مقایسه تکنولوژی‌های خنک‌کاری در سیستم‌های فتوولتاییک- حرارتی

میلاد تیموری عمران[*1]، جواد طریقی[2]

۱. دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی؛miladtomran@yahoo.com
۲. استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی ؛tarighi@uma.ac.ir

چکیده

افزایش بازدهی سیستم‌های فتوولتاییک موضوع است که در سال‌های اخیراز اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تلاش‌ها زیادی برای افزایش بازدهی این سیستم‌ها حتی به مقدار بسیار اندک صورت گرفته است. بازدهی این سیستم‌ها غیر از تکنولوژی ساخت به عواملی مانند شرایط محیطی و آزمایشی این سیستم‌ها بستگی دارد. دمای محیط یکی از این عوامل است که با افزایش آن بازدهی این سیستم‌ها کاهش میابد. سیستم فتوولتاییک- حرارتی با رفع این مشکل موجب افزایش بازدهی الکتریکی شده و علاوه بر آن گرمایی که از سلول فتوولتاییک خارج می‌شود نیز به‌صورت انرژی حرارتی قابل‌استفاده است. در این تحقیق سعی شده تا مروری بر تکنولوژی‌های استفاده‌شده درزمینه خنک کاری سیستم‌های فتوولتاییک به‌منظور افزایش بازدهی الکتریکی و بازدهی کلی این سیستم‌ها صورت گیرد. بررسی تحقیقات گذشته نشان داده است که هر یک از تکنولوژی‌ها با طراحی‌های مختلف، تأثیرات متفاوتی در عملکرد سیستم‌های فتوولتاییک از خود نشان می‌دهد. ازاین‌رو انتخاب یک تکنولوژی مناسب با توجه شرایط محیطی هر منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کلمات کلیدی: *خنک کاری، فتوولتاییک- حرارتی، خورشیدی*

