فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

انرژی حرارتی/ فتوولتائیک (PV/T) خورشیدی

اصغر قادری۱، مجید قلندرزهی۲
۱استادیار گروه برق دانشگاه آزاد، واحد ایرانشهر، ایران.
۲دانشجوی رشته برق قدرت دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر، ایران.

چکیده

تشدید مداوم آلودگی های زیست محیطی و افزایش سریع منابع متعارف قیمت انرژی، دانشمندان را به جستجوی راه حل هایی مانند بازیابی گرما و منابع مستمر انرژی تشویق کرد. یکی از متمایزترین انواع انرژی های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که انرژی تجدیدپذیر تمیز، رایگان و دوستدار محیط زیست است. در واقع، چندین سیستم انرژی خورشیدی وجود دارد که نیاز به مطالعه دارند. در عین حال، ترکیب سیستم های انرژی خورشیدی یک روند این روزها است که هدف آن بهینه سازی مزایای تابش خورشیدی است. سیستم خورشیدی هیبریدی فتوولتائیک/حرارتی (PVT) با ترکیب کلکتورهای حرارتی خورشیدی و فتوولتائیک های خورشیدی برای تولید همزمان برق و تولید گرما به دست می آید. در این مقاله در مورد فناوری های حرارتی ، فتوولتائیک (PV)، و ترکیب فتوولتائیک/ حرارتی (PV/T) خورشیدی در حال حاضر و در آینده نزدیک بحث می شود. مفهوم PV/T و نظریه ای که ورای کاربرد آن قرار دارد به طور خلاصه معرفی می شود، و استانداردهای ارزیابی عملکرد فنی، اقتصادی و زیست محیطی سیستم های PV/T مد نظر قرار می گیرند. از لحاظ نوع PV/T و روش تحقیق استفاده شده تحلیل می شود. ویژگی های مهم، وضعیت حال حاضر و تمرکزات تحقیقاتی، دشواری ها و موانع موجود مرتبط با انواع مختلف PV/T تعیین می شوند.

کلیدواژه ها: انرژی خورشیدی، حرارتی خورشیدی، فتوولتائیک خورشیدی، PV/T.

مقدمه

نگرانی‌های فزاینده مداوم در مورد گرمایش جهانی انگیزه بزرگی برای توسعه فناوری های انرژی سبز در سال‌های اخیر بوده است. به ویژه، روش ها و دستگاه های برداشت انرژی خورشیدی به طور قابل توجهی بهبود یافته است (Jaaz و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال، به دلیل ماهیت متناوب انرژی خورشیدی، باید مکانیزمی برای ذخیره انرژی و تامین آن در مواقعی که مصرف بیشتر از تولید برق است، به کار گرفت. این نه تنها شب‌ها، بلکه صبح زود و قبل از غروب آفتاب را نیز شامل می‌شود، زمانی که انرژی خورشیدی برداشت شده به میزان قابل توجهی کم است. در اکثر نقاط، انرژی خورشیدی به طور متوسط برای کمتر از ۸ ساعت در روز قابل اعتماد است (Jaaz و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، شرایط آب و هوایی می تواند تأثیر قابل توجهی بر در دسترس بودن انرژی خورشیدی در طول روز داشته باشد. در این راستا، طراحی سیستمی با توان خروجی و ظرفیت ذخیره سازی کافی برای اطمینان از در دسترس بودن توان الکتریکی حیاتی است.

گرمای خورشید در حال حاضر تنها ۰٫۵٪ کل نیاز اولیه انرژی را فراهم می کند و فتوولتائیک خورشیدی (PV) نسبت حتی پایین تری از تامین انرژی را به خود اختصاص می دهد (یعنی ۰٫۰۴٪). هر دو فناوری PV و حرارت خورشیدی جای رشد بسیار زیادی دارد که پیشرفت های فنی دائمی و نگرانی های رو به افزایش برای صرفه جویی در مصرف انرژی و محافظت از محیط زیست می توانند باعث برانگیختن و تسریع آن شوند. این توسعه مطمئنا در کاهش قابل توجه مصرف سوختهای فسیلی و توقف انتشار کربن سهم خواهد داشت (Huide و همکاران، ۲۰۱۷).

گرمای خورشید یکی از به صرفه ترین فناوری های انرژی تجدید پذیر می باشد و پتانسیل کلانی در بازار جهانی دارد. این فناوری که نماینده بیش از ۹۰ درصد ظرفیت خورشیدی نصب شده در جهان می باشد، برای اهداف مختلفی استفاده می شود، از جمله تولید اب گرم داخلی و گرم کردن فضا، خنک کردن به کمک خورشید، و فرایند گرمایی صنعتی (Jaaz و همکاران، ۲۰۱۷).

بازار جهانی گرمای خورشیدی از آغاز دهه ۱۹۹۰ به طور مستمر در حال رشد بوده، و در اروپا بازار حرارت خورشیدی از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۰۶ به سه برابر رسید و هنوز هم به رشد خود ادامه می دهد. یک سند چشم انداز که ایستگاه فناوری گرمای خورشیدی (ESTTP) منتشر کرد نشان می داد که تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۵۰٪ حرارت دمایی پایین و متوسط از طریق حرارت خورشیدی تامین خواهد شد. فدراسیون صنایع حرارت خوورشیدی اروپا (ESTIF) پیش بینی کرده که تا سال ۲۰۲۰، اتحادیه اروپا به ظرفیت کل حرارت خورشیدی کاربردی به بین ۹۱ و ۳۲۰ گیگا وات (GW) خواهد رسید و در نتیجه منجر به صرفه جویی معادل تا حداقل ۵۶۰۰ تن نفت خام خواهد شد. اتحادیه اروپایی تا سال ۲۰۵۰ در نهایت به 1200GW ظرفیت حرارت خورشیدی خواهد رسید (Herrando و همکاران، ۲۰۱۹).

در حال حاضر یک فناوری بالغ تجاری و فنی است که می تواند با استفاده از انرژی خورشیدی برق کوتاه مدت و میان مدت تولید و تامین کند. اگرچه تاسیسات PV در حال حاضر هنوز کوچک هستند و تنها ۰٫۱٪ تولید برق جهانی را تامین می کنند، مروری بر بازار نشان می دهد که تاسیسات جهانی PV با سرعت متوسطه سالیانه ۴۰٪ در حال رشد می باشند. PV با پیشرفت مستمر فنی، افزایش حجم تاسیسات، کاهش هزینه و سیاستهای قانونی تشویقی، مطمئنا به رشد سریع خود ادامه خواهد داد و در نهایت تبدیل به یک منبع مهم تامین انرژی در جهان خواهد شد. IEA (آژانس بین المللی انرژی) در نقشه اخیر خود به نام انرژی فتوولتائیک خورشیدی پیش بینی می کند که PV حدود ۵٪ انرژی جهانی مورد نیاز را تا سال ۲۰۳۰ و ۱۱٪ این انرژی را تا سال ۲۰۵۰ تامین خواهد کرد. استفاده سریع از PV منجر به کاهش بیش از ۱۰۰ گیگا تنی در انتشار CO_2 در دوره زمانی بین سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۵۰ شد (Herrando و همکاران، ۲۰۱۹).

همراه با فناوری های رو به رشد سلول های فتوولتائیک (PV) و دستگاه‌های ذخیره‌سازی الکتروشیمیایی (مانند باتری‌ها و ابرخازن‌ها)، بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی روی دستگاه‌ها و سیستم های هیبریدی برای برداشت و ذخیره انرژی خورشیدی کار کرده‌اند. طیف گسترده ای از رویکردهای جدید، برخی به عنوان یکپارچه سازی ساده دو دستگاه در یک بسته و برخی با

ساختارهای ابداع شده با استفاده از مواد در حال ظهور، نشان داده شده اند که علاقه به توسعه سلول های هیبریدی را برطرف می کنند (Herez و همکاران، ۲۰۱۸).

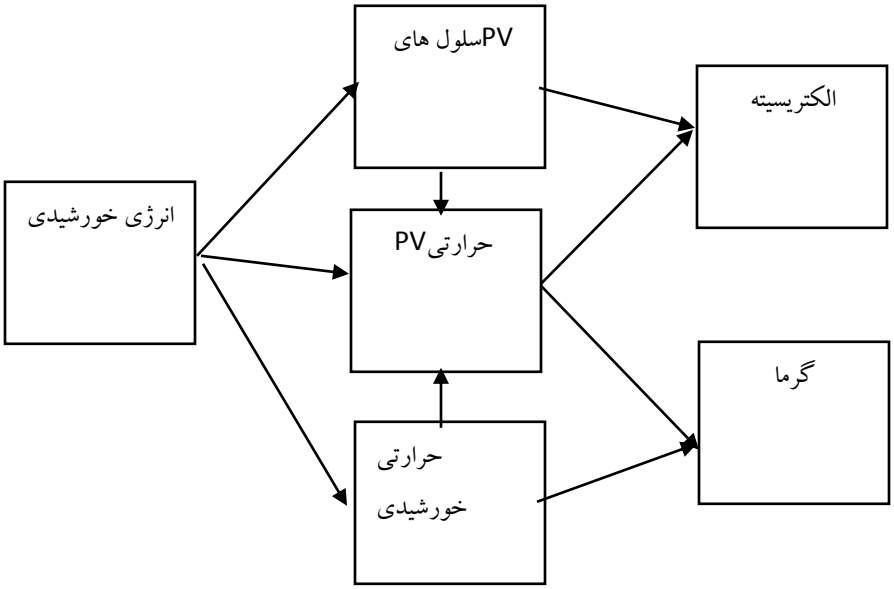
PV/T یک فناوری دوگانه است که مولفه های PV و حرارت خورشیدی را با هم ترکیب کرده و یک مدل واحد برای ارتقاء کارایی تبدیل خورشیدی و استفاده اقتصادی از فضا را تشکیل می دهد. یک ماژول PV می تواند به طور همزمان برق و گرما تولید کند، و در نتیجه از هر دو فناوری PV و حرارت خورشیدی بهره می برد. عملکرد دوگانه PV/T منجر به نسبت بالاتر تبدیل خورشیدی از PV تنها و گرد آورنده خورشیدی می شود، و در نتیجه امکان استفاده موثر تر از انرژی خورشیدی را فراهم می کند. در نتیجه انتظار می رود پتانسیل آن در بازار بیشتر از سیستم های حرارت خورشیدی PV به تنهایی باشد. با این حال، از آنجایی که PV/T یک فناوری نوظهور است، مقوله های مختلف در ارتباط با PV/T همچنان مبهم می مانند از جمله وضعیت فنی در حال حاضر، دشواری ها و مسائل باقی مانده، پتانسیل بازار و موانع کاربرد عملی و غیره (Herrando و همکاران، ۲۰۱۹). با در نظر گرفتن مشارکت دانشمندان و محققان در زمینه دستگاه های هیبریدی، این مقاله به عنوان یک بررسی انتقادی برای پرداختن به نیاز به استفاده از دستگاه های ترکیبی و بحث در مورد چالش ها در رویکردهای مختلف برای برآورده کردن الزامات برای کاربردهای عملی نوشته شده است. تمرکز این بررسی بر این است که دستگاه‌های هیبریدی به یک بازار خاص توجه کنند که باید در طراحی و توسعه دستگاه‌های جدید در نظر گرفته شود، زیرا استفاده از دستگاه‌های هیبریدی در هر سیستم انرژی خورشیدی توجیه تجاری ندارد. در بخش بعدی موارد زیر را بررسی خواهیم کرد: (۱) روش مرسوم استفاده از پنل های خورشیدی با باتری های خارجی. (۲) چالش های فنی در استفاده از دستگاه های هیبریدی برای ساخت پنل خورشیدی هیبریدی. (iii) بازار خاص برای دستگاه های هیبریدی برای تامین انرژی الکترونیک کم مصرف و ولتاژ پایین. و (IV) توپولوژی های مختلف استفاده از سلول های خورشیدی و یک واحد ذخیره سازی.

مفهوم بنیادی PV/T

سلول های PV مولفه های شناخته شده تولید برق خورشیدی هستند و بازدهی خورشیدی PV ها پارامتری است که مربوط به جنس سلول ها و دمای آنها است. عموماً، بازدهی الکتریکی PV ها در برد ۶ تا ۱۸٪ می باشد که مقداری است که در دمای اسمی سلول در حال کار (NOCT) اندازه گیری می شود (0.8 kW/m2 از اشعه خورشیدی، ۲۰ درجه سانتیگراد دمای محاصره شده و 1m/s از سرعت باد). به خوبی می دانیم که بازدهی الکتریکی خورشیدی سلول های PV با افزایش دمای کارکرد کاهش می یابد. افزایش دمای سلول های PV تا ۱ کلوین منجر به کاهش حدود ۰,۴ تا ۰,۵٪ بازدهی الکتریکی برای سلول های مبتنی بر سیلیکون بلورین و کاهش حدود ۰,۲۵٪ برای سلول های سیلیکون غیر بلوری می شود (Guo و همکاران، ۲۰۲۰).

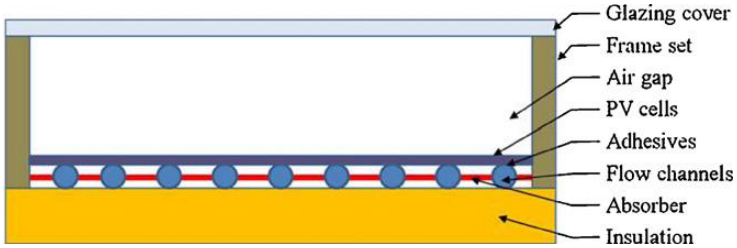
برای افزایش بازدهی الکتریکی PVها و استفاده خوب از پرتوهای ساقط خورشید، مطلوب ترین حالت این است که گرمای انباشته شده روی سطح پنهان PV را برداشته و از این بخش گرما به خوبی استفاده کنیم. PV/T فناوری است که برای این منظور توسعه یافته است که سلول های PV و مولفه های استخراج گرما را باهم ترکیب می کند و یک ماژول تشکیل می دهد. این امر امکان خنک کردن سلول های PV را فراهم می کند که منجر به افزایش کارایی الکتریکی PV می شود و در عین حال همزمان از گرمای استخراج شده برای گرم کردن استفاده می شود. با انجام این کار، جمع کننده خورشیدی PV/T می تواند به افزایش کارایی خورشیدی کلی دست یابد و در نتیجه راه بهتری برای استفاده از انرژی خورشیدی فراهم کند. PV/T که PV ها را با ماژول حرارتی خورشیدی ادغام می کند، مسیر جدیدی برای تولید برق و گرمای تجدید پذیر نشان می دهد. شکل ۱ بیانگر رابطه بین فناوری های مختلف تبدیل انرژی خورشیدی است (Guarracino و همکاران، ۲۰۱۸).

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۱. شبکه فناوری های مختلف تبدیل انرژی خورشیدی

یک مدل رایج PV/T ساختاری ساندویچی (فشرده) است که از چندین لایه تشکیل می شود که از بالا به پایین عبارتند از: یک پوشش صفحه تخت عاری از حرارت به عنوان لایه بالایی، لایه ای از سلول های فتوولتائیک یا یک ورق PV تجاری که با فاصله ای کوچک از هوا زیر پوشش قرار داده شده است؛ لاستیکها یا کانالهای جاری در میان جذب کننده که نزدیک به لایه سلول PV چسبیده اند؛ یک لایه هایق بندی شده حرارتی که درست زیر کانالهای جریان قرار دارد. همه لایه ها با استفاده از گیره ها و اتصالات مناسب در یک ماژول دارای چارچوب ثابت شده اند. شکل ۲ شماتیکی از ساختار یک ماژول PV/T را نشان می دهد (Greppi و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۲. برش عرضی متمرکز از یک ماژول PV/T معمول

مفهوم عمومی PV/T ابتدا توسط کرن و راسل در سال ۱۹۷۸ مطرح شد. برای یک ماژول PV/T، پرتو های خورشیدی با طول موج ۰٫۶ تا ۰٫۷ میکرومتر به وسیله سلول های PV جذب می شود و تبدیل به برق می شوند، در حالیکه بیشتر پرتوهای باقی مانده به انرژی گرمایی تبدیل می شوند. ماژول PV/T می تواند انرژی خورشیدی را در درجه های مختلف (طول موجهای مختلف) جمع کند و در نتیجه منجر به افزایش کارایی انرژی و اکسرژی می شود. طبق مطالعه زانداگ و دیگران، و ژائو و دیگران ماژول PV/T می تواند درصد بیشتری از انرژی خورشیدی جمع آوری کنند، بیشتر از درصدی که پانل PV یا جمع کننده حرارتی به تنهایی در همان منطقه جذب تبدیل می کنند، و بنابراین پتانسیلی برای ایجاد راه حلی کم هزینه و کارآمد و موثر برای تولید گرما و انرژی فراهم می کند.

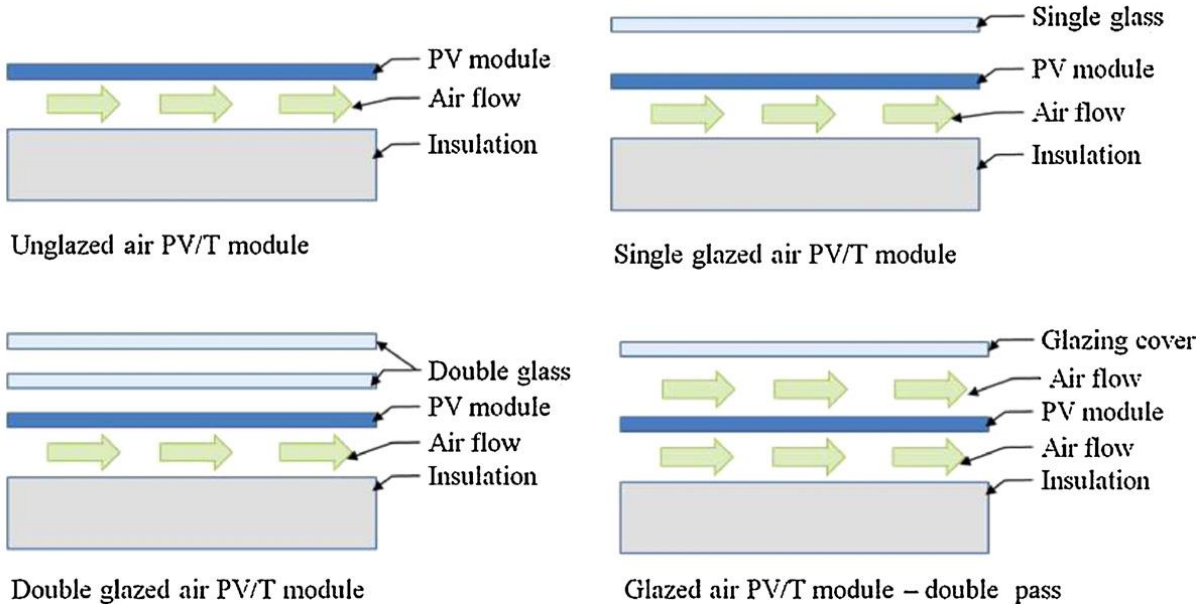
فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

طبقه بندی PV/T

PV/T ممکن است از لحاظ ساختار و عملکرد بسیار متفاوت باشند. از نظر خنک کننده مورد استفاده ماژولها را می توان به انواع مبتنی بر هوا، آب، خنک کننده و سیال لوله گرما طبقه بندی کرد. از نظر ساختار فیزیکی به کار رفته ماژولها را می توان به انواع صفحه مسطح، فشرده و ساختمان یکپارچه تقسیم کرد. در این بخش، طبقه بندی مبتنی بر خنک کننده اتخاذ می شود و به ترتیب زیر نشان داده می شود:

۱. PV/T مبتنی بر هوا

یک ماژول PV/T مبتنی بر هوا یک گرم کننده خورشیدی هوا است با یک لایه اضافی PV که بالا یا پایین کانالهای تهویه شده به صورت طبیعی یا مکانیکی قرار داده شده است. این نوع PV/T را می توان با وارد کردن شکافی از هوا بین سطح پشتی PV و بافت ساختمان (نمای خارجی یا سقف شیب دار) شکل داد. معمولا این نوع ماژول PV/T برای کاربران نهایی طراحی می شود که نیاز به هوای داغ، گرم کردن فضا، خشک کردن کشاورزی / گیاهی یا افزایش تهویه و همچنین تولید برق دارند.



