

مروری بر تاثیر کاهش دما در کارایی صفحات خورشیدی فتوولتائیک

رشید پوررجب^۱

^۱دانشگاه شهید چمران اهواز، پردیس صنعتی شهدای هویزه، سوسنگرد pourrajab@scu.ac.ir

چکیده

در این مقاله، مروری بر تاثیر کاهش دما در ماژولهای خورشیدی سیلیکونی با روشهایی نوینی مانند افزایش ضریب انتقال حرارت سطح عقب آن، خنکسازی غیرفعال یک سلول خورشیدی با اتصال سه گانه با استفاده از سینک حرارتی باله‌های مستقیم تمرکز و یک سینک حرارتی جدید متشکل از مواد تغییر فاز (PCM) و فوم فلزی (متخلخل) بررسی شده است. اثرات دمای محیط، سرعت باد و نسبت غلظت در طولهای مختلف سینک حرارتی باله‌های مستقیم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در شرایط آب و هوایی سخت با دمای محیط ۴۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت باد ۱ متر بر ثانیه و ۵۰۰ خورشید، باله‌های مستقیم دمای سلول را تقریباً ۴۲۱/۲ درجه سانتی‌گراد به ۴۳۲/۱ درجه سانتی‌گراد با توجه به سلول خنک‌نشده بسته به طول باله‌ها کاهش دادند. همچنین در بررسی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که فوم فلزی با هدایت حرارتی بالا تعبیه شده در PCM با گرمای نهان بالا می‌تواند به طور قابل توجهی اثر خنک‌کنندگی CPV را در مقایسه با PCM خالص به عنوان سینک حرارتی افزایش دهد. هنگامی که CPV توسط PCM متخلخل خنک می‌شود، با کاهش تخلخل، بازده الکتریکی سلول خورشیدی افزایش می‌یابد. از دیگر نتایج می‌توان به یک شبیه‌سازی ترکیبی و یک مطالعه تجربی اشاره کرد که برای تعیین اینکه چگونه عملکرد یک سینک گرمایشی نصب شده در پشت ماژول و ارتفاع باله بر توانایی سینک حرارتی برای کاهش دما تأثیر می‌گذارد، اشاره کرد. نتایج نشان داد که با ارتفاع پره سینک گرمایشی ۲۰ میلی‌متر، دمای سطوح جلو و عقب ماژول به ترتیب به ۶۲ درجه سانتی‌گراد و ۵۱ درجه سانتی‌گراد رسید.

واژه‌های کلیدی

سلولهای فتوولتائیک، سینک‌های حرارتی پره‌دار، سیستم‌های متخلخل PCM، کارایی سلولهای خورشیدی.

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

۱. مقدمه

انرژی خورشیدی در حال تبدیل شدن به یک منبع انرژی جایگزین محبوب برای سوخت‌های فسیلی است که ۸۴/۷ درصد از انرژی مصرفی جهانی را تشکیل می‌دهد [۱]. همچنین به عنوان یکی از متعهدترین منابع انرژی پاک، نامحدود و دوستدار محیط زیست شناخته شده است. با این حال، برای به حداکثر رساندن سهم خود از ترکیب انرژی جهانی، باید در مقایسه با سایر منابع انرژی سنتی مقرون به صرفه تر باشد. فتوولتائیک متمرکز (CPV) یکی از راه حل های بالقوه برای تامین انرژی خورشیدی با راندمان بالا و هزینه کمتر است [۲]. فناوری CPV شامل متمرکز کننده‌های نوری نسبتاً ارزانی مانند لنزهای پلاستیکی یا آینه‌هایی است که تابش خورشیدی تابشی را در یک ناحیه بزرگ اپتیکی روی یک سلول خورشیدی کوچک متمرکز می‌کنند [۳]. نسبت سطح اپتیک به مساحت سلول خورشیدی دریافت کننده، غلظت هندسی یا نسبت غلظت (CR) نامیده می شود که معمولاً به عنوان "خورشیدها یا X" نامیده می شود که در آن یک مقدار خورشید برابر با 1000 W/m^2 است. بر اساس مقدار CR، سیستم های CPV معمولاً به عنوان کم ($CR < 10$ خورشید)، متوسط ($10 \leq CR < 100$ خورشید) و زیاد ($CR > 100$ خورشید) طبقه بندی می شوند [۴]. استفاده از سیستم‌های CPV با جایگزینی سلول‌های فتوولتائیک پرهزینه (PV) با سیستم‌های نوری ارزان تر، امکان استفاده از ناحیه نیمه‌رسانای بسیار کمتری را برای همان توان خروجی فراهم می‌کند [۵]. با این وجود، سیستم CPV استفاده از سلول های خورشیدی با راندمان بالا را برای تبدیل بیشتر تابش خورشیدی به الکتریسیته و کاهش انباشت گرما ضروری می کند.

پیشرفت‌های فناوری، همراه با کاهش هزینه‌ها و سیاست‌های دولت، به افزایش نصب فتوولتائیک (PV) در سراسر جهان کمک کرده است. همانطور که گفته شد، پانل‌های PV به دلیل داشتن راندمان تبدیل پایین در مقایسه با انواع سنتی تر تولید برق شناخته می‌شوند، با میانگین بازدهی سلول‌های خورشیدی در حدود ۱۵٪ [۶]. حتی در آن صورت، کارایی یک سلول خورشیدی معمولاً تحت شرایط آزمایش استاندارد (STC)، با تابش 1000 W/m^2 و دمای تنظیم شده 25°C آزمایش می شود [۷]. متأسفانه، در شرایط عملیاتی واقعی، دما ثابت نمی ماند. به طور معمول، سلول‌های خورشیدی سیلیکونی می‌توانند در مکان‌هایی کار کنند که دمای محیط می‌تواند از ۵۰ درجه سانتیگراد تجاوز کند که منجر به کاهش ۱۲ درصدی (نسبی) در توان خروجی می‌شود [۸].

فناوری تولید برق فتوولتائیک (PV) یکی از منابع بالقوه انرژی پاک برای اجرای تبدیل انرژی است زیرا نور خورشید رایگان است و به راحتی در دسترس است. اما هزینه اولیه سیستم فتوولتائیک به دلیل گران بودن مواد و نیاز به مساحت وسیعی برای قرار دادن این تجهیزات بسیار زیاد است. این معایب به طور قابل توجهی کاربرد گسترده سیستم PV را محدود می کند. ظهور فناوری تولید برق فتوولتائیک متمرکز (CPV) می تواند برخی از معایب سیستم PV سنتی را بهبود بخشد CPV. از یک سلول فتوولتائیک کوچکتر و دستگاه های نوری ارزان قیمت مانند لنزها یا آینه ها تشکیل شده است [۹]. تابش خورشیدی از طریق دستگاه های نوری به سلول فتوولتائیک متمرکز می شود. از این رو، سیستم CPV دارای یک پنل PV کوچکتر است که می تواند انرژی بیشتری به دست آورد و به اشغال زمین کمتری نسبت به سیستم PV سنتی نیاز دارد. اگرچه CPV مزایای زیادی دارد، اما غلظت بالای تابش خورشیدی می تواند سلول خورشیدی را در مدت زمان کوتاهی تا دمای بسیار بالایی گرم کند، اگر هیچ اندازه گیری خنک کننده انجام نشود. برای اکثر سیستم های PV، بیش از ۶۰ درصد انرژی خورشیدی به جای برق به گرمای هدر رفته تبدیل می شود. در همین حال، گرمای هدر رفته سلول خورشیدی را گرم می کند و راندمان تولید برق را کاهش می دهد. اگر سلول خورشیدی توسط گرمای هدر رفته برای مدت طولانی گرم شود، نه تنها راندمان تبدیل الکتریکی کاهش می یابد، بلکه عمر مفید سیستم CPV نیز کاهش می یابد [۱۰، ۱۱].

مدیریت حرارتی سیستم CPV می تواند کارایی تبدیل انرژی را بهبود بخشد [۱۲]. بسیاری از تکنیک های دفع گرما برای خنک کردن سلول های خورشیدی گزارش شده است [۱۳-۱۶]. در میان این تحقیقات، تکنیک خنک‌سازی با استفاده از مواد تغییر فاز (PCM) شایسته توجه است، زیرا سیستم PCM نه تنها می‌تواند گرمای اتلاف CPV را جذب کند، بلکه ذخیره و تحویل دهد. این یک سیستم

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مدیریت حرارتی خوب است [۱۷،۱۸]. برای فتوولتائیک با نسبت غلظت بالا ($CR > 100$)، تکنیک خنک کننده غوطه وری مایع با تغییر فاز تماس مستقیم انتخاب خوبی خواهد بود. کانگ و همکاران [۱۹] به طور تجربی مطالعه کرد که اتانول با توجه به گرمای جذب شده از سلول خورشیدی از مایع به گاز تغییر فاز می دهد. این فرآیند تغییر فاز که بدون مصرف انرژی اضافی خود تنظیم می شود، می تواند گرمای زیادی را از فتوولتائیک متمرکز بالا (HCPV) بگیرد. این روش می تواند مقاومت حرارتی را تا حد زیادی کاهش دهد، اما انتخاب PCM مورد استفاده برای خنک کردن پنل HCPV سختگیرانه است. برای فتوولتائیک با نسبت غلظت کم یا متوسط ($CR < 100$)، محصور کردن PCM در پشت سیستم CPV می تواند نیاز خنک کننده سلول خورشیدی را برآورده کند و همچنین برای مدیریت حرارتی مفید است [۲۰]. روش بعدی مدیریت حرارتی فتوولتائیک به دلیل راحتی و هزینه کم به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه مروری بر نتایج بدست آمده از تحقیقات انجام شده بر روی تاثیر دما بر کارایی صفحات فتوولتائیک پرداخته می شود.