[*] نویسنده مسئول: miladtomran@yahoo.com

مقایسه تکنولوژی‌های خنک‌کاری در سیستم‌های فتوولتاییک- حرارتی

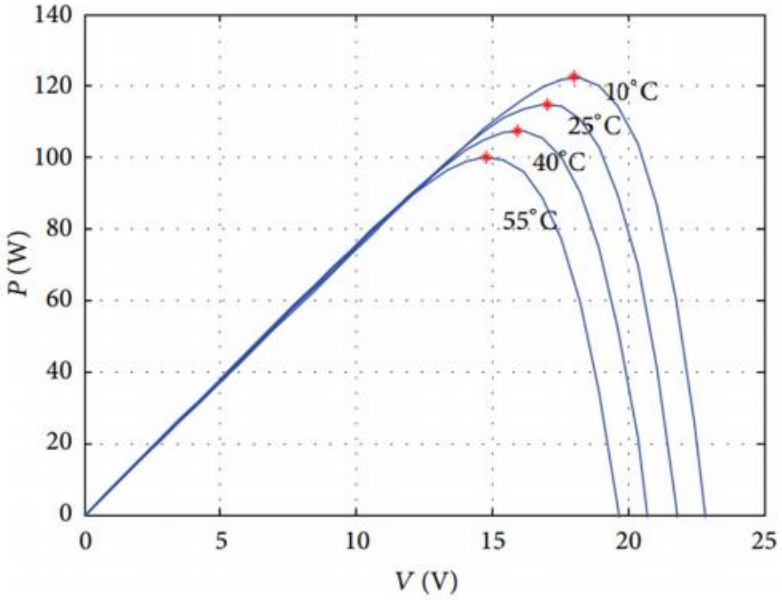
مقدمه

باوجود پیشرفت‌های علمی و صنعتی امروزه تنها ۱۵ الی ۲۰ درصد از تابش خورشید بر روی سطح صفحات فتوولتاییک به تولید انرژی الکتریکی ختم می‌شود و مابقی به‌صورت گرما در سیستم تلف می‌شود که خود باعث افزایش دمای سلول فتوولتاییک و کاهش بازدهی الکتریکی می‌شود [۱۲]. با افزایش دما به‌اندازه‌ی ۱ درجه کلوین، بازده سلول‌های مونوکریستال و پلی‌کریستال حدود ٪ ۰/۵- ۰/۴ و بازده سلول‌های سیلیکون آمورف حدود ٪ ۰/۱۴ کاهش می‌یابد. با دفع حرارتی از صفحات خورشیدی فتوولتاییک می‌توان این اثر نامطلوب را کاهش داد [۱]. برای این کار می‌توان از حرکت سیال بر روی صفحات خورشیدی فتوولتاییک استفاده کرد که این سیال می‌تواند هوا، آب یا هر سیال جاذب دیگری باشد. با حرکت سیال بخش زیادی از حرارت صفحه‌خورشیدی توسط انتقال حرارت به شیوه همرفت با سیال اطراف آن جابجا شده و دمای صفحه‌خورشیدی کاهش می‌یابد که نهایتاً موجب افزایش بازدهی الکتریکی می‌شود. جمع کننده‌های فتوولتاییک-حرارتی خورشیدی ترکیبی از صفحات خورشیدی فتوولتاییک (PV) و کلکتورهای حرارتی خورشیدی هستند که در یک قالب به‌هم‌پیوسته قرارگرفته‌اند و همزمان تولید برق و گرما می‌کنند. جمع‌کننده حرارتی از یک سیال عامل بهره‌مند است که وظیفه جذب حرارت از سیستم فتوولتاییک را دارد، که موجب افزایش راندمان مدول فتوولتاییک می‌شود [۲]. هدف از این تحقیق مروری بر تحقیقات گذشته و یافتن تکنیک‌های مختلف جهت خنک‌کاری سلول‌های خورشیدی و افزایش بازدهی این سیستم‌ها است.

مواد و روش‌ها

بازدهی سلول‌های خورشیدی

باوجود پیشرفت‌های علمی و صنعتی امروزه تنها ۱۵ الی ۲۰ درصد از تابش خورشید بر روی سطح صفحات فتوولتاییک به تولید انرژی الکتریکی ختم می‌شود و مابقی به‌صورت گرما در سیستم تلف می‌شود که خود باعث افزایش دمای سلول فتوولتاییک و کاهش بازدهی



شکل ۱: تأثیر افزایش دما بر ولتاژ و توان تولیدی از صفحه خورشیدی فتوولتاییک [۲۲]

الکتریکی می‌شود. [۱۲]. شکل ۱ نمونه‌ای از افت ولتاژ و توان با افزایش دما را نشان می‌دهد.

سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی

تحقیقات بر روی افزایش بازدهی سامانه‌های فتوولتاییک از اواسط دهه ۱۹۷۰ شروع شد. در ابتدا هدف از این تحقیقات تنها افزایش بازدهی سلول‌های فتوولتاییک بود اما بعدها فکر استفاده از حرارت استخراج‌شده نیز مطرح شد. افزایش دما موجب کاهش بازدهی سلول فتوولتاییک خواهد شد و برای رفع این مشکل بایستی راه‌حلی برای از بین بردن گرمای اضافی پیدا کرد [۲۹]. سیستم‌های فتوولتاییک – حرارتی (PVT) ترکیبی از صفحات فتوولتاییک و تکنولوژی حرارتی خورشیدی هستند که با استخراج گرمای اضافی از سیستم فتوولتاییک قادر به تولید همزمان الکتریسیته و حرارت هستند [۱۰]. سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی ازلحاظ شکل ساخت به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. این دسته‌بندی شامل جمع‌کننده(کلکتور) صفحه‌تخت، جمع‌کننده استوانه‌ای توخالی و جمع‌کننده متمرکزکننده می‌باشد. در نوع صفحه‌تخت نور خورشید مستقیم به سطح پنل می‌رسد اما در انواع دیگر نور خورشید ابتدا به یک سطح شفاف برخورد کرد و بازتاب آن به سطح مدنظر می‌رسد. در این میان جمع کننده‌های صفحه تخت به‌واسطه آسان‌تر بودن طراحی و ساخت بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرد[۳].

تکنولوژی‌های مختلف برای خنک‌کاری در سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی صفحه‌تخت

سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی به دسته‌بندی‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. این سیستم‌ها ازنظر نوع سیستم خنک‌کاری یا همان تکنولوژی حرارتی به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: ۱- سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه هوا ۲-سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه آب ۳- سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه نانو سیال ۴- سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه مواد تغییر فاز دهنده.

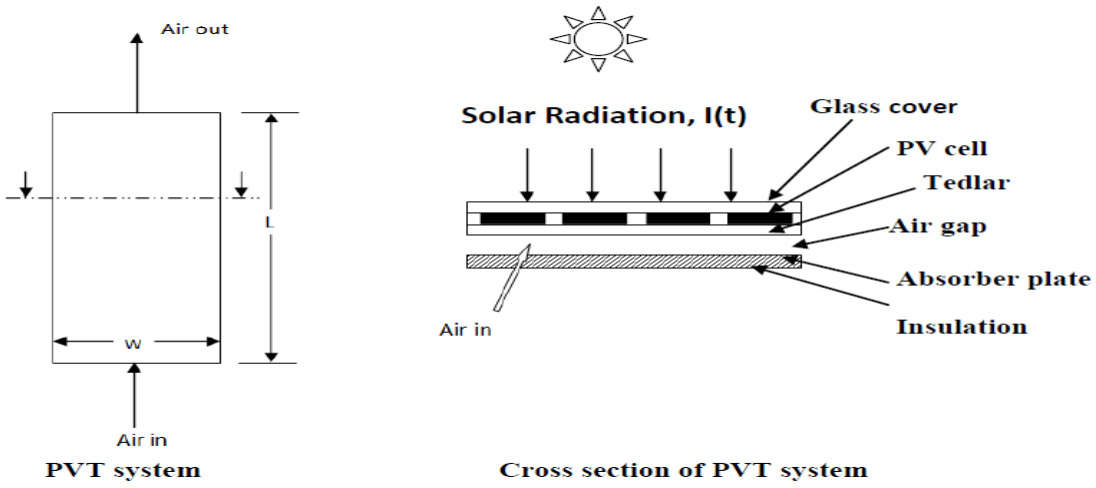
سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه هوا

در این‌گونه سیستم‌ها از جریان هوا به دو صورت طبیعی و اجباری که معمولاً در کانال‌های در پشت صفحات خورشیدی جریان می‌یابد، جهت استخراج گرمای سیستم فتوولتاییک استفاده می‌شود. در شکل ۲ نحوه طراحی سیستم فتوولتاییک-حرارتی بر پایه هوا را مشاهده می‌کنید. آسانی دسترسی، هزینه پایین و قابلیت استفاده در حجم زیاد ازجمله ویژگی‌های مثبت این سستم است. اگرچه در سیستم‌های هوایی احتمال یخ‌زدگی و جوشش سیال عامل وجود ندارد، این سیستم‌ها ضریب انتقال حرارت و ظرفیت گرمایی پایینی دارند که باعث می‌شود انتقال حرارت از صفحه‌خورشیدی فتوولتاییک به سیال عامل دچار محدودیت بشود [۲۰]. تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که دمای هوا و جریان هوا در مقابل و پشت صفحات فتوولتاییک تأثیر زیادی در عملکرد الکتریکی سیستم دارد. در تحقیقی شهسوار و همکاران [۲۱] یک مدل تئوری از سیستم فتوولتاییک-حرارتی با استخراج گرما به دو صورت جریان هوای طبیعی و جریان هوای اجباری ارائه کردند. در این تحقیق یک صفحه نازک آلومینیومی در کانال هوای پشت صفحه خورشیدی نصب شد و اثر قرارگیری شیشه بر روی ماژول نیز بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از شیشه و جریان اجباری هر دو سبب بهبود عملکرد سیستم می‌شود. در پژوهشی دیگر تئو و همکاران [۲۷] مدل عددی را برای بررسی عملکرد سیستم فتوولتاییک-حرارتی با صفحه جاذب از نوع آلومینیومی ارائه کردند. در این تحقیق اثر پوشش شیشه بر روی ماژول و پره‌هایی که پشت سیستم جهت خنک‌کاری سیستم با هوا ساخته‌شده بود را مورد ارزیابی قراردادند. در این پژوهش پارامترهایی همچون دمای خروجی هوا، طول لوله کلکتور و جریان جرمی هوا

موردسنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از شیشه و پره هر دو سبب بهبود عملکرد سیستم شده است. جدول۱ نتایج از تحقیقات صورت گرفته درزمینهٔ سامانه‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه هوا را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در تحقیقات درزمینهٔ سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه هوا

نوع خنک‌کاری	نرخ جریان	نوع جاذب	بازدهی الکتریکی	بازدهی حرارتی	منبع
برپایه هوا	۶۵/۲Kg/m2	کانال هوای آلومینیومی	۳/۹۶ – ۵/۴۲	۳۵/۸۰ – ۵۱/۹۵	[۳۰]
برپایه هوا	۰/۰۶۶۷m^3/s	کانال هوای آلومینیومی	۱۵	۲۲	[۴]
برپایه هوا	۰/۰۵ $Kg/s/m^2$	کانال هوای آلومینیومی	۹-۱۰	۵۲	[۲۸]



شکل۲- شماتیکی از یک سیستم فتوولتاییک-حرارتی بر پایه هوا [۹]