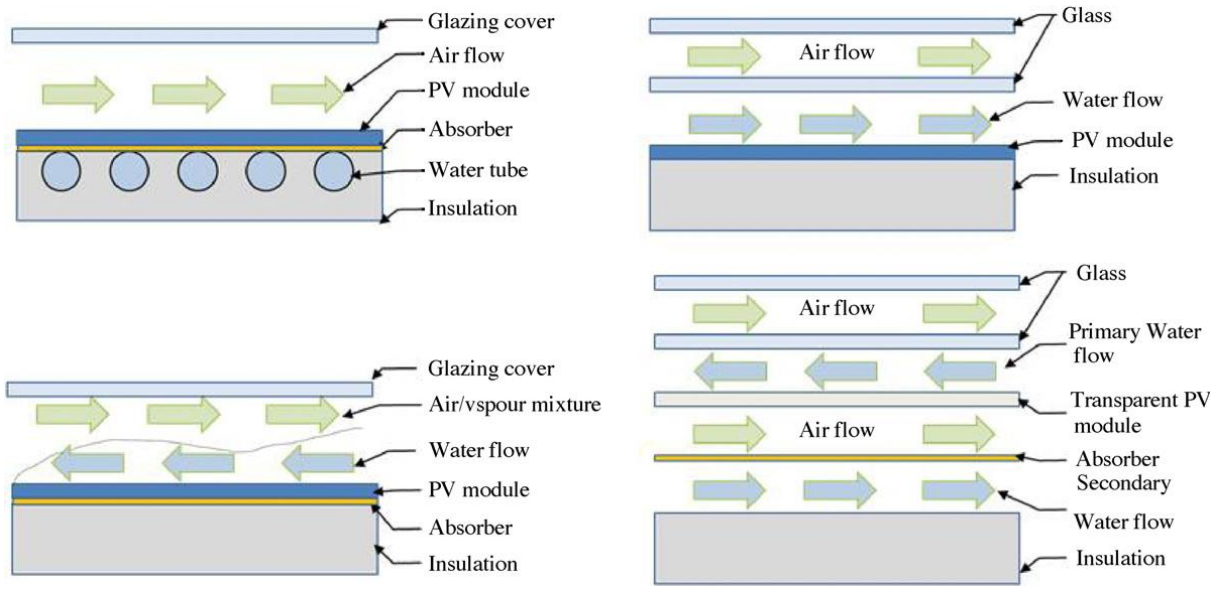
شکل ۵. برش عرضی از PV/T مبتنی بر هوا: بالا سمت چپ: ماژول PV/T هوایی بدون شیشه : لایه ها به ترتیب از بالا: ماژول PV، جریان هوا، عایق. بالا سمت راست: ماژول PV/T هوایی با یک شیشه: لایه ها به ترتیب از بالا: شیشه، ماژول PV، جریان هوا، عایق. پایین سمت چپ: ماژول PV/T هوایی با دو شیشه: لایه ها به ترتیب از بالا: دو شیشه، ماژول PV، جریان هوا، عایق. پایین سمت راست: ماژول PV/T هوایی شیشه ای- عبور دوگانه. لایه ها به ترتیب از بالا: پوشش شیشه ای، جریان هوا، ماژول PV، جریان هوا، عایق (George و همکاران، ۲۰۱۹).

۲. PV/T مبتنی بر آب

یک ماژول PV/T مبتنی بر آب، ساختاری مشابه جمع کننده های مرسوم مسطح خورشیدی دارد. جذب کننده با تعداد زیادی سلول PV به دست می آید که به صورت سری یا مواززی به هم متصل شده اند و با یک سیم پیچ یا لاستیک های موازی در زیر ثابت شده اند. آب در تیوبها جاری می شود و اگر دمای آب پایین بماند، سلول های PV خنک می شوند و در نتیجه منجر به افزایش بازدهی الکتریکی می شود. در همین حال آب در حال عبور با جذب گرمای PV گرم می شود و برای ایجاد گرما به دستگاههای خاص گرمایشی داده می شود. این بخش از آب ممکن است مصرف شود یا اینکه در خدمات گرمایشی سرد شده و برای گرم شدن دوباره به ماژول برگردد. سیستم های مبتنی بر آب در مقایسه با سیستم های مبتنی بر هوا می توانند به تاثیر سرمایشی بالاتری برسند و این به خاطر جرم حرارتی بالاتر آب نسبت به هوا می باشد و بنابراین هم بازدهی گرمایی و هم بازدهی

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

برقی این سیستمها بالاتر می باشد. زونداگ و دیگران چندین الگو برای جریان آب در PV/T مطرح کردند از جمله ورقه و تیوب، کانال، جریان آزاد و دو نوع جذب کننده مطرح کردند که همه در شکل ۶ به صورت شماتیک نشان داده شده است (Fudholi و همکاران، ۲۰۱۹).

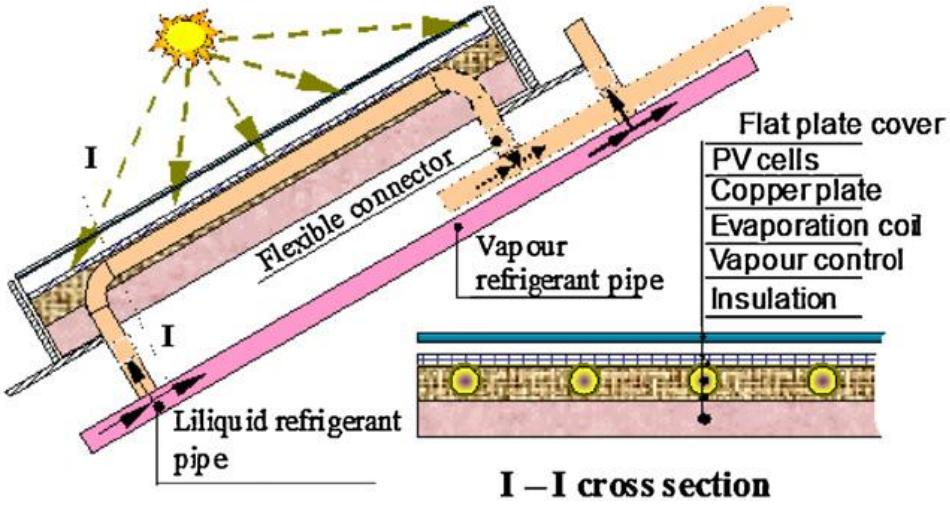


شکل ۴. انواع جمع کننده های PV/T آبی. بالا سمت چپ: لایه ها به ترتیب از بالا: پوشش شیشه ای، جریان هوایی، ماژول PV/T، لوله آب، عایق. بالا سمت راست: لایه ها به ترتیب از بالا: شیشه، جریان هوا، جریان آب، ماژول PV، عایق. پایین سمت چپ: لایه ها به ترتیب از بالا: پوشش شیشه ای، مخلوط هوا و بخار، جریان آب، ماژول PV، جذب کننده، عایق. پایین سمت راست: لایه ها به ترتیب از بالا: شیشه، جریان اولیه آب، ماژول PV شفاف، جذب کننده ثانویه، جریان آب، عایق