۱.۱. مروری بر مقالات پیشین

مطالعات زیادی در مورد تأثیر دما بر عملکرد سلول خورشیدی سیلیکونی انجام شده است و به طور گسترده پذیرفته شده است که افزایش دما بر توان خروجی تأثیر منفی می گذارد [۲۱-۲۴]. به طور نسبی، به ازای هر درجه افزایش دما، راندمان تا ۰.۵٪ کاهش می یابد [۲۵]. این به عنوان ضریب دما نامیده می شود، هر چه مقدار آن کمتر باشد، سلول خورشیدی در هنگام تغییر دما عملکرد بهتری دارد. موضوع دیگری به این دلیل پیش می آید که قرار دادن یک سلول خورشیدی در معرض دماهای بالا مداوم، تخریب سلول را تسریع می کند [۲۶،۲۷]. این می تواند منجر به کاهش کلی در تولید انرژی از یک ماژول خورشیدی، به دلیل عمر عملیاتی کوتاه تر شود. به همین ترتیب، پیشرفت آینده در ماژول های با راندمان بالا (۳۰٪) پیش بینی می شود که سلول پشت سر هم هالید پروسکایت-سیلیکون کریستالی باشد. در حال حاضر، اسکیت های پروف حتی در شرایط محیطی به گرما حساس هستند. بنابراین دمای عملیاتی احتمالاً اگر مهم ترین مانع پیش روی استقرار تجاری آنها نباشد، باشد [۲۸]. بنابراین، روش هایی برای کاهش دمای عملیاتی یک ماژول مورد تحقیق قرار گرفته است. دو روش برای کاهش دما در یک ماژول وجود دارد - یا با هدف کاهش تولید گرما، یا بهبود دفع اتلاف گرما [۲۹].

آلدوسری و همکاران [۳۰] اثربخشی خنک کننده غیرفعال و فعال را هنگامی که با یک سلول PV TJ ترکیب می شود تحت نسبت غلظت بالای تابش تابشی خورشیدی بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که خنک سازی فعال با استفاده از کانال آب برای ماژول های سلول خورشیدی TJ ترجیح داده می شود، اگر در محیط های خشن که دمای هوای محیط می تواند به ۵۰ درجه سانتی گراد برسد، در مقایسه با خنک کننده غیرفعال با استفاده از پین های گرد و باله های مستقیم، کار کند. حدود عملکرد و دمای یک سلول خورشیدی MJ با غلظت بالا (۱ سانتی متر مربع) که با یک سینک حرارتی کوچک ادغام شده و در معرض CR در محدوده ۵۰۰ خورشیدی تا ۲۰۰۰ خورشیدی توسط احمد و همکاران [۳۱] قرار گرفته است. در نرخ های جریان جرمی مختلف انواع مختلف سیالات خنک کننده، از جمله آب، اتیلن گلیکول و مخلوط آب (۶۰:۴۰)، و روغن سیترم ۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفت.

بارو و همکاران [۳۲] یک سیستم خنک کننده میکروکانال برخورد جت هیبریدی را که برای سلول های CPV متراکم در شرایط واقعی در فضای باز طراحی شده بود، آزمایش کردند. اندازه گیری آنها نشان داد که ضریب مقاومت حرارتی پایین $5 \text{ K.m}^2 / \text{W} \times 6.2$ و یکنواختی دمایی ارائه شده توسط این سیستم خنک کننده، الزامات گیرنده های CPV را برآورده می کند. مدیریت حرارتی سلول های PV سیلیکونی غلیظ با استفاده از جریان دو فاز در یک سینک حرارتی میکروکانالی دولایه با استفاده از سیالات خنک کننده مختلف اتانول و Novec-7000 با دمای جوش استاندارد 78.4 درجه سانتی گراد و 34 درجه سانتی گراد توسط رادوان و همکاران بررسی شد. [۳۳]. نتایج تجربی آنها نشان داد که جریان دو فازی به طور قابل توجهی حداکثر دمای سلول را کاهش می دهد و به توزیع یکنواخت دمای سلول خورشیدی دست می یابد و بازده الکتریکی را افزایش می دهد. اگرچه تکنیک های خنک کننده فعال نرخ اتلاف گرما را افزایش می دهند و منجر به نرخ عملکرد CPV بالاتر می شوند، اما پیچیده و دشوار هستند، زیرا پمپ ها یا فن ها برای حفظ جریان هوا یا آب در جلو یا پشت سلول برای اهداف خنک کننده ضروری هستند.

لو و همکاران [۳۴] تأثیر تغییر پارامترهای طراحی، شامل تعداد پره ها، طول باله، زاویه شیب باله و ورودی منبع گرمایی را بر راندمان حذف حرارت سینک های حرارتی پره های گشاد مورد استفاده در ماژول های CPV در شرایط همرفت طبیعی بررسی کردند. نتایج تجربی

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

آنها نشان داد که مقاومت حرارتی کلی سینک حرارتی پره های گشاد شده در مقایسه با سینک حرارتی باله ای مستطیلی به میزان ۱۰ درصد بدون افزایش بیش از حد وزن و حجم دستگاه کاهش می یابد. علاوه بر این، یک تحلیل تجربی و عددی واقعی در فضای باز توسط تریستیز و همکاران انجام شد. [۳۵،۳۶] برای بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر عملکرد تک ماژول CPV همراه با یک سینک حرارتی با باله گشاد آلومینیومی. آنها نشان دادند که حداکثر بازده عملیاتی ۲۳،۲٪ با استفاده از سینک حرارتی با پره باز به دست آمد، در حالی که حداکثر دمای ۶۷،۶ C° و ۷۰،۳ C° به ترتیب روی دیود و سینک حرارتی ثبت شد.

۲.۱. نتایج

این بخش نتایج شبیه سازی سیستم های متخلخل PCM را به عنوان سینک حرارتی برای خنک کردن پنل های CPV در هنگام کارکرد سیستم های CPV نشان می دهد [۳۷]. تخلخل و ارتفاع از عوامل تاثیرگذار اصلی برای تاثیرگذاری بر اثر خنک کنندگی سیستم متخلخل PCM هستند. اثر خنک کننده سیستم های متخلخل PCM به طور مستقیم بر کارایی الکتریکی سلول خورشیدی تأثیر می گذارد. شکل ۱ میانگین دمای خنک کننده سلول خورشیدی توسط سیستم متخلخل PCM را نشان می دهد. شکل ۱ (a) مشخصات دمای متوسط سلول خورشیدی است که توسط جابجایی طبیعی باد خنک شده است (سرعت باد ۱ متر بر ثانیه است)، به این معنی که هیچ سیستم متخلخل PCM در پشت پنل CPV متصل نیست. در شکل (a)، می توان مشاهده کرد که اگر اقداماتی برای خنک کردن سیستم CPV انجام نشود، دمای سلول خورشیدی می تواند در مدت زمان کوتاهی به شدت افزایش یابد. استفاده از سیستم متخلخل PCM می تواند به شدت از افزایش دمای سلول خورشیدی جلوگیری کند (شکل ۱ (b)-(d) را ببینید). (در مقایسه با PCM خالص $\epsilon = 100\%$)، PCM با محیط متخلخل $\epsilon = 80\%$ و 90% (می تواند سلول خورشیدی را در محدوده دمایی پایین تری حفظ کند. اما برای همان حجم حفره، CPV که توسط PCM خالص خنک می شود، مدت زمان بیشتری نسبت به PCM متخلخل دارد. این به دلیل هدایت حرارتی کم PCM است که باعث می شود PCM گرما را به آرامی جذب کند. در شکل ۱ (b)-(d)، همچنین می توان دریافت که سیستم متخلخل PCM با ارتفاع کمتر ($H = 0.5x$) عملکرد ضعیفی برای خنک کردن پنل CPV در همه موارد دارد. افزایش ارتفاع سیستم متخلخل PCM نه تنها اثر خنک کننده را بهبود می بخشد بلکه مدت زمان را نیز طولانی می کند. برای سیستم متخلخل $\epsilon = 80\%$ ، اثرات خنک کنندگی سیستم متخلخل PCM با ارتفاعات بزرگتر ($H > 0.5x$) مشابه است، اما زمان مدت زمان با افزایش ارتفاع افزایش می یابد. برای سیستم PCM خالص ($\epsilon = 100\%$)، اگرچه دمای سلول خورشیدی با افزایش ارتفاع کاهش می یابد، اما دمای متوسط هنوز بالاتر از سیستم PCM متخلخل است که ارتفاع یکسان باشد. شکل ۱ نشان می دهد که ارتفاع محفظه با کاهش تخلخل، مدت زمان بسیار بیشتر از دمای متوسط را تحت تأثیر قرار می دهد. در همین حال، تخلخل می تواند دمای متوسط را بسیار تحت تأثیر قرار دهد.

در این قسمت عملکرد کلی سلول ادغام شده با سینک حرارتی باله های مستقیم ارزیابی شده و با عملکرد سلول خنک نشده مقایسه می شود [۳۸]. در شکل ۲ حداکثر دمای سلول با سینک حرارتی آلومینیومی در طول باله های مختلف از ۲۵ میلی متر تا ۱۵۰ میلی متر، دمای محیط از ۲۵ درجه سانتیگراد تا ۴۵ درجه سانتیگراد، CR برابر با ۱۰۰۰ خورشید نشان می دهد. و سرعت باد ۱ متر بر ثانیه. بدیهی است که استفاده از سینک حرارتی پره های مستقیم باعث کاهش قابل توجهی در حداکثر دمای سلول در مقایسه با سلول HCPV TJ خنک نشده در شرایط مشابه می شود. این بهبود به احتمال زیاد به دلیل افزایش سطحی است که از طریق آن گرما از سلول به محیط توسط همرفت منتقل می شود، که سرعت حذف گرما از سیستم را تسریع می کند. با این حال، اشاره شده است که افزایش بیشتر در طول پرها بیش از ۷۵ میلی متر منجر به کاهش جزئی در حداکثر دمای سلول می شود و در عین حال، وزن سیستم را به طور نامطلوبی افزایش می دهد. به عنوان مثال، در دمای محیط ۴۵ درجه سانتیگراد، افزایش طول پره ها از ۲۵ میلی متر به ۷۵ میلی متر و از ۷۵ میلی متر به ۱۵۰ میلی متر، حداکثر دمای سلول را حدود ۱۶ درجه سانتیگراد و ۴،۷۸ درجه سانتیگراد کاهش می دهد، در حالی که وزن سیستم را به ترتیب حدود ۰،۳ کیلوگرم و ۰،۴۵ کیلوگرم افزایش می دهد. بنابراین، سینک حرارتی پره های مستقیم با طول پره های ۷۵ میلی متری برای نگهداری سلول در دمای کارکرد کاهش یافته بدون افزایش بیش از حد وزن دستگاه مناسب است.

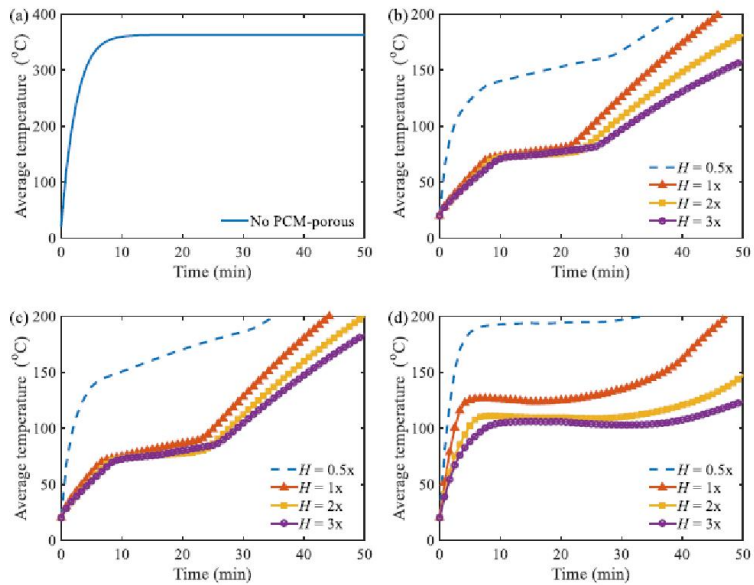
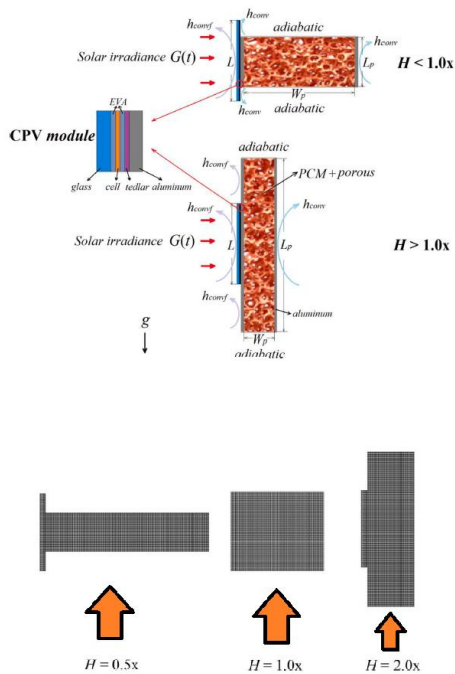
دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

در مطالعه دیگر [۳۹] کاهش دما را در یک ماژول خورشیدی سیلیکونی بررسی شده است. برای این منظور، سینک حرارتی های پره دار با ارتفاع باله و زاویه شیب متفاوت برای کاهش دما و افزایش توان خروجی بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که استفاده از سینک حرارتی بر روی یک ماژول خورشیدی در شرایط آزمایشگاهی یک مزیت کلی وجود دارد. با این حال، برای مطالعه مزایا در یک منطقه کاربردی واقع بینانه، باید مطالعات بیشتری انجام شود.

به طور خلاصه، افزودن یک سینک حرارتی به سطح پشتی یک ماژول خورشیدی، دمای عملیاتی ماژول را کاهش می دهد. آزمایش حرارتی مشخص کرد که افزایش ارتفاع باله یک سینک حرارتی باعث افزایش عملکرد آن در حذف گرما از ماژول خورشیدی می شود، تا زمانی که به حد مجاز در حدود ۰,۲ متر برسد. افزایش سطح سینک حرارتی برای یک جریان حرارتی بزرگتر برای کاهش دمای کلی سیستم که در شکل ۳ در هنگام افزایش ارتفاع باله مشاهده می شود، بسیار مهم است. نمای کلی محدوده پارامتر بررسی شده در شکل ۳ نشان داده شده است که دمای متوسط حجمی سینک حرارتی را نشان می دهد. میانگین دمای حجمی هر مطالعه وابسته به زمان پس از یک زمان تعادلی که در آن سیستم به یک وضعیت شبه ثابت پایدار رسیده بود، گرفته می شود. برای مجموعه کامل، نتایج پس از ۲۰ دقیقه ارزیابی می شوند که بسیار بالاتر از تعادل دمایی سیستم است. این امر مقایسه بین زوایای مختلف شیب و ارتفاع باله ها را فراهم کرد.

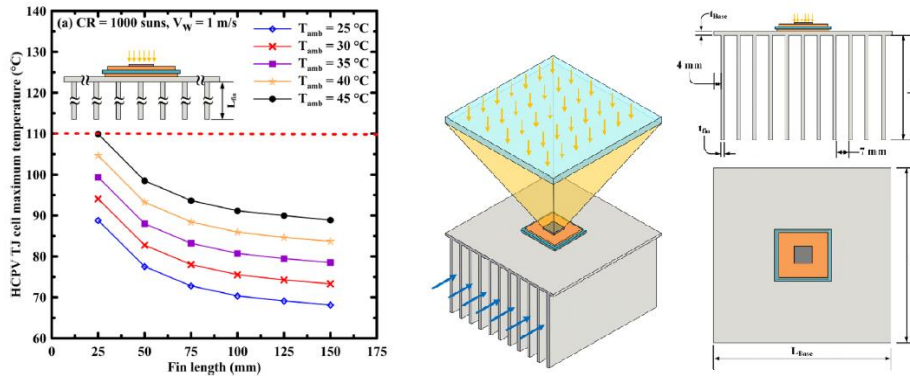


شکل ۱. پروفیل دمای متوسط سلول خورشیدی. (الف) بدون سیستم PCM متخلخل. (ب) $\varepsilon = 80\%$; (ج) $\varepsilon = 90\%$; (د) $\varepsilon = 100\%$ [37]

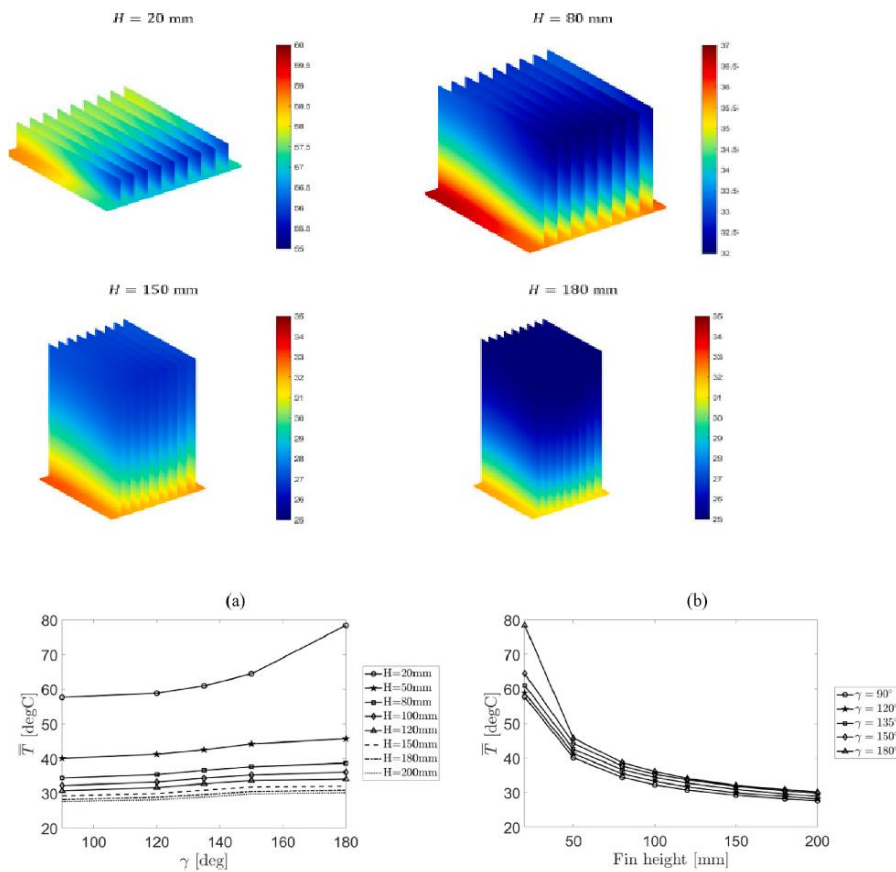
دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir



شکل ۲. تغییر حداکثر دمای سلول با سینک حرارتی باله‌های مستقیم در طول باله‌های مختلف، دمای محیط و سرعت باد ۱ متر بر ثانیه. [38]



شکل ۳. میانگین دمای سینک حرارتی در زوایای شیب مختلف و ارتفاع باله های مختلف. [39]

۳.۱. نتیجه گیری

در این مقاله مروری بر آخرین نتایج بدست آمده در خصوص تاثیر کاهش دما بر کارایی صفحات خورشیدی انجام شده است. بررسی اثرات تخلخل و ارتفاع محفظه سیستم متخلخل PCM بر بهبود بازده الکتریکی سلول خورشیدی مورد بحث قرار گرفته است. در مقایسه با

