



پنل خورشیدی برای تامین نیازهای مسکونی

سینا صالحی^۱ * سید مجید کشاورز^۲

چکیده

راندمان عملی ماژول‌های PV تجاری m-Si و CIS که در واقعیت توسط گروه ما اندازه‌گیری شد، به دلیل دمای بالاتر ماژول‌های PV کمتر از ۱۵ درصد بود و بقیه بیش از ۸۵ درصد انرژی خورشیدی افزوده است. حرارت دادن به محیط قبلاً در سال ۲۰۲۰ گزارش شده بود که اصل یک پانل خورشیدی PV/T (فتوولتائیک/حرارتی) سازگار با محیط زیست با استفاده از ماژول PV m-Si برای استفاده از ۷۱,۳ درصد انرژی خورