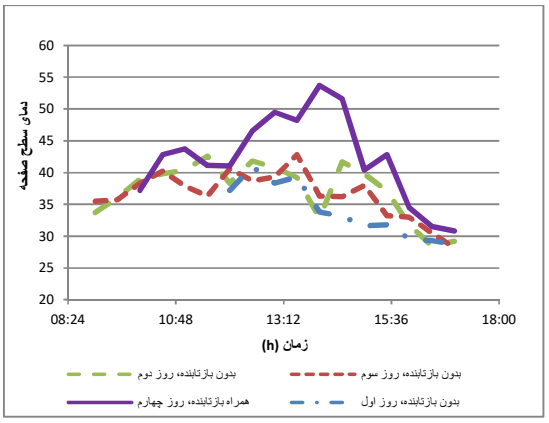
شکل۴- تغییرات شارهای انعکاسی با زمان

شکل ۵ رابطه بین دمای سطح صفحه و راندمان الکتریکی را نشان می‌دهد. همانطوریکه از شکل مشاهده می‌شود هرچقدر دمای سطح صفحه پایین‌تر نگه‌داشته شود، راندمان هم بالاتر می‌رود. ساعت ۹ صبح دمای سطح صفحه برابر با ۳۷/۲ درجه بوده که راندمانی معادل ۱۲/۷ درصدی دارد ولی با افزایش ۵/۶ درجه‌ای دمای سطح صفحه در ساعت ۹:۳۰ مقدار راندمان با افت ۱۲/۶۶ درصدی به ۱۱/۱۰ درصد می‌رسد. درجایی دیگر در ساعت ۱۳ به دلیل وجود بازتابنده آلومینیومی ، دمای سطح صفحه به ۵۱/۶ درجه می‌رسد که راندمانی برابر ۵/۳۷ درصد دارد. این در حالی است که بعد از گذشت ۳۰ دقیقه با افزایش وزش باد دمای سطح صفحه به ۴۰/۴ درجه کاهش پیداکرده و با افزایش ۵۹/۰۳ درصدی، راندمانی برابر با ۱۳/۱۱ درصد دارد. به این نکته مهم باید توجه داشت که عامل اصلی خنک شدن صفحه به دلیل کوهستانی بودن منطقه و وزش باد می‌باشد. بیشترین دما در ساعت ۱۲:۳۰ دقیقه معادل ۵۳/۷ درجه ثبت شده که بسیار بالا بوده و لزوم خنک کاری را نشان می‌دهد.



شکل۵- تغییرات راندمان با دمای سطح صفحه همراه بازتابنده آلومینیومی

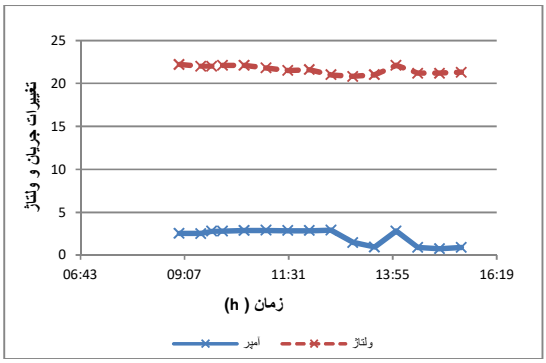
در شکل ۶ دمای سطح صفحه طی چهار روز رسم شده است. مشاهده می‌شود در سه روزی که بدون بازتابنده آلومینیومی نتایج ثبت شده است، دمای سطح صفحه تقریباً برابر بوده ولی در روزی که از بازتابنده آلومینیومی استفاده شده است به علت شار تابشی انعکاسی بسیار بالایی که به وجود آمده، دمای صفحه فتوولتایی را تا حد بسیار بالایی افزایش داده است. بیشترین اختلاف دما بین روزهای بدون بازتابنده و همراه بازتابنده در ساعات ۱۲ الی ۱۴:۳۰ می‌باشد که در روزهای بدون بازتابنده آلومینیومی کاملاً به هم نزدیک هستند.