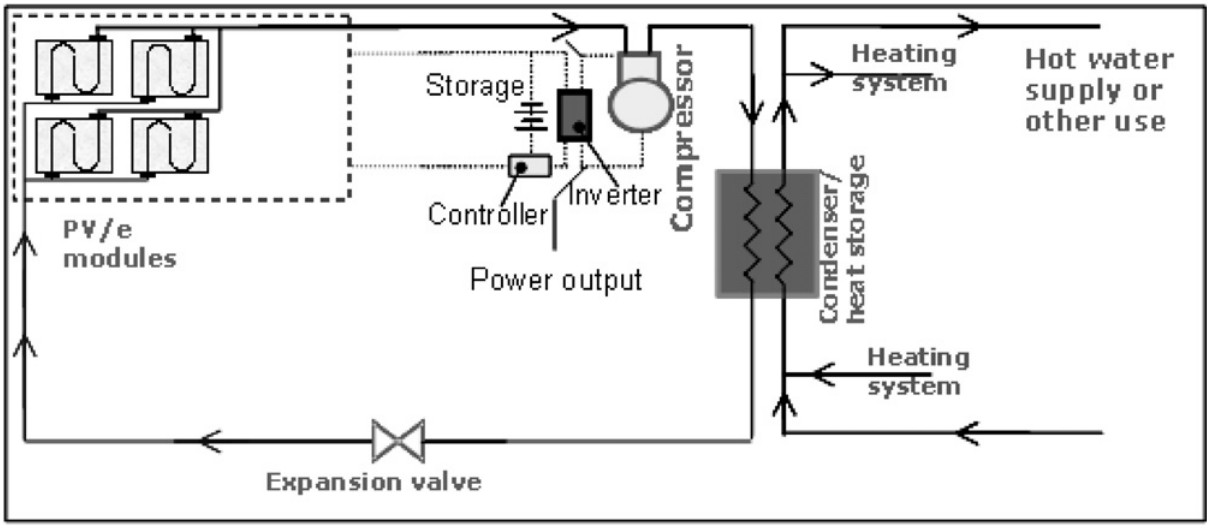
۳. PV/T مبتنی بر خنک کننده

در سال های اخیر سیستم های پمپی گرمایی PV/T مبتنی بر خنک کننده مورد مطالعه قرار گرفته اند. اولین بار کرن و راسل مجموعه جمع کننده های PV/T ساده ای را ارائه نمودند که به سیستم های پمپی گرمایی متصل بودند، و صرفه جویی در انرژی آنها و مزایای اقتصادیشان را مطالعه کردند. در مطالعات اخیر مفهومی جدید از ماژول PV/T برای کاربرد پمپ گرمایی پیشنهاد شده است. در این ماژول سیم پیچهای تبخیر انبساطی مستقیم زیر PV قرار می گیرند که اجازه می دهد خنک کننده در عبور از ماژولها بخار شود. در این روش، سیم پیچها به عنوان بخش تبخیر پمپ گرمایی عمل می کند که امکان تبخیر خنک کننده را در دمایی بسیار پایین مثلا ۰ تا ۲۰ درجه سانتیگراد فراهم می کند. در نتیجه سلول های PV هم تا دمای مشابه سرد می شوند که منجر به افزایش قابل توجه بازدهی الکتریکی و گرمایی پانل می شود. کمپرسور درون پمپ گرمایی فشار بخار تولید شده از پانلها را افزایش می دهد و آن را به خازن می دهد تا گرما فراهم کند. در عمل کمپرسور به وسیله برق تولید شده از PV راه اندازی می شود و در نتیجه یک پمپ حرارتی خورشیدی بدون وابستگی به انرژی سوخت های فسیلی ایجاد می کند (Fineو همکاران، ۲۰۱۹). شکل ۴ یک برش عرضی از یک پانل سقفی تبخیر کننده شیشه ای PV را نشان می دهد، و شکل ۵ شماتیکی است از سیستم پمپ حرارتی مبتنی بر PV/T.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۵. برش عرضی پانل سقفی تبخیر کننده PV

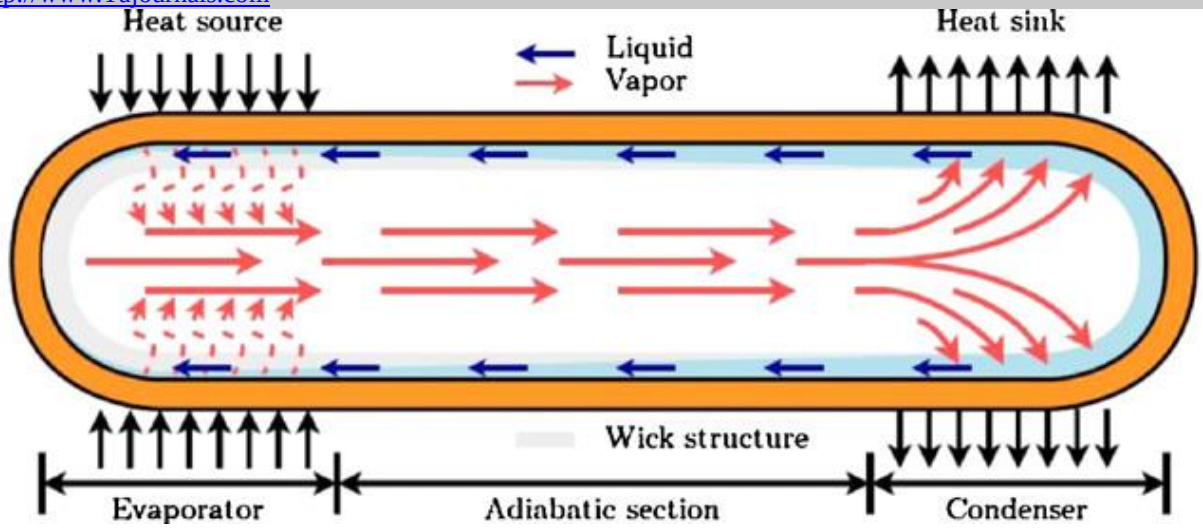


شکل ۵. شماتیک پمپ حرارتی بر مبنای ماژول سقفی PV و سیستم تولید خرد

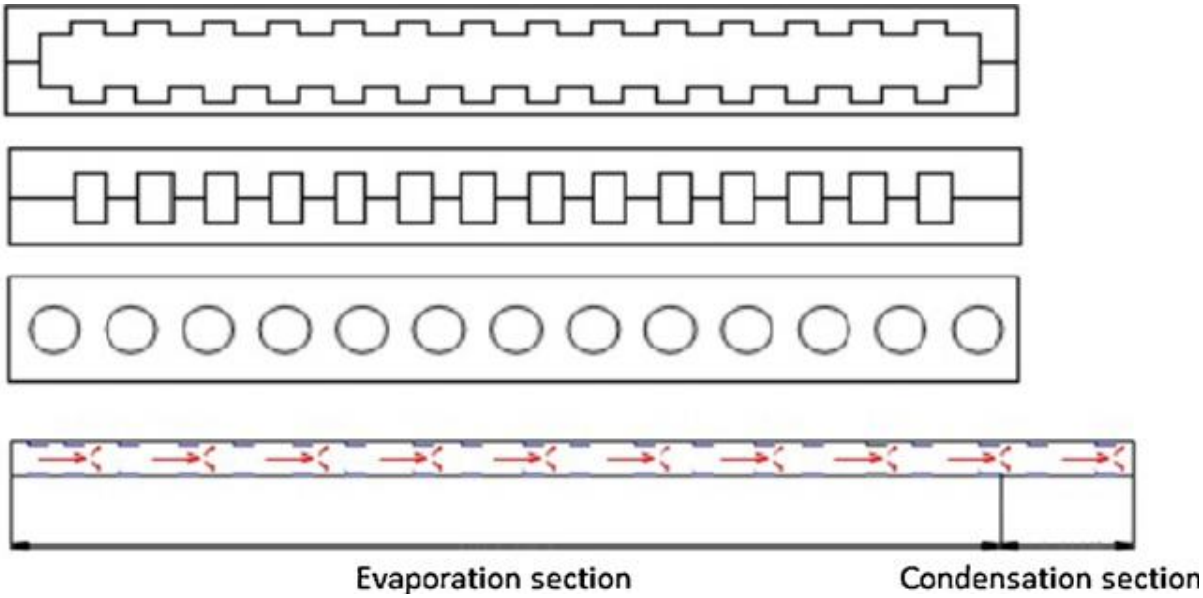
۴. PV/T مبتنی بر لوله حرارتی

لوله های حرارتی مکانیزم های انتقال حرارت کارامدی تلقی می شوند که اصول رسانایی گرمایی و انتقال فاز را باهم ترکیب می کنند. یک لوله حرارتی معمول، چنانچه در شکل ۶ نشان داده شده، از سه بخش تشکیل شده است، که عبارتند از بخش تبخیر (تبخیر کننده)، بخش بی دررو (عایق گرما)، و بخش چگالنده. این لوله راه حلی ایده آل برای حذف و انتقال گرما ارائه می دهد.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۶. شماتیکی از لوله های حرارتی مرسوم



شکل ۷. شماتیک سه نوع لوله حرارتی مسطح با آرایش میکرو کانال

ترکیب PV با لوله حرارتی اخیراً مورد مطالعه قرار گرفته است. ژائو و دیگران آرایش لوله های حرارتی صفحه تخت PV را برای تولید همزمان برق و آب/هوای داغ پیشنهاد کردند. این نمونه آزمایشی از ماژول از یک لایه فوتوولتائیک و یک لوله گرمایی صفحه تخت که شامل تعداد بیشماری کانال ریزبه عنوان بخش تبخیر لوله های حرارتی می باشد تشکیل شده است. انتهای دیگر لوله حرارتی بخش چگال کننده است که گرما را به سیال در حال عبور آزاد می کند و سیال به خاطر تخلیه گرما چگال می شود. او مدعی شد که هندسه صفحه مسطح به علت تماس حرارتی عالی بین سلول های PV و دستگاههای استخراج گرما کارآمدتر است که منجر به مقاومت گرمایی کمتر و بازدهی خورشیدی کلی بالاتر می شود. در این روش اگر دما بین ۴۰ تا ۵۰ درجه حفظ شود بازدهی PV می تواند ۱۵ تا ۳۰٪ نسبت به PV تنها بالاتر رود. بازدهی کلی تبدیل انرژی خورشیدی ماژول حدود ۴۰٪ بود. شکل ۱۰ و ۱۱ سه نوع لوله حرارتی PV را که به عنوان واحدهای تولید همزمان برق و حرارت عمل می کنند به صورت شماتیک نشان می دهند (Evangelisti و همکاران، ۲۰۱۹).