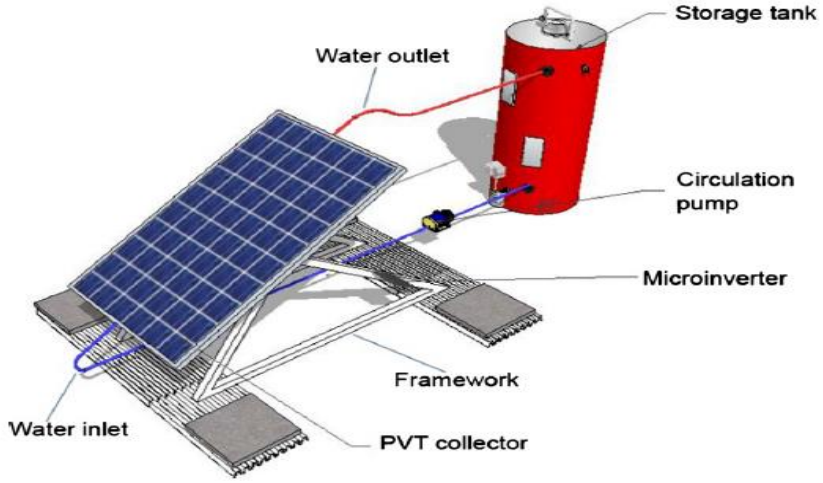
سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه آب

سیستم فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه آب از مرسوم‌ترین این نوع از سیستم‌ها در جهان محسوب می‌شوند. آب در سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی صفحه‌تخت و انواع سیستم‌های خورشیدی متمرکز شونده به‌طور گسترده استفاده می‌شود. آب به‌عنوان یک خنک‌کننده رایج در بسیاری از صنایع و بخش‌های کوچک و بزرگ نیز کاربرد دارد. از کاربردهای آب در سیستم‌های خنک‌کاری می‌توان به استفاده در محفظه‌ی احتراق، استفاده در نیروگاه‌های بخار، کارخانه‌های تولید فولاد و کارخانه‌های شیمیایی نام برد. ارزان بودن، غیر سمی بودن و بالا بودن ظرفیت حرارتی از ویژگی‌های خوب آب به‌عنوان یک سیال عامل جهت خنک‌کاری است. اما مشکلاتی همچون ایجاد زنگ‌زدگی، یخ‌زدگی و فرسایش سیستم‌ها را نیز به وجود می‌آورد [۷]. شکل۳ شماتیکی از یک سیستم فتوولتاییک-حرارتی بر پایه آب را نشان می‌دهد. جریان آب در داخل کانال و یا معمولاً در داخل لوله‌های از جنس مس یا آلومینیوم جریان می‌یابد و دمای سلول را کاهش می‌دهد. جریان آب بعد از عبور از داخل لوله‌های پشت صفحه‌خورشیدی گرم شده و به داخل مخزن می‌ریزد. در تحقیقی که به‌صورت عددی و تجربی در آب‌وهوای گرم کشور عربستان سعودی صورت گرفت، استفاده از آب در سیستم فتوولتایک نشان داد که دمای میانگین سطح ماژول را تا ۲۰٪ کاهش می‌دهد و سبب می‌شود تا بازدهی الکتریکی سیستم تا حدود ۹٪ افزایش داشته باشد [۴]. ابراهیم و

همکاران [۱۶] عملکرد سیستم فتوولتاییک-حرارتی را با لوله‌های ضد زنگ و جریان‌های متفاوت از دبی مورد بررسی قراردادند. نتایج این پژوهش نشان داد که بازده‌ی الکتریکی به‌دست‌آمده در دبی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه تا حدود ۱۲٪ می‌باشد. همچنین بازده حرارتی سیستم نیز در حدود ٪ ۵۰/۱۲ به دست آمد. جدول ۲ نمونه‌های از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در تحقیقات درزمینهٔ سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه آب

نوع خنک‌کاری	نرخ جریان	نوع جاذب	بازدهی الکتریکی	بازدهی حرارتی	منبع
بر پایه آب	۰/۰۲۷Kg/s	صفحه جاذب وکانال مسی	۱۵	۵۰	[۱۵]
بر پایه آب	۰/۵Lit/min	صفحه جاذب وکانال آلومینیومی	۱۱/۸۲	۷۲/۰۲	[۱۹]
بر پایه آب	۰/۰۳ -۰/۰۶Kg/s-	صفحه جاذب ولوله های مسی وکانال آلومینیومی	۱۱/۸	۴۰/۷	[۲۶]