شکل۶- تغییرات دمای سطح صفحه با زمان

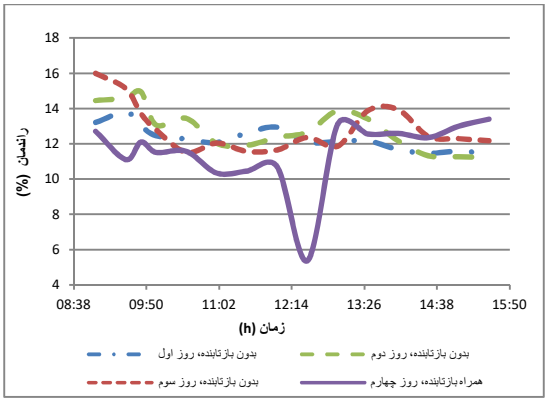
شکل ۷ تغییرات جریان و ولتاژ را بر حسب زمان نشان می‌دهد. هنگامی‌که هوا آفتابی باشد، با دریافت شار تابشی و بالا رفتن دمای صفحه، در طی آزمایشات میزان جریان بالاتر از ۲/۸۰ آمپر بوده به دلیل اینکه همان‌طور که گفته شد هر چه شار تابشی بیشتر باشد درنتیجه دمای سطح صفحه بالاتر رفته و مقدار آمپر هم نسبتاً بالاتر می‌رود ولی ولتاژ عکس این شرایط را دارد. در طول آزمایش هم مشخص شده که مقدار ولتاژ به نسبت روزهای قبل همیشه پایین‌تر بوده است. ساعت ۱۱ با بیشترین تابش عمود بر صفحه معادل ۱۳۴۲ وات بر مترمربع، مقدار شار تابشی انعکاسی نزدیک صفحه فتوولتایی ، میانه بازتابنده آلومینیومی و در انتهای بازتابنده آلومینیومی، به ترتیب مقدار ۸۵۰ ، ۷۰۰ و ۲۰۰ وات بر مترمربع را شامل بوده، دمای سطح صفحه به ۴۶/۱

درجه رسیده، ولتاژ برابر با ۲۱/۸ ولت و جریان برابر ۲/۸۹ آمپر بوده است و راندمانی معادل ۱۰/۳۴ درصدی دارد. اما در ساعت ۹ صبح که آزمایش بدون بازتابنده آلومینیومی انجام شده شار تابشی عمود بر صفحه و شار انعکاسی به ترتیب ۹۷۷/۴ و ۱۹۸/۶ وات بر مترمربع بوده و دمای سطح صفحه هم معادل ۳۷/۲ درجه سلسیوس بوده است. مقدار جریان برابر ۲/۵۴ آمپر است درحالی‌که مقدار ولتاژ برابر ۲۲/۴ ولت است و راندمان ۱۲/۸۳ درصدی دارد. مقایسه این ساعات به‌منظور مقایسه راندمان‌های الکتریکی خروجی نیست بلکه نشان می‌دهد با افزایش دمای سطح صفحه، میزان تغییرات جریان و ولتاژ به چه صورت است و کاهش ولتاژ بسیار زیاد و بسیار مؤثرتر در برابر افزایش جریان است.



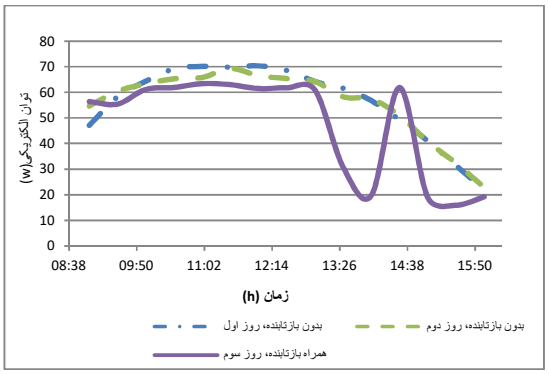
شکل۷- تغییرات جریان و ولتاژ با زمان

شکل ۸ لزوم خنک کاری هنگام استفاده از بازتابنده آلومینیومی را نشان می‌دهد. ساعت ۱۳ در روزهای بدون بازتابنده دمای سطح صفحه ۴۲/۸ و ۳۹/۲ درجه بوده که راندمانی معادل ۱۱/۸۶ و ۱۲/۶۶ درصد دارد اما روزی که از بازتابنده آلومینیومی استفاده شده است دمای صفحه برابر ۵۱/۶ درجه است که راندمانی برابر ۵/۳۷ درصد را شامل می‌شود اما بعد از گذشت ۳۰ دقیقه با شدت گرفتن وزش باد با کاهش ۱۱/۲ درجه‌ای دمای صفحه، راندمان با افزایش ۵۹/۰۳ درصدی برابر با ۱۳/۱۱ درصد را شامل می‌شود.



شکل۸- تغییرات راندمان با زمان

مطابق شکل ۹ بیشترین اختلاف توان الکتریکی خروجی در روزهای بدون بازتابنده آلومینیومی و همراه آن در اواسط ظهر ساعت ۱۳:۰۰ معادل ۶۵/۶۱ درصد است. همچنین کمترین اختلاف توان الکتریکی خروجی در ساعت ۱۱ ظهر معادل ۹/۵۸ درصد است. در این آزمایش افزایش ناگهانی توان الکتریکی در حالت همراه بازتابنده به دلیل افزایش وزش باد است.



شکل۹- تغییرات توان الکتریکی با زمان

۴- نتیجه‌گیری

دلیل اینکه در این پژوهش از سیال جهت خنک‌سازی صفحه استفاده نشده این است که اولاً جهت نشان دادن این موضوع که در شهرهایی که صفحات روی سقف ساختمان‌ها نصب‌شده‌اند درحالی‌که سقف ایزوگام شده است به چه میزان زیادی راندمان را پایین می‌آورد، همچنین چون شهرکرد دارای آب‌وهوای خنک و کوهستانی است، وزش باد عامل اصلی خنک‌سازی صفحه می‌باشد. در آزمایشات انجام شده بر روی بازتابنده آلومینیومی به‌وضوح نشان داده شده است که جریان و شار تابشی رابطه کاملاً مستقیمی دارند، به‌طوری‌که هر چه مقدار شار تابشی بیشتر باشد، دمای سطح صفحه بالاتر رفته و میزان جریان هم بالاتر می‌رود اما در رابطه با ولتاژ عکس آن صادق است. شار تابشی با میزان توان خروجی در تمامی شرایط آب‌وهوایی رابطه کاملاً مستقیمی دارد، پس یک پارامتر مهم در میزان تغییرات راندمان می‌باشد. بیشترین راندمان را زمانی می‌توان از سیستم گرفت که با انتخاب محل مناسب نصب صفحات فتوولتایی از لحاظ جغرافیایی و درعین‌حال وجود بیشترین شار تابشی را به همراه داشته باشد. شار تابشی زمانی که بر روی سطح زمین بازتابنده آلومینیومی قرار گرفته باشد تا حد زیادی می‌تواند بر توان خروجی و راندمان الکتریکی تأثیرگذار باشد. زمانی که از بازتابنده آلومینیومی بر سطح زمین استفاده می‌شود، شار تابشی انعکاسی به میزان بیشتر از نصف شار تابشی عمود بر صفحه، دریافت و تأثیرگذار است. این تأثیر می‌تواند بر راندمان کل هم مفید و هم مضر باشد. چنانچه بر روی صفحه عمل خنک‌سازی انجام شود می‌توان توان خروجی الکتریکی و درنهایت راندمان الکتریکی را بالا برد اما اگر بر روی صفحه عمل خنک‌سازی انجام نشود می‌تواند باعث کاهش چشمگیری در میزان راندمان الکتریکی شود. خنک کاری می‌تواند با قرار گرفتن صفحات در مناطق کوهستانی و در شرایط آب‌وهوایی خنک و یا صفحات در مسیر جریان باد انجام شود. همچنین خنک کاری می‌تواند توسط سیال آب و دیگر سیالات انجام گیرد. میزان راندمان هنگامی‌که از بازتابنده آلومینیومی استفاده شده است در کمترین حالت در اواسط ظهر معادل ۵/۳۷ درصد و بیشترین حالت ۱۳/۱۱ درصد بوده است. درحالی‌که در روزهای دیگر با شرایط یکسان، کمترین و بیشترین حالات به ترتیب برابر ۱۱/۲۷ و ۱۵/۹۹

درصد بوده است. همچنین بیشترین اختلاف توان الکتریکی خروجی در روزهای بدون بازتابنده و همراه آن در اواسط ظهر ساعت ۱۳:۰۰ معادل ۶۵/۶۱ درصد است. کمترین اختلاف توان الکتریکی خروجی در ساعت ۱۱ ظهر معادل ۹/۵۸ درصد است. هرچقدر ابعاد فویل در مکان موردنظر بیشتر باشد میزان تأثیرپذیری صفحه از شار تابشی انعکاسی بیشتر است. با افزایش تابش شار انعکاسی به صفحه، نسبت به شرایط عادی می‌تواند یک گزینه بسیار عالی محسوب شود مخصوصاً در شهرهایی مثل تهران، اصفهان، کرج و... که سقف منازل مسکونی و ادارات ایزوگام شده باشد ولی حتماً به این نکته باید توجه شود که برای بدست آوردن راندمان بالاتر باید عمل خنک کاری روی صفحه انجام شود تا دمای صفحه به حد مطلوب خود برسد.