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

PCM خالص، سرعت ذوب PCM در فوم فلزی بسیار بزرگتر است و اثرات خنک کننده برای سلول خورشیدی بسیار کارآمدتر است. تخلخل کوچکتر منجر به ذوب PCM می شود، اما مدت زمانی که سلول خورشیدی را در دمای ثابت نگه می دارد کاهش می یابد. ارتفاع محفظه سیستم متخلخل PCM بر سرعت ذوب PCM تأثیر می گذارد، بنابراین بر دما و راندمان الکتریکی سلول خورشیدی تأثیر می گذارد. سیستم متخلخل PCM با ارتفاع بیشتر ($H > 0.5x$) برای بهبود بازده الکتریکی سلول خورشیدی مفید است. اما افزایش ارتفاع از $2.0x$ به $3.0x$ باعث کاهش اندکی راندمان الکتریکی می شود. با این حال، این پدیده را نمی توان در سیستم PCM خالص یافت. همچنین در این مطالعه، یک مدل الکتریکی و انتقال حرارت سه بعدی جدید برای پیش بینی سیستم های HCPV با سینک حرارتی با له های مستقیم در شرایط عملیاتی مختلف توسعه داده شد. نتایج مدل نشان داد که ماژول سلول خورشیدی خنک نشده برای کار در نسبت های غلظت بالا مناسب نیست و در دمای محیطی ۴۵ درجه سانتی گراد و سرعت باد ۱ متر بر ثانیه در CR 72.5 خورشیدی محدود است. معرفی سینک حرارتی با له های مستقیم، قابلیت سیستم را برای کارکرد تحت نسبت غلظت خورشیدی ۱۲۵۰ خورشیدی افزایش داد، بنابراین، توان الکتریکی خروجی بیشتری را از سیستم به دست آورد. به طور خلاصه، افزودن یک سینک حرارتی به سطح پشتی یک ماژول خورشیدی، دمای عملیاتی ماژول را کاهش می دهد. این یافته ها نشان می دهد که عملکرد سینک حرارتی در پشت ماژول های خورشیدی سیلیکونی برای کاهش دما می تواند مفید باشد. برای تعیین اینکه آیا استفاده از سینک حرارتی در سطح پشتی ماژول های خورشیدی یک راه حل مناسب در ماژول های مقیاس کامل است یا خیر، به مزایای نسبی پیاده سازی بستگی دارد، هم از نظر تحلیل هزینه-فایده، سهولت ادغام و قابلیت اطمینان آنها. سینک ۲۰-درجی میلی متری بهبود بازدهی ماژول را ۱۱،۳۴ درصد (نسبت) بیشتر از ماژول خورشیدی خالی به ارمغان آورد. با فرض اینکه افزایش معادل در یک ماژول در مقیاس کامل امکان پذیر است، به این معنی است که ۱۱٪ انرژی بیشتری می تواند توسط یک ماژول در طول عمر عملیاتی آن تولید شود.

منابع

- [1] Petrol B. BP statistical review of world energy statistical review of world. In: Ed BP Stat Rev World Energy; 2019. p. 1–69.
- [2] Cherif FE, Hamza M, Sammouda H. High irradiance performance of cesiumformamidinium-based mixed-halide perovskite for concentrator photovoltaics under various operating conditions. J Phys Chem Solids 2019;135:109093. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.109093>.
- [3] Algora C, Rey-Stolle I, editors. Handbook of concentrator photovoltaic technology. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd; 2016.
- [4] Pérez-Higueras P, Fernández EF. In: High concentrator photovoltaics. Cham: Springer International Publishing; 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15039-0>.
- [5] Sripadmanabhan Indira S, Vaithilingam CA, Chong K-K, Saidur R, Faizal M, Abubakar S, et al. A review on various configurations of hybrid concentrator photovoltaic and thermoelectric generator system. Sol Energy 2020;201:122–48. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.090>.
- [6] S. Murmson. “The Average Photovoltaic System Efficiency.” <https://sciencing.com/average-photovoltaic-system-efficiency-7092.html> (accessed 18, Nov, 2018, 2018).
- [7] J.N. Roy, G.R. Gariki, V. Nagalakshmi, Reference module selection criteria for accurate testing of photovoltaic (PV) panels, Sol. Energy 84 (1) (2010), <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2009.09.007>.
- [8] J. Oh, et al., Reduction of PV module temperature using thermally conductive backsheets, IEEE J. Photovolt. 8 (5) (2018) 1160–1167, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2018.2841511>.
- [9] Past Experiences and New Challenges of PV Concentrators. In: Luque AL, Viacheslav A, editors. Concentrator Photovoltaics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. p. 1–23.
- [10] M. Ahmed, A. Radwan, Performance evaluation of new modified low-concentrator polycrystalline silicon photovoltaic/thermal systems, Energy Convers. Manage. 149 (2017) 593–607.

دوازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- [11] M. Emam, M. Ahmed, Cooling concentrator photovoltaic systems using various configurations of phase-change material heat sinks, *Energy Convers. Manage.* 158 (2018) 298–314.
- [12] A. Hasan, J. Sarwar, A.H. Shah, Concentrated photovoltaic: A review of thermal aspects, challenges and opportunities, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 94 (2018) 835–852.
- [13] S. Sargunanathan, A. Elango, S.T. Mohideen, Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 64 (2016) 382–393.
- [14] A.M. Elbreki, M.A. Alghoul, K. Sopian, T. Hussein, Towards adopting passive heat dissipation approaches for temperature regulation of PV module as a sustainable solution, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 69 (2017) 961–1017.
- [15] N. Gilmore, V. Timchenko, C. Menictas, Microchannel cooling of concentrator photovoltaics: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 90 (2018) 1041–1059.
- [16] M.J. Huang, P.C. Eames, B. Norton, Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials, *Int. J. Heat Mass Transf.* 47 (12–13) (2004) 2715–2733.
- [17] S. Sharma, A. Tahir, K. Reddy, T.K. Mallick, Performance enhancement of a Building-Integrated Concentrating Photovoltaic system using phase change material, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 149 (2016) 29–39.
- [18] X. Kang, Y. Wang, Q. Huang, Y. Cui, X. Shi, Y. Sun, Study on direct-contact phasechange liquid immersion cooling dense-array solar cells under high concentration ratios, *Energy Convers. Manage.* 128 (2016) 95–103.
- [19] A. Karthick, K.K. Murugavel, P. Ramanan, Performance enhancement of a buildingintegrated photovoltaic module using phase change material, *Energy.* 142 (2018) 803–812.
- [20] M.C. Browne, B. Norton, S.J. McCormack, Phase change materials for photovoltaic thermal management, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 47 (2015) 762–782.
- [21] F. Ghani, G. Rosengarten, M. Duke, J.K. Carson, On the influence of temperature on crystalline silicon solar cell characterisation parameters, *Sol. Energy* 112 (2015) 437–445, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.12.018>.
- [22] V. Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki, The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency, in *Proceedings of the 1st Interna.*
- [23] A. Javed, The effect of temperature on the silicon solar cell, *Int. J. Emerg. Technol. Comput. Appl. Sci.* (2014) 305–308.
- [24] A.R. Amelia, Y.M. Irwan, W.Z. Leow, M. Irwanto, I. Safwati, M. Zhafarina, Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance, *Adv. Sci. Eng. Inform. Technol.* 6 (5) (2016) 682–688.
- [25] M. Benganem, A.A. Al-Mashraqi, K.O. Daffallah, Performance of solar cells using thermoelectric module in hot sites, *Renewable Energy* 89 (2016) 51–59, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.011>.
- [26] D. Polverini, M. Field, E. Dunlop, W. Zaaiman, Polycrystalline silicon PV modules performance and degradation over 20 years, *Progress Photovolt. Res. Appl.* 21 (5) (2013) 1004–1015, <https://doi.org/10.1002/pip.2197>.
- [27] PVEDUCATION. “PV Module Temperature.” <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/pv-module-temperature> (accessed 25, March, 2019).
- [28] K.M. Yeom, S.U. Kim, M.Y. Woo, J.H. Noh, S.H. Im, Recent progress in metal halide perovskite-based tandem solar cells, *Adv. Mater.* 32 (2020) 2002228, <https://doi.org/10.1002/adma.202002228>.
- [29] T.J. Silverman, I. Subedi, N.J. Podraza, I.M. Slauch, V.E. Ferry, Reducing operating temperature in photovoltaic modules, *IEEE J. Photovoltaics* 8 (2) (2018) 532–540, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2017.2779842>.

دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

- [30] Aldossary A, Mahmoud S, Al-Dadah R. Technical feasibility study of passive and active cooling for concentrator PV in harsh environment. *Appl Therm Eng* 2016; 100:490–500. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.02.023>.
- [31] Ahmed A, Shanks K, Sundaram S, Mallick TK. Theoretical investigation of the temperature limits of an actively cooled high concentration photovoltaic system. *Energies* 2020;13(8):1902. <https://doi.org/10.3390/en13081902>.
- [32] Barrau J, Perona A, Dollet A, Rosell J. Outdoor test of a hybrid jet impingement/ micro-channel cooling device for densely packed concentrated photovoltaic cells. *Sol Energy* 2014;107:113–21. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.040>.
- [33] Radwan A, Ookawara S, Ahmed M. Thermal management of concentrator photovoltaic systems using two-phase flow boiling in double-layer microchannel heat sinks. *Appl Energy* 2019;241:404–19. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.017>.
- [34] Luo Qi, Li P, Cai L, Chen X, Yan H, Zhu HanXing, et al. Experimental investigation on the heat dissipation performance of flared-fin heat sinks for concentration photovoltaic modules. *Appl Therm Eng* 2019;157:113666. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.076>.
- [35] Theristis M, Fern'andez EF, Georghiou GE, O'Donovan TS. Performance of a concentrating photovoltaic monomodule under real operating conditions: Part I - outdoor characterisation. *Energy Convers Manag* 2017;154:311–21. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.027>.
- [36] Theristis M, Fern'andez EF, Sumner M, O'Donovan TS. Multiphysics modelling and experimental validation of high concentration photovoltaic modules. *Energy Convers Manag* 2017;139:122–34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.044>.
- [37] Duan J. A novel heat sink for cooling concentrator photovoltaic system using PCM-porous system. *Applied Thermal Engineering*. 2021 Mar 5;186:116522.
- [38] Zaghoul H, Emam M, Abdelrahman MA, Abd Rabbo MF. Optimization and parametric analysis of a multi-junction high-concentrator PV cell combined with a straight fins heat sink. *Energy Conversion and Management*. 2021 Sep 1;243:114382.
- [39] Johnston E, Szabo PS, Bennett NS. Cooling silicon photovoltaic cells using finned heat sinks and the effect of inclination angle. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2021 Jun 1;23:100902.