شکل۳- شماتیکی از یک سیستم فتوولتاییک-حرارتی بر پایه آب [۶]

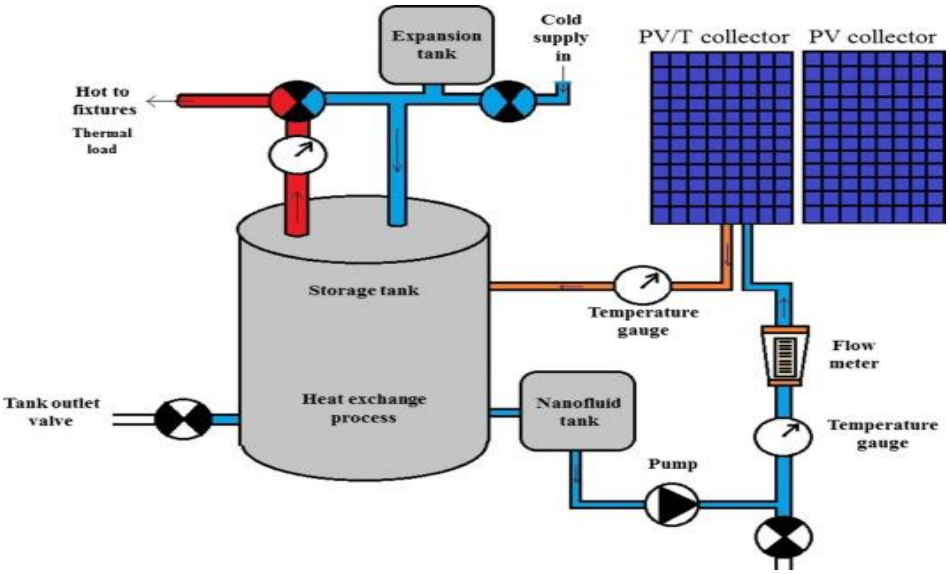
سیستم‌های فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه نانو سیال

نانو سیال‌ها ترکیباتی از سیال هستند که با اضافه کردن ذراتی در ابعاد نانو خواص سیال پایه را تغییر می‌دهند. در مورد خنک‌کاری سیستم‌های فتوولتاییک افزایش هدایت‌حرارتی سیال پایه موجب بهبود انتقال حرارت و افزایش بازدهی الکتریکی سیستم فتوولتاییک می‌شود. نانوتکنولوژی در این زمینه به کمک علم خورشیدی آمده است تا عملکرد سلول خورشیدی افزایش یابد. ازاین‌رو انتخاب نانو مواد مناسب و نحوه ترکیب آن موضوع بسیاری از تحقیقات درزمینهٔ خنک‌کاری سیستم‌های فتوولتاییک شده است. شکل ۴ شماتیکی از سیستم فتوولتاییک‌حرارتی بر پایه نانوسیال را نشان می‌دهد که از یک مبدل گرمایی استفاده می‌کند. در تحقیقی نانو سیال AL2O3 بر پایه آب توسط ساندرمجی و همکاران [۲۵] مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در سه سطح غلظت نانوسیال به ترتیب ٪۰/۱۵، ٪۰/۲۵، ٪۰/۵ صورت گرفت. نتایج نشان داد که افزایش غلظت نانو ذرات در کلکتور موجب بهبود انتقال حرارت همرفتی سیال می‌شود. اما فشار سیستم به مقدار جزئی بالا می‌رود. در مطالعه‌ای دیگری مادهو وهمکاران [۱۸] به‌صورت تجربی بازدهی سیستم فتوولتاییک-حرارتی با استفاده از نانو سیال‌ها AL2O3 ، CuO، TiO2 بر پایه آب را مورد بررسی قراردادند. در این کار ازغلظت‌های حجمی نانو از۰/۰۲تا ۰/۰۵ درصد

استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از غلظت‌های بالاتر نتایج بهتری به همراه خواهد داشت و همچنین در بین نانوسیال‌ها ، نانوسیال AL2O3 عملکرد بهتری داشت. جدول ۳ نمونه‌های از تحقیقات در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در تحقیقات درزمینهٔ سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه نانوسیال

نوع خنک‌کاری	نرخ جریان	نوع جاذب	بازدهی الکتریکی	بازدهی حرارتی	منبع
بر پایه نانوسیال	۰/۵Lit/min	صفحه جاذب وکانال آلومینیومی	۱۱/۹۶	۷۵/۶۹	[۱۹]
بر پایه نانوسیال	۱۲۰Lit/h	صفحه جاذب وکانال آلومینیومی	۱۲/۵	۸۱/۲۴	[۱۱]
بر پایه نانوسیال	۰/۰۱Kg/s	صفحه جاذب وکانال آلومینیومی	۷/۶۲	۲۸/۲۲	[۱۷]

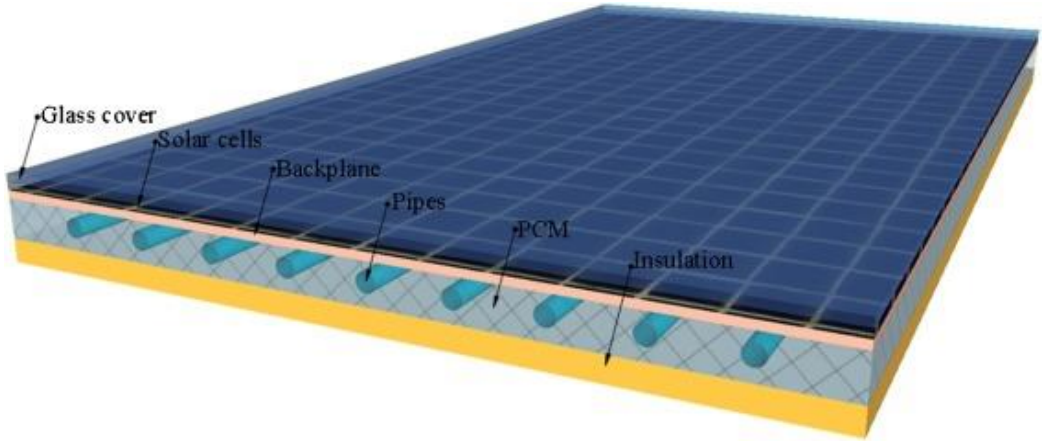


شکل٤- چگونگی کاربرد نانوسیال در سیستم خنک‌کاری سلول خورشیدی در سیستم فتوولتاییک-حرارتی [۵]

سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی بر پایه مواد تغییر فاز دهنده

کاربرد مواد تغییر فاز دهنده برای خنک‌کاری سیستم‌های فتوولتاییک برای اولین بار توسط استولز و ون در سال ۱۹۷۷ امتحان شد. آن‌ها دریافتند که خنک‌کاری با مواد تغییر فاز دهنده تکنیکی مناسب جهت کاهش دمای سلول است و عملکرد آن با بیشتر شدن هدایت گرمایی به سمت مواد تغییر فازدهنده بهبود می‌یابد [۲۳]. بعد از پی بردن به این تکنیک تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفت. در تحقیقی حسن و همکاران [۱۴] سیستم فتوولتاییک-حرارتی همراه با مواد تغییر فاز دهنده پارافینی از نوع RT40 در آب‌وهوای بسیار گرم کشور امارات مورد ارزیابی قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم فتوولتاییک همراه با مواد تغییر فاز دهنده تا حدود ۶ درصد افزایش بازدهی الکتریکی خواهد داشت. برون و همکاران [۸] در یک تحقیق به مقایسه سه سیستم فتوولتاییک، فتوولتاییک-حرارتی بر پایه آب و فتوولتاییک-حرارتی بر پایه مواد تغییر فازدهنده پرداختند. نتایج نشان داد که مواد تغییر فاز دهنده ظرفیت بالاتری ازلحاظ جذب گرما به نسبت آب دارد و عملکرد این سیستم ازلحاظ الکتریکی بازدهی بالاتری داشت. در تحقیقی دیگر حاچم و همکاران [۱۳] عملکرد

مواد تغییر فازدهنده خالص با ضریب هدایت‌حرارتی $0.18w/m^{\circ}k$ و مواد تغیرفاز دهنده ترکیبی (۷۰٪ مواد تغییر فازدهنده، ۲۰٪ فلز مس و ۱۰٪ گرافیت) با ضریب هدایت‌حرارتی $95.38\ w/m^{\circ}k$ را ازنظر الکتریکی و حرارتی مورد بررسی قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مواد تغییر فازدهنده ترکیبی و خالص به ترتیب عملکرد الکتریکی سیستم را به‌طور میانگین ۵/۸ و ۳ درصد افزایش می‌دهد. شکل زیر نمونه‌ای از کاربرد مواد تغییر فاز دهنده را درزمینهٔ سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی نشان می‌دهد. شکل ۵ نحوه قرارگیری مواد تغییر فاز دهنده پشت لوله‌های کلکتورحرارتی را نشان می‌دهد.