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

مقایسه عمومی انواع PV/ T که در حال حاضر در دسترس هستند

در جدول ۱ مقایسه ای عمومی از چهار نوع PV/T که اکنون در دسترس می باشد از لحاظ ویژگی هایی فنی آنها نشان داده شده است. بازدهی کلی ماژول ها برای انواع مختلف PV/T بر اساس شرایط مشابه آب و هوایی/ خورشیدی خارجی (یعنی شرایط آب و هوایی معمولی در روز ۲۲ دسامبر در منطقه شرق میانه بریتانیا) و شرایط عملیاتی مشابه (۰,۰۱ کیلوگرم بر متر مربع از سرعت جریان جرم، ۱۰ درصد بازدهی اولیه PV) محاسبه شد. مدل های محاسباتی استفاده شده عبارتند از : ۱) مدل شبیه ساز داخلی (IS) برای PV/T مبتنی بر هوا؛ ۲) مدل سیستم PV/T ترکیبی (IPVTS) برای PV/T مبتنی بر آب؛ ۳) مدل پمپ حرارتی کمکی خورشیدی (PV-SAHP) برای PV/T مبتنی بر خنک کننده و ۴) مدل لوله حرارتی صفحه مسطح برای PV/T مبتنی بر لوله حرارتی. به نظر می رسد که PV/T های مبتنی بر آب و هوا بدون خطر و کم هزینه تر هستند و در نتجه سیستم های کارامدتری برای کاربرد می باشند. مزیت PV/T مبتنی بر خنک کننده این است که با دمای یکنواخت و پایین کار می کند که بازدهی تبدیل انرژی خورشیدی سیستم را بالا می برد؛ در حالی که PV/T مبتنی بر لوله حرارتی فورا گرما را از سلول های PV استخراج می کند و اگر دمای کاری سیال لوله حرارتی را بتوان به طور مناسب کنترل کرد، بازدهی تبدیل انرژی خورشیدی تا حد چشمگیری قابل افزایش است. با این حال این چهار سیستم معایب خود را دارند که در جدول ۱ بیان شده اند. به طور خلاصه نوع هوایی به خاطر جرم حرارتی پایین و جریان هوا با نظم کمتر عملکرد حذف گرمای ضعیفی دارد، نوع آبی به خاطر تغییر در دمای آب در طول زمان عملیات بازدهی خورشیدی پایینتری دارد و در دمای بالای عملیات تاثیر گذاری حذف گرما بسیار ضعیف می شود. کنترل عملیات نوع سرد کننده دشوار است چرا که اعمال فشار و فشار زدایی در بخشهای مختلف سیستم مورد نیاز است، و خطر نشت و توزیع نا متعادل خنک کننده طی فرایند بالا باقی می ماند، و در نهایت نوع لوله حرارتی همچنان مسئله هزینه را دارد که کاربرد گسترده آن را در پروژه های عملی تحت تاثیر قرار می دهد (Hage و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۱. ویژگی های مقایسه روش های مختلف استخراج گرما

مدلهای PV/T	میانگین بازدهی	مزایا	معایب
مدل IS برای نوع PV/T مبتنی بر هوا	۲۴ تا ۴۷	هزینه پایین ساختار ساده	جرم حرارتی پایین حجم زیاد هوا تاثیر ضعیف حذف گرما اتلاف زیاد گرما
مدل IPVTS برای نوع PV/T مبتنی بر آب	۳۳ تا ۵۹	هزینه پایین توزیع مستقیم جرم حرارتی بالا حجم جریان پایین	دمای PV همچنان بالا تاثیر بی ثبات حذف حرارت ساختار پیچیده امکان یخ زدن لوله
مدل PV-SAHP برای نوع PV/T مبتنی بر خنک کننده	۵۶ تا ۷۴	دمای پایین PV عملکرد با ثبات بازدهی بالا حذف گرمای موثر	خطر نشتی توزیع نامتعادل مایع هزینه بالا کاربرد دشوار
مدل PV/FPHP برای نوع PV/T مبتنی بر لوله حرارتی	۴۲ تا ۶۸	دمای پایین PV عملکرد ثابت بازدهی خورشیدی بالا حذف موثر گرما کاهش نیروی برق ورودی	هزینه بالا خطر آسیب دیدگی ساختار پیچیده

استانداردهای ارزیابی عملکرد

در حال حاضر چندین استاندارد ملی منطقه ای برای ارزیابی ابزارهایی که از PV خورشیدی یا حرارتی خورشیدی به تنهایی استفاده می کنند وجود دارد. برای حرارت خورشیدی استانداردهای موجود عبارتند از EN12975، EN12976، EN12977، کی مارک خورشیدی، ISO 9806، MCS 004، و دیگر زمینه های خورشیدی ملی. به طور خلاصه عملکرد فنی PV/T معمولا با استفاده از پارامترهایی ارزیابی می شود که عبارتند از بازدهی کلی انرژی، بازدهی کلی اکسرژی، بازدهی ذخیره انرژی اولیه، و شکست خورشیدی. عملکرد اقتصادی سیستم های PV/T با هزینه چرخه زندگی LCC و زمان بازگشت هزینه CPT سنجیده می شود و مزیت زیست محیطی سیستم با استفاده از زمان بازگشت انرژی EPBT و زمان بازگشت گازهای گلخانه ای GPBT توجیه می شود. این پارامترها در ادامه به طور خلاصه بررسی می شوند:

۱. پارامترهای اریابی فنی

۲. بازدهی کلی انرژی.

بازدهی کلی انرژی نسبت انرژی گرمایی و الکتریکی جمع آوری شده به اشعه های تابشی خورشید است که به جذب کننده PV/T برخورد می کند. این پارامتر از قانون اول ترمودینامیک بدست می آید و نشان دهنده درصد انرژی تبدیل شده از تابش خورشید می باشد. در ماژول PV/T بازدهی الکتریکی بسیار کمتر از بازدهی گرمایی است و بنابراین بازدهی انرژی کلی تا حد زیادی به تبدیل انرژی گرمایی سیستم بستگی دارد. باید توجه کرد که بازدهی انرژی کلی اختلاف بین انرژی گرمایی و الکتریکی را از لحاظ مرتبه انرژی (کیفیت) نادیده می گیرد و بنابراین برای توجیه کامل عملکرد انرژی سیستم های PV/T ناکارامد است (Dimri و همکاران، ۲۰۱۷).

سنجش های اقتصادی و زیست محیطی سیستم های PV/T

از لحاظ سنجش های اقتصادی PV/T تریپاناگنستوپولوس و دیگران روش ارزیابی چرخه زندگی را پیشنهاد کردند که مقدار سرمایه تاسیسات سیستم و هزینه های نگهداری و کارکرد در چرخه زندگی سیستم را در نظر می گیرد. مقوله های مربوط به زمان مانند تورم، مالیات، و یا نرخهای تخفیف شرکت نیز باید مد نظر قرار گیرند. یک روش ساده شده برای ارزیابی ارزش اقتصادی PV/T استفاده از زمان بازگشت هزینه (CPBT در سال) است که آیتم های مربوط به زمان و هزینه نگهداری را نادیده می گیرد پس روشی غیر دقیق می باشد.

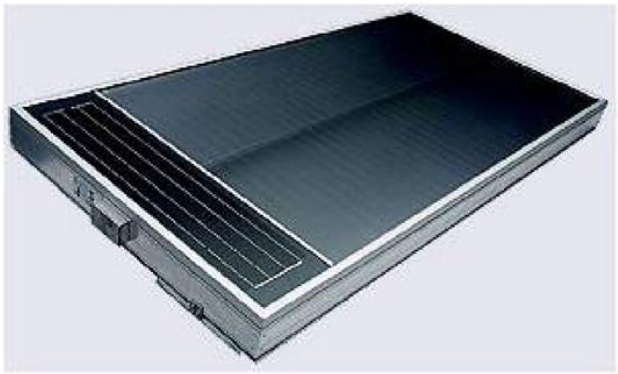
برای مقیاس های زیست محیطی زمان بازگشت انرژی EPBT و زمان بازگشت گازهای گلخانه ای GPBT را می توان به کار برد. EPBT نسبت انرژی تضمین شده برای PV/T و خروجی سالیانه انرژی آن است. انرژی تضمین شده به کمیت انرژی مورد نیاز برای تولید PV/T در فاز تولیدی آن اشاره دارد (Del Col و همکاران، ۲۰۱۴).

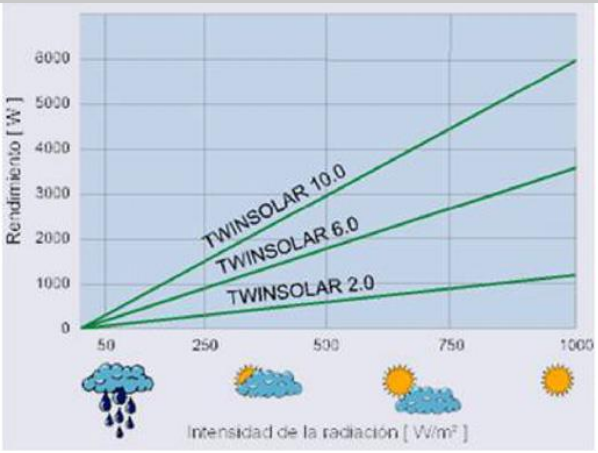
کاربرد عملی فناوری های PV/T

اگرچه فناوری PV/T در مراحل اولیه خود به سر می برد، برخی محصولات تجاری یا پروژه های مهندسی مربوط به کاربرد PV/T را می توان یافت که در عملیات هستند. شماری از کارهای عملی PV/T به ترتیب زیر مطرح می شوند:

GmbH خورشیدی گرامر در آلمان یک جمع کننده PV/T خورشیدی مبتنی بر هوا به نام تواین سولار توسعه داده که برای پیش گرم کردن هوای تهویه در ساختمان ها طراحی شده و دارای مساحت جذب کننده بین ۱,۳ تا ۱۲,۵ متر مربع می باشد. ماژولها را می توان به صورت عمودی یا افقی بر روی سقف، یا نماهای جنوبی، جنوب شرقی، یا جنوب غربی بر هم سوار کرد. مشاهده می شود که در حداکثر اشعه خورشیدی$W/m2$ ۷۰۰ دمای هوا تا ۴۰ درجه افزایش یافت و تقریبا ۷۰٪ انرژی تابشی خورشید به انرژی گرمایی تبدیل می شود و به درون ساختمان منتقل می شود چنانچه در شکل ۸ دیده می شود.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

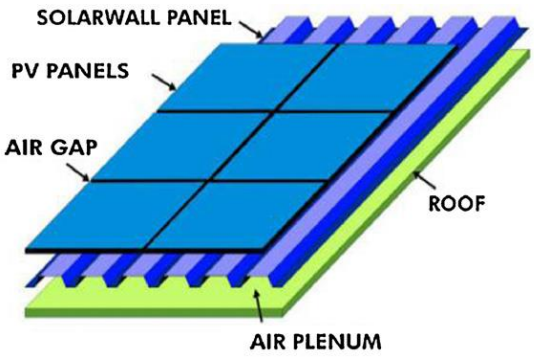




شکل ۸. کارکرد TWINSOLAR و منحنی عملکرد آن

در دانمارک واحدهای سولارونتی بیشتر برای فراهم کردن تهویه و گرمای تکمیلی و کمک به رطوبت زدایی از هوا استفاده می شود. مدل های سولارونتی با ظرفیت بزرگتر خروجی انرژی حرارتی قابل توجهی دارند و به خاطر تاثیر خاصیت شناوری میزان چشمگیری از هوا را می تواند براند. انرژی حرارتی از تابش خورشید در طیف مستقیما دریافت می شود و می تواند برای تکمیل سیستم گرمایشی در هر ساختمان مسکونی یا تجاری مورد استفاده قرار گیرد (Cui و همکاران، ۲۰۱۶).

موسسه مهندسی کانسروال محصولات سولاروال (دیواره خورشیدی) و سولارداکت (مجرای خورشیدی) که بر سقف قرار می گیرد را فراهم می کند. سولاروال یک سیستم اختصاصی گرم کننده هوا است که می تواند ساختمان را با استفاده از هوای تهویه گرم کند؛ و همچنین می تواند برای اهداف مختلف از جمله گرم کردن ساختمان ها و به راه انداختن فرایند خشک کردن کشاورزی و کارخانه ای بر دیوارها و سقفها نصب شود. سولاروال یک سیستم ترکیبی PV/T است که دوره بازگشت سرمایه بسیار کوتاهتری نسبت به سیستم PV دارد. این سیستم می تواند تا ۴۰۰٪ انرژی مفید بیشتری نسبت به یک سیستم PV صرف تولید کند. PV/T سولارداکت یک سیستم سقفی ماژولی با بازدهی کاری کلی بیش از ۵۰٪ است که در آن پانل های حرارتی خروجی حاصل از سیستم پره دار PV را دو برابر کرده است. شکل ۹ مجموعه محصولات موجود در این شرکت را نشان می دهد (Chow و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۹. محصولات PV/T هوایی خورشیدی شرکت مهندسی کانسروال

PVTWINS که ریشه هلندی دارد محصولات آب گرم کن PV/T را برای کار گذاشتن در دیوار طراحی کرد، چنانچه در شکل ۱۰ نشان داده است. جمع کننده های آبی PV/T را می توان در سیستم های خانگی جمعی و تکی آب گرم به کار برد. این نوع PV/T می تواند به دمایی تا ۹۰ درجه سانتی گراد برسد. حاصل الکتریکی ۱۲۵ Wp/m2 و حاصل گرمایی حدود ۱,۲ گیگا ژول بر متر مربع در سال محاسبه شد. این جمع کننده ها برای تعبیه در سقف های شیب دار یا مسطح با استفاده از روش اتصال رایج مناسب هستند.

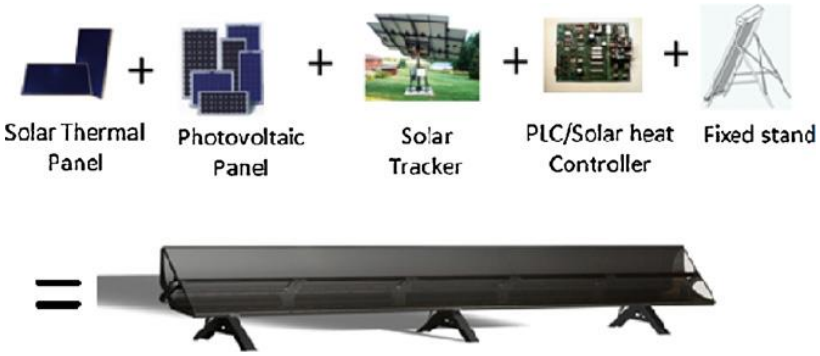
شکل ۱۰. جمع کننده مایع PV/T، PVTWIN از شرکت PVTWINS

شرکت الکترونیک هزاره که ریشه اسرائیلی دارد یک سیستم PV/T مولتی سولار طراحی کرده که تبدیل همزمان انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته و گرمایی را با استفاده از یک سیستم هایبرید تکی که در شکل ۱۱ نشان داده شده امکان پذیر می کند. سیستم مولتی سولار از پانل های کاشی مانند سقفی نمایی تشکیل شده که مانند یک پوسته زنده اطراف ساختمان عمل می کند که جریان آب را برای خنک کردن سلول های PV امکان پذیر می کند، گرما را جذب می کند و در مخزن عایق بندی شده ذخیره می کند، و بدین ترتیب کنترل گرمای محیط زندگی را امکان پذیر می کند. این سیستم می تواند ۳۰٪ بازدهی بالاتر PV در تولید برق برای استفاده مسکونی فراهم کند (Chen و همکاران، ۲۰۱۹).

شکل ۱۱. سیستم PV/T مولتی سولار از الکترونیک هزاره

برای متمرکز کننده های PV/T سه سازنده مهم در جهان وجود دارد که عبارتند از ابسولیکون در سوئد، منووا انرژی در کانادا، و هلیوداینامیکس در بریتانیا. ابسولیکون یک سیستم برق و گرمای تجاری X10 PV/T که در شکل ۱۲ می بینید تولید کرد. این سیستم از منعکس کننده سیلندری سهمی گون تشکیل شده که ده برابر نور خورشید را بر دریافت کننده متمرکز می کند. سیستم همچنین مجهز به آخرین نسل از فناوری فوتو ولتائیک و یک سیستم پیگیری نور خورشید که از محرکهای خطی با کیفیت بالا و طراحی خاص استفاده می کند، می باشد. هدف چرخاندن متمرکز کننده X10 است طوری که نور خورشید همواره

روی سلول ها متمرکز شود. سیستم پیگیری یک برنامه داخلی دارد که می تواند به طور خودکار سلول های فوتوولتائیک را در برابر داغی بیش از حد و طوفان محافظت کند. اگر دما از مقدار خاصی فراتر رود، X10 به طور خودکار دریافت کننده را از مقابل نور خورشید دور می کند (Chaysaz و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱۲. سیستم X10 PV/T از شرکت ابسولیکون

منوا انرژی متمرکز کننده PV/T پاور-اسپار برای کاربرد خانگی تامین می کند، چنانچه در شکل ۱۳ نشان داده شده. مدل پاور اسپار با مهندسی خاص می تواند عملکرد بالاتری داشته باشد حتی وقتی در معرض دمای بسیار پایین در زمستان قرار گیرد (Carvalho و همکاران، ۲۰۱۹).

شکل ۱۳. پاور اسپار از شرکت منوا انرژی

هلیودایناميکس یک متمرکز کننده PV/T ماژولی و پیگیر به نام هارمونی HD 211 که در شکل ۱۴ می باشد تهیه می کند. این سیستم برای نصب بر روی سقف های مسطح یا شیبدار و یا نصب قطبی بر مناطق پارکینگ در عرض میانی (۲۰ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی) طراحی شده. PV تهویه شده با بازیاب گرما یک نوع سیستم جمع کننده هوایی PV/T است که به تازگی ابداع شده است. این سیستم برای ارائه راه حلهایی برای تهویه سلول های PV/T به منظور حداکثر نمودن محصول الکتریکی و استفاده از گرمای PV برای پیش گرم کردن هوا تهویه طراحی شده است. محصولات استاندارد برای این منظور در سکو سیستمی که یک سازنده ایتالیایی PV است مطابق شکل ۱۵ تولید شده است. این نوع سیستم در پروژه های مختلف مهندسی از جمله مرکز تحقیقاتی فیات، ایماجینا استودیو در بارسلونا و مرکز آموزش حرفه ای در کاسارگو به کار رفته است (Calise وهمکاران، ۲۰۱۹).

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۸۸-۷۰
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

شکل ۱۴. هارمون HD 211 از شرکت هلیودایناميکس

شکل ۱۵. PV تهویه شده با بازیابی گرما فرم TIS سکو سیستمی

تحلیل های زیست محیطی و اقتصادی

برخی کارهای تحقیقاتی بر تحلیل زیست محیطی و اقتصادی فناوری PV/T با مقایسه عملکرد آن در برابر عملکرد فناوری های مورد استفاده در سیستم های حرارتی خورشیدی و PV به طور جداگانه متمرکز شوند. از لحاظ مقوله های اقتصادی زمان بازگشت ساده و هزینه چرخه زندگی مورد بحث قرار گرفتند با در نظر گرفتن صرفه جویی در انرژی اولیه سوختهای فسیلی و افزایش در هزینه سرمایه و هزینه نگهداری مورد نیاز در طی عملیات سیستم. از لحاظ مقوله های زیست محیطی، بازدهی های انرژی و اکسرژی سیستم، زمان بازگشت انرژی و زمان بازگشت گازهای گلخانه ای محاسبه شد و به عنوان شاخصهایی برای توجیه مزایای سیستم از نظر ظرفیت کاهش انتشار کربن مورد استفاده قرار گرفت (Burhan وهمکاران، ۲۰۱۷).

کارهای مرتبط با تحلیل های اقتصادی و زیست محیطی موارد زیر را پوشش می دهند: ۱) پتانسیل PV/T در صرفه جویی در انرژی، افزایش هزینه آن، زمان بازگشت برآورد شده، و صرفه جویی در هزینه چرخه زندگی، ۲) زمان بازگشت انرژی PV/T و زمان بازگشت گازهای گلخانه ای و ارتباط آنها به بازدهی انرژی و اکسرژی سیستم، و ۳) مقایسه میان ترکیب بندی های مختلف PV/T، PV به تنهایی، حرارت خورشیدی به تنهایی، و ترتیبات حرارتی خورشیدی و PV که جداگانه قرار گرفته اند.کارهای تحلیلی زیست محیطی و اقتصادی که تا بحال انجام شده برای نشان دادن عملکرد فناوری PV/T از لحاظ مزیتهای کربنی و اقتصادی کافی هستند. کارهای بیشتر می تواند با در نظر گرفتن تاثیر شرایط آب و هوایی بر عملکرد سیستم برای تحلیل عملکرد سیستم در دراز مدت (فصل یا سال) نیز گسترش یابد (Ceylan و همکاران، ۲۰۱۶).