۵- مراجع

[1] Panwar N. L., and Kaushik S. C., Role of renewable energy sources in environmental protection. a review, *Renewable Sustainable Energy Rev*, pp. 13-24, 2011.

[2] Parida B., Iniyan S., and Goic R., review of solar photovoltaic technologies. *Renewable Sustainable Energy Rev*, Vol. 15, pp. 25-36, 2011.

[3] Kreith F., and Kreider J. F., *Principles of Solar engineering*. New York-McGraw hill, 1978.

[4] Ghorashi A., and Rahimi A., Renewable and non-reneweble energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. *Renewable and Sustainble Energy Reviws*, Vol. 15, pp. 729-736, 2011.

[۵] پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران www.suna.org.ir

[۶] صفایی ب. خلجی اسدی م. و طالقانی گ.، برآورد پتانسیل و شدت تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، *مجله علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران*، شماره ۳۳، ۱۳۸۳.

[7] Helmy A. M., Khalifa E. M., Oksha A. M., and Elhaddad A. W., Effect of Reflector on PV Panel Performance under Egyptian Condition. *Renewable Energy*, Vol. 14, Issue. 3, pp. 491-495, 2014.

[8] mohsenzadeh M., and Hosseini R., A photovoltaic/thermal system with a combination of a booster diffuse reflector and vacuum tube for generation of electricity and hot water production. *Renewable Energy*, Vol. 78, pp. 245-252, 2015.

[9] Tabei H., and Ameri M., Improving the Effecttiveness of a photovoltaic Wate Pumping System by Using Booster Reflector and Cooling Array Surface by a Film of Water. *IJST*, *Transaction of Mechanical Engireering*, Vol. 39, No. M1, pp. 51-60, 2015.

[10] Kordzadeh A., The effect of Nominal Power of Arrey and System Head on the Operation of Photovoltaic Water Pumping Set with Arrey Surface Covered by a Film of Water. *Jornal of Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 1098-1102, 2010.

[11] Ahmad G. E., and Hussein H. M. S., Comparative study of PV modules with and without tilted plane reflector. *Energy Conversion and management*, Vol. 42, pp. 1327-1333, 2001.

[12] Kostic L. j., Pavlovic T., and Pavlovic Z., Optimal design of orientation of PV/T collector with reflectors. *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 3023-3029, 2010.

[13] Krauter S., Incraesed Electrical Yield via Water Flow Over the Front of Photovoltaic Panels. *Solar Energy Materials & Solar cells*, Vol. 82, pp. 131-137, 2004.

[14] Schwingshackl C., Petitta M., Wagner J. E., Belluardo G., Moser D., Castelli M., Zebisch M., and Tetzalff A., Wind Effect on PV Module Temperature: Analysis Different Techniques for an Accurate Estimation. *Energy Procedia*, Vol. 40, pp. 77-86, 2013.

[15] Koehl M., Heck M., Wiesmeier S., and Wirth J., Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering. *Sol Energ Mat Sol C:95*, pp. 1638-1646, 2011.

[16] Al-Hasan A. Y., Ghoneim A. A., and Abdullah A. H., Optimizing electrical load pattern in Kuwait using grid connected photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 483-494, 2004.

[17] Zondag H. A., Flat-plate PV-thermal collectors and system a review. *Renew.Sustain. Energy Rev*, Vol. 12, pp. 891-959, 2007.

[۱۸] گلین رستمی م. ذکریاپور م. و کردانی ن.، بررسی عملکرد صفحات فتوولتائیک در دو شهر با بیشترین اختلاف فشار در ایران. *اولین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر*، مجموعه مقالات، ص ۶۸-۶۷ ، ۱۳۹۵.

[۱۹] طالبی زاده سردری پ.، *طراحی و کنترل میدان هلیواستات یک نیروگاه دریافت کننده مرکزی و بهینه‌سازی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک*. پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۰.