شکل۵- استفاده از مواد تغییرفازدهنده درسیستم فتوولتاییک-حرارتی [۲۴]

نتیجه‌گیری

سیستم‌های فتوولتاییک-حرارتی به‌واسطه استخراج گرما از سطح ماژول عملکرد بهتری ازلحاظ الکتریکی نسبت به سیستم‌های فتوولتاییک دارند. علاوه بر این گرمای استخراج‌شده قابل‌استفاده جهت گرم کردن فضاهای بسته کوچک، استفاده در صنعت در شرایطی که نیاز به دمای آن‌چنان بالای نیست و مواردی از این قبیل است. لذا به‌کارگیری تکنولوژی مناسب جهت استخراج گرما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از میان تکنولوژی‌های مطرح‌شده در این تحقیق هرکدام بسته به شرایط محیطی منطقه‌ای و نحوه طراحی سیستم می‌تواند مفید واقع شود. لازم است تا در انتخاب نوع تکنولوژی انتخابی جهت خنک‌کاری به مواردی همچون چرخه اقتصادی، زیست‌محیطی، میزان کارکرد مؤثر در شرایط اقلیمی و همچنین حفظ کیفیت و مصون ماندن از آسیب سیستم فتوولتاییک در طی سال‌های پیش رو توجه داشت.

مراجع

۱. محمدی قهرودی م. ۱۳۹۱. آشنایی با مبانی و اصول طراحی سیستم‌های برق خورشیدی(فتوولتاییک). انتشارات آیلار
۲. مهدوی عادلی، م .ح. سلیمی فر، م. قزلباش، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد) .سیاست‌گذاری اقتصادی۱۲۳-۱۴۷، ۶(۱۱)
۳. میرزایی ضیاپور، بهروز؛ وحید پالیده؛ ناصر یادگاری و محسن باقری خلیلی، ۱۳۹۳، سیستم‌های فتوولتاییک- حرارتی (PVT) و استفاده از آن‌ها برای تولید برق و گرمایش ساختمان، پنجمین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع، تهران

4. Ahmad Fudholi, Kamaruzzaman Sopian, Mohammad H. Yazdia, Mohd Hafidz Ruslana, Adnan Ibrahim, Hussein A. Kazem , Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors" Energy Conversion and Management 78 pp 641-651, 2014
5. Al-Waeli, A. H., Chaichan, M. T., Sopian, K., Kazem, H. A., Mahood, H. B., & Khadom, A. A. (2019). Modeling and experimental validation of a PVT system using nanofluid coolant and nano-PCM. Solar Energy, 177, 178-191.
6. Aste, N., Del Pero, C., Leonforte, F., & Manfren, M. (2016). Performance monitoring and modeling of an uncovered photovoltaic-thermal (PVT) water collector. Solar Energy, 135, 551-568.
7. Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., & Rehman, S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. Energy, 59, 445-453.
8. Browne, M. C., Lawlor, K., Kelly, A., Norton, B., & Mc Cormack, S. J. (2015). Indoor characterisation of a photovoltaic/thermal phase change material system. Energy Procedia, 70, 163-171.
9. Das, B., Rezaie, B., Jha, P., & Gupta, R. (2017, November). Performance analysis of single glazed solar PVT air collector in the climatic condition of NE India. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 2, No. 4, p. 171).
10. Dimri, N., Tiwari, A., & Tiwari, G. N. (2017). Thermal modelling of semitransparent photovoltaic thermal (PVT) with thermoelectric cooler (TEC) collector. Energy Conversion and Management, 146, 68-77.
11. Fayaz, H., Nasrin, R., Rahim, N. A., & Hasanuzzaman, M. (2018). Energy and exergy analysis of the PVT system: Effect of nanofluid flow rate. Solar Energy, 169, 217-230.
12. Fayaz, H., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., Nasrin, R., & Rivai,A. (2019). Numerical and experimental investigation of the effect of operating conditions on performance of PVT and PVT-PCM. Renewable Energy, 143, 827-841.
13. Hachem, F., Abdulhay, B., Ramadan, M., El Hage, H., El Rab, M. G., & Khaled, M. (2017). Improving the performance of photovoltaic cells using pure and combined phase change materials–Experiments and transient energy balance. Renewable energy, 107, 567-575.
14. Hasan, A., Sarwar, J., Alnoman, H., & Abdelbaqi, S. (2017). Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate. Solar Energy, 146, 417-429.
15. Hazami, M., Riahi, A., Mehdaoui, F., Nouicer, O., & Farhat, A. (2016). Energetic and exergetic performances analysis of a PV/T (photovoltaic thermal) solar system tested and simulated under to Tunisian (North Africa) climatic conditions. Energy, 107, 78-94.
16. Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Alghoul, M., Yahya, M., Zaharim, A., & Sopian, K. (2009). Performance of photovoltaic thermal collector (PVT) with different absorbers design. WSEAS Transactions on Environment and Development, 5(3), 321-330.
17. Jee Joe Michael , S. Iniyan, Performance analysis of a copper sheet laminated photovoltaic thermal collector using copper oxide – water nanofluid, Solar Energy 119, pp 439-451, 2015
18. Madhu, B., Subramanian, B. E., Nagarajan, P. K., Sathyamurthy, R., & Mageshbabu, D. (2017). Improving the yield of freshwater and exergy analysis of conventional solar still with different nanofluids. *FME Transactions*, *45*(4), 524-530

19. Nasrin, R., Rahim, N. A., Fayaz, H., & Hasanuzzaman, M. (2018). Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PVT: Experimental and numerical research. Renewable energy, 121, 286-300.
20. Qureshi, U., Baredar, P., & Kumar, A. (2014). Effect of operating parameters on the performance of the hybrid solar PVT collector under different weather condition. Environment and Technology, 3, 1563-1570.
21. Shahsavar, A., & Ameri, M. (2010). Experimental investigation and modeling of a direct-coupled PV/T air collector. Solar Energy, 84(11), 1938-1958.
22. Sher, H. A., Murtaza, A. F., Noman, A., Addoweesh, K. E., & Chiaberge, M. (2015). An intelligent control strategy of fractional short circuit current maximum power point tracking technique for photovoltaic applications. Journal of renewable and sustainable Energy, 7(1), 013114.
23. Stultz, J. W., & Wen, L. C. (1977). Thermal performance testing and analysis of photovoltaic modules in natural sunlight. LSSA Project Task Report 5101-31. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 29.
24. Su, D., Jia, Y., Lin, Y., & Fang, G. (2017). Maximizing the energy output of a photovoltaic–thermal solar collector incorporating phase change materials. Energy and Buildings, 153, 382-391.
25. Sudarmadji, S., Soeparman, S., Wahyudi, S., & Hamidy, N. (2014). Effects of cooling process of Al2O3-water nanofluid on convective heat transfer. FME Transactions, 42(2), 155-160.
26. Swapnil Dubey, Andrew A. O. Tay, Experimental Study of the Performance of Two Different Types of Photovoltaic Thermal (PVT) Modules under Singapore Climatic Conditions, Ash din Publishing Journal of Fundamentals of Renewable
27. Teo, H. G., Lee, P. S., & Hawlader, M. N. A. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. applied energy, 90(1), 309-315.
28. Tonui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y., Performance improvement Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements, Solar Energy 81, pp 498–511, 2007
29. Touafek, K., Haddadi, M., & Malek, A. (2013). Design and modeling of a photovoltaic thermal collector for domestic air heating and electricity production. Energy and Buildings, 59, 21-28.
30. Wei He, Yang Zhang, Jie Ji, Comparative experiment study on photovoltaic and thermal solar system under natural circulation of water, Applied Thermal Engineering 31, pp 3369-3376, 2011.

Comparison of cooling technologies in photovoltaic-thermal systems

Milad teymori omran[1*], javad tarighi2[2],

1. PhD student of biosystems mechanics, University of Mohaghegh Ardabili
2. Assistant Professor of Agricultural Mechanization Departmentm, University of Mohaghegh Ardabili

Abstract

Increasing the efficiency of photovoltaic systems is a topic that has been of great importance in recent years. Many efforts have been made to increase the efficiency of these systems, even to a very small extent. The efficiency of these systems other than manufacturing technology depends on factors such as the environmental and experimental conditions of these systems. As the ambient temperature increases, the electrical efficiency of photovoltaic systems decreases. The photovoltaic-thermal system by extracting heat from these systems increases the electrical efficiency and in addition to the heat coming out of the photovoltaic cell can also be used as thermal energy. This study attempts to review the technologies used in cooling photovoltaic systems to increase the electrical efficiency and overall efficiency of these systems. A review of past research has shown that each technology with different designs has different results in the performance of photovoltaic systems.

Key words: cooling, Photovoltaic-thermal, solar

*Milad teymori omran
E-mail: miladtomran@yahoo.com