نمایش فناوری PV/T و مطالعه امکان پذیری مربوطه

اگرچه فناوری PV/T در پروژه های عملی زیادی مورد استفاده قرار گرفته، گزارش های بسیار کمی پیدا شده که بر ارزیابی عملکرد فناوری PV/T در دراز مدت تحت شرایط آب و هوایی واقعی متمرکز باشند و در نتیجه عملیاتی بودن سیستم به کار رفته

در پروژه های عملی به عنوان مقیاس دراز مدت هنوز به طور کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است. این موضوع می تواند مبحث مطالعات در آینده نزدیک در ارتباط با توسعه فناوری PV/T باشد (Chaysaz و همکاران، ۲۰۱۹).

تحقیقاتی که تاکنون در زمنیه این فناوری انجام شده بسیار اساسی بوده و بر موارد زیر تمرکز دارند: آشکارسازی ماهیت انتقال و تبدیل انرژی در PV/T و سیستم مبتنی بر آنها. ۲) تعیین نوع مساعد سیستم، ۳) بهینه سازی پارامترهای هندسی و ساختاری سیستم و پیشنهاد شرایط مناسب عملیاتی؛ ۴) برقراری ارتباط بین تحلیل های نظری و کاربرد عملی، و ۵) تحلیل مزایای زیست محیطی و اقتصادی سیستم های PV/T و مطالعه امکان پذیری آنها برای کاربرد در دراز مدت. همه این تلاشها در جهت یک هدف می باشند: ایجاد یک سیستم PV/T تا حد امکان کارآمد با هزینه تا حد امکان پایین و با ساده ترین ساختار.

فرصت هایی برای مطالعات آینده

اگرچه کارهای قابل توجهی در این زمینه انجام شده، هنوز هم فرصتهای آشکاری برای توسعه بیشتر این فناوری وجود دارد که در ادامه مطرح می شوند:

۱. توسعه انواع جدید سیستم های عملی اقتصادی و با بازدهی بالا

انواع سیستم هایی که قبلا ذکر شد دارای معایب مخصوص به خودشان می باشند که از بکارگیری گسترده این سیستمها در عمل جلوگیری می کند. فرصت توسعه انواع جدید سیستم برای جایگزینی سیستم های موجود هنوز وجود دارد، و اخیرا یک روش جدید برای برداشتن گرما و استفاده از این بخش از حرارت پیشنهاد شده است. در این مطالعه محلول PCM معلق به عنوان یک حمل کننده/ تبدیل کننده پنهان وارد سیستم PV/T می شود تا حرارت PV را برداشته و بشود با به کار انداختن ترکیبی از PV/T، یک پمپ حرارتی، یک مخزن حرارتی و یک مبادله گر حرارت محلول به هوا از این بخش از گرما برای گرم کردن فضا، تامین آب گرم، و تهویه ساختمان ها استفاده کرد. این کار روشی جدید برای توسعه یک سیستم PV/T عملیاتی تر، اقتصادی تر و کارآمدتر پیش رو قرار می دهد؛ با این حال مزیت های مطرح شده از این سیستم به مطالعات نظری و آزمایشگاهی عمیقتری نیاز دارد. به جز این انواع دیگر ترکیب بندی سیستم های PV/T نیز برای مطالعه پیش رو قرار دارند (Chong و همکاران، ۲۰۱۷).

۲. بهینه سازی پارامترهای هندسی و ساختمانی ترکیب بندی های موجود PV/T برای ارتقاء عملکرد انرژی

از چهار نوع سیستم PV/T موجود انواع مبتنی بر هوا و آب از لحاظ فنی و اقتصادی بسیار رشد یافته هستند و جای دیگری برای بهبود عملکرد آنها وجود ندارد. نوع مبتنی بر خنک کننده هنوز در مرحله تحقیق است و هنوز جا برای بهبود عملکرد آن از طریق مطالعه بهینه پارامترهای هندسی و ساختاری این نوع ماژول PV/T وجود دارد. مسئله کلیدی یافتن روشی برای غلبه بر دشواری های باقیمانده در نوع موجود PV/T مبتنی بر خنک کننده می باشد، مشکلاتی نظیر احتمال نشت ماده خنک کننده، توزیع نا متعادل خنک کننده و چالشهای موجود در حفظ شرایط اعمال فشار و فشار زدایی در بخش های مختلف سیستم. سیستم مبتنی بر لوله حرارتی نیز در مراحل ابتدایی قرار دارد و فضای زیادی برای توسعه ترکیبات بهینه سیستم وجود دارد. لوله های حراتی ارزان قیمت و انعطاف پذیر دارای مویینگی در داخل می تواند انتخاب خوبی برای جایگزینی لوله های حرارتی موجود باشد و پتانسیل کاهش هزینه های سیستم و انتقال عالی حرارت بین PV ها و سیال ثانویه داشته باشد. این کار در حال حاضر توسط محققان به عنوان بخشی از پروژه تحقیقاتی صنعتی در حال انجام است (Chong و همکاران، ۲۰۱۷).

۳. مطالعه عملکرد دینامیک سیستم های PV/T در دراز مدت و تحت شرایط واقعی آب و هوایی

عملکرد یکنواخت سیستم های مختلف PV/T از لحاظ نظری و آزمایشگاهی به عنوان نتیجه تحقیقات قبلی مطالعه شده و هیچ فضای آشکاری برای توسعه بیشتر کارهای تحقیقاتی در این زمینه دیده نمی شود. با این وجود عملکرد دینامیک سیستم های PV/T تحت شرایط واقعی آب و هوایی هنوز به طور کامل بررسی نشده است، بخصوص در دراز مدت (فصل یا سال). در این کار چالشهای خاصی باقی می ماند از جمله چندین عامل نا مطمئن مانند تاثیر تغییرات بدون قاعده تابش اشعه های خورشید، دمای

محیط و سرعت باد بر عملکرد سیستم، که غیر قابل پیش بینی هستند. مطالعات ترکیبی نظری و آزمایشگاهی می تواند راه حلهایی برای این مشکلات بیابد (Chong و همکاران، ۲۰۱۷).

۴. نمایش کارکرد سیستم در ساختمان های واقعی

می دانیم که فناوری PV/T در پروژه های عملی زیادی استفاده شده است. اما با این وجود، گزارشات کمی وجود دارد که در مورد ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط واقعی آب و هوایی مطالعه کرده باشد. تحقیقاتی از این زاویه می تواند انجام شود تا سیستم های PV/T را در ساختمان های واقعی نصب، و نظارت کند. این کار می تواند ارزیابی عملکرد واقعی سیستم را از جمله واقعی بودن و پتانسیل تجاری کردن آن را امکان پذیر کند. همچنین می توان عملیاتی بودن سیستم مورد استفاده در ساختمان های واقعی را بررسی کرد (Chong و همکاران، ۲۰۱۷).

نتیجه گیری

مروری بر کارهای تحقیق و توسعه و کاربرد عملی فناوری نوظهور PV/T انجام شده است. نتایج این کار به درک وضعیت کنونی توسعه فنی PV/T، تعیین دشواری های احتمالی، و موانعی که در این بخش باقی می مانند، توسعه موضوعات و ابعاد تحقیقاتی برای بهبود عملکرد PV/T، برقراری نقشه های راهبردی مربوط، استانداردها و دستورالعمل های مربوط به طراحی PV/T و نصب آن و بهبود بهره برداری بازاری آن در جهان کمک می کند.

PV/T فناوری است که مولفه های حرارتی خورشیدی و PV ها را در یک ماژول واحد ادغام می کند تا بازدهی تبدیل انرژی خورشیدی سیستم را افزایش دهد و از فضا استفاده مقرون به صرفه بکند. عملکرد دو گانه PV/T منجر به نرخ بالاتر تبدیل انرژی خورشیدی نسبت به جمع کننده های حرارتی خورشیدی و PV به صورت جداگانه می شود. PV/T از لحاظ معماری وفق پذیرند و پتانسیل توسعه در برد گسترده ای از محصولات تجاری استاندارد و از لحاظ ظاهری شکیل را دارند. انتظار می رود پتانسیل آن در بازار در مقایسه با سیستم های PV و حرارتی خورشیدی جدا جدا بالاتر باشد و دلیل آن مزیت های آشکار آن در سیستم های مستقل می باشد.

PV/T می توانند ساختارهای بسیار متفاوتی داشته باشند. از لحاظ خنک کننده های مورد استفاده، ترکیبهای PV/T که در حال حاضر در دسترس هستند را می توان به انواع مبتنی بر هوا، آب، خنک کننده، و لوله حرارتی تقسیم کرد. عملکرد فنی یک سیستم PV/T معمولا با استفاده از بازدهی های انرژی و اکسرژی ارزیابی می شود؛ در حالی که عملکرد اقتصادی آن با هزینه چرخه زندگی (LCC)، و زمان بازگشت هزینه (CPT) ارزیابی می شود و مزیتهای زیست محیطی به وسیله زمان بازگشت انرژی (EPBT) و زمان بازگشت گازهای گلخانه ای (GPBT) توجیه می شود. PV/T مبتنی بر هوا یکی از رایج ترین فناوری های PV/T می باشد و در واحدهای تجاری توسعه یافته و در فعالیتهای مهندسی زیادی بکار رفته اند. این نوع سیستم می تواند به حداکثر بازدهی الکتریکی حدود ۸٪ و حداکثر بازدهی حرارتی ۳۹٪ برسد، و عملکرد آن تا حد زیادی به سرعت جریان هوا و دمای هوا بستگی دارد. مشکل اصلی سیستم مبتنی بر هوا تاثیر ضعیف حذف گرما به خاطر چگالی پایین، ظرفیت خاص گرمایی، و رسانایی حرارتی هوا می باشد.

PV/T مبتنی بر آب نیز یک فناوری رایج است و کاربرد رو به رشدی در پروژه های عملی داشته است. این نوع سیستم می تواند به حداکثر بازدهی الکتریکی حدود ۹٫۵٪ و حداکثر بازدهی حرارتی حدود ۵۰٪ برسد و عملکرد آن تا حد زیادی به دمای آب و سرعت جریان، اندازه و شکل هندسی کانال جریان آب بستگی دارد. سیستم مبتنی بر آب در مقایسه با سیستم مبتنی بر هوا می تواند بازدهی الکتریکی PV ها را افزایش دهد و بهره برداری از انرژی حرارتی خورشیدی را بهتر کند. با این حال حوزه پیشرفت به خاطر دشواریهای فنی ذاتی از جمله افزایش دمای آب در حین عملیات و ساختار پیچیده سیستم محدود است.

PV/T مبتنی بر خنک کننده می تواند نرخ بهره برداری از خورشید را نسبت به سیستم های مبتنی بر هوا و آب تا حد زیادی بهبود بخشد و در نتیجه پتانسیل جایگزینی دو سیستم قبلی در آینده ای نزدیک را دارد. سیستم معمولا به همراه یک لوله حرارتی عمل می کند و عملکرد آن تا حد زیادی به نوع و ویژگی های فیزیکی / حرارتی خنک کننده استفاده شده، و پارامترهای ساختاری

و هندسی کانالهای جریان خنک کننده بستگی دارد. PV/T مبتنی بر خنک کننده می تواند به حداکثر بازدهی الکتریکی ۱۰٪ و بازدهی حرارتی ۶۵٪ برسد. این سیستم گامی به سوی فناوری خنک کننده BIPV فراهم می کند اما عملیاتی کردن آن با چالشهایی روبرو است از جمله احتمال نشت خنک کننده، توزیع نامتعادل خنک کننده در سیم پیچهای پانل، و دشواری در حفظ فشار در حین عملیات.

PV/T مبتنی بر لوله حرارتی نیز یک فناوری نسبتا جدید است و کارکرد آن اغلب به همراه یک لوله حرارتی یا یک چرخه حرارتی می باشد. یک سیستم PV/T مبتنی بر لوله حرارتی می تواند به حداکثر بازدهی الکتریکی ۱۰٪ و حداکثر بازدهی حرارتی ۵۸٪ برسد، و عملکرد آن تا حد زیادی به مواد و ساختمان و درجه خلاء لوله حرارتیف نوع سیال لوله حرارتی، دما و سرعت جریان سیال ثانویه بستگی دارد. این سیستم می تواند بر دشواریهای موجود در سیستم مبتنی بر خنک کننده غلبه کند و تبدیل به نسل بعدی فناوری برای برداشتن گرما از PV ها و بهره برداری موثر از این بخش از گرما بشود. با این حال این نوع سیستم نیز معایب خود را دارد که نیازمند تجزیه تحلیل بیشتر می باشد معایبی همچون هزینه بالای لوله های حرارتی ، و کنترل موثر عملکرد لوله حرارتی.

تحقیقات انجام شده در مورد فناوری PV/T بسیار اساسی بوده و تمرکز آنها بیشتر بر موارد زیر بوده است: ۱) آشکار کردن ماهیت اتقال و تبدیل انرژی در PV/T و سیستم مبتنی بر این ماژولها، ۲) تعیین نوع مساعد سیستم، ۳) بهینه سازی پارامترهای هندسی و ساختمانی ترکیب سیستم و ارائه شرایط مساعد کاری؛ ۴) ایجاد ارتباط بین تحلیل های نظری و کاربرد عملی؛ و ۵) تحلیل مزایای زیست محیطی و اقتصادی سیستم های PV/T و ارزیابی عملیاتی بودن آنها برای کاربرد در دراز مدت. هدف از همه این تلاشها ایجاد یک سیستم تا حد امکان کارآمد با کمترین هزینه ممکن و ساده ترین ساختار می باشد.

اگرچه کارهای قابل توجهی در مطالعات PV/T به انجام رسیده، هنوز هم فرصتهایی برای توسعه بیشتر این فناوری وجود دارد، از جمله ۱) توسعه سیستم های جدید عملیاتی و اقتصادی مانند PV/T مبتنی بر محلول PCM؛ ۲) بهینه سازی پارامترهای هندسی و ساختاری ترکیب های PV/T موجود؛ ۳) مطالعه عملکرد دراز مدت دینامیک سیستم های PV/T، ۴) نمایش سیستم های PV/T در ساختمان های واقعی و مطالعه عملیات پذیری، ۵) تحلیل های پیشرفته زیست محیطی و اقتصادی که از طریق اندازه گیریهای دراز مدت تاثیر شرایط آب و هوایی را بر عملکرد سیستم محاسبه می کند.

منابع

Burhan, M., Shahzad, M. W., & Ng, K. C. (2017). Long-term performance potential of concentrated photovoltaic (CPV) systems. *Energy Conversion and Management*, *148*, 90-99.

Calise, F., Cappiello, F. L., Vanoli, R., & Vicidomini, M. (2019). Economic assessment of renewable energy systems integrating photovoltaic panels, seawater desalination and water storage. *Applied Energy*, *253*, 113575.

Carvalho, D. B., Guardia, E. C., & Lima, J. W. M. (2019). Technical-economic analysis of the insertion of PV power into a wind-solar hybrid system. *Solar Energy*, *191*, 530-539.

Ceylan, İ., Gürel, A. E., Ergün, A., & Tabak, A. (2016). Performance analysis of a concentrated photovoltaic and thermal system. *Solar Energy*, *129*, 217-223.

Chaysaz, A., Seyedi, S. R. M., & Motevali, A. (2019). Effects of different greenhouse coverings on energy parameters of a photovoltaic–thermal solar system. *Solar Energy*, *194*, 519-529.

Chaysaz, A., Seyedi, S. R. M., & Motevali, A. (2019). Effects of different greenhouse coverings on energy parameters of a photovoltaic–thermal solar system. *Solar Energy*, *194*, 519-529.

Chen, Y., Wang, J., Ma, C., & Gao, Y. (2019). Thermo-ecological cost assessment and optimization for a hybrid combined cooling, heating and power system coupled with compound parabolic concentrated-photovoltaic thermal solar collectors. *Energy*, *176*, 479-492.

Chong, K. K., Yew, T. K., Wong, C. W., Tan, M. H., Tan, W. C., & Lim, B. H. (2017). Dense-array concentrator photovoltaic prototype using non-imaging dish concentrator and an array of cross compound parabolic concentrators. *Applied Energy*, *204*, 898-911.

Chow, T. T., Pei, G., Fong, K. F., Lin, Z., Chan, A. L. S., & Ji, J. (2009). Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover. *Applied Energy*, *86*(3), 310-316.

Cui, T., Xuan, Y., & Li, Q. (2016). Design of a novel concentrating photovoltaic–thermoelectric system incorporated with phase change materials. *Energy Conversion and Management*, *112*, 49-60.

Del Col, D., Bortolato, M., Padovan, A., & Quaggia, M. (2014). Experimental and numerical study of a parabolic trough linear CPVT system. *Energy Procedia*, *57*, 255-264.

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.

El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., & Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy*, *157*, 815-829.

Evangelisti, L., Vollaro, R. D. L., & Asdrubali, F. (2019). Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *114*, 109318.

Fine, J. P., Dworkin, S. B., & Friedman, J. (2019). A methodology for predicting hybrid solar panel performance in different operating modes. *Renewable energy*, *130*, 1198-1206.

Fudholi, A., Zohri, M., Rukman, N. S. B., Nazri, N. S., Mustapha, M., Yen, C. H., ... & Sopian, K. (2019). Exergy and sustainability index of photovoltaic thermal (PVT) air collector: A theoretical and experimental study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *100*, 44-51.

George, M., Pandey, A. K., Abd Rahim, N., Tyagi, V. V., Shahabuddin, S., & Saidur, R. (2019). Concentrated photovoltaic thermal systems: A component-by-component view on the developments in the design, heat transfer medium and applications. *Energy Conversion and Management*, *186*, 15-41.

Greppi, M., & Fabbri, G. (2018). Use of microspheres in thermally insulating hybrid solar panels. *Energy Procedia*, *148*, 948-953.

Guarracino, I., Freeman, J., Ramos, A., Kalogirou, S. A., Ekins-Daukes, N. J., & Markides, C. N. (2019). Systematic testing of hybrid PV-thermal (PVT) solar collectors in steady-state and dynamic outdoor conditions. *Applied energy*, *240*, 1014-1030.

Guo, S., He, Y., Pei, H., & Wu, S. (2020). The multi-objective capacity optimization of wind-photovoltaic-thermal energy storage hybrid power system with electric heater. *Solar Energy*, *195*, 138-149.

Herez, A., Ramadan, M., & Khaled, M. (2018). Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 421-432.

Herrando, M., Pantaleo, A. M., Wang, K., & Markides, C. N. (2019). Solar combined cooling, heating and power systems based on hybrid PVT, PV or solar-thermal collectors for building applications. *Renewable Energy*, *143*, 637-647.

Herrando, M., Ramos, A., Zabalza, I., & Markides, C. N. (2019). A comprehensive assessment of alternative absorber-exchanger designs for hybrid PVT-water collectors. *Applied energy*, *235*, 1583-1602.

Huide, F., Xuxin, Z., Lei, M., Tao, Z., Qixing, W., & Hongyuan, S. (2017). A comparative study on three types of solar utilization technologies for buildings: Photovoltaic, solar thermal and hybrid photovoltaic/thermal systems. *Energy Conversion and Management*, *140*, 1-13.

Jaaz, A. H., Hasan, H. A., Sopian, K., Ruslan, M. H. B. H., & Zaidi, S. H. (2017). Design and development of compound parabolic concentrating for photovoltaic solar collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *76*, 1108-1121.

Jaaz, A. H., Sopian, K., & Gaaz, T. S. (2018). Study of the electrical and thermal performances of photovoltaic thermal collector-compound parabolic concentrated. *Results in Physics*, *9*, 500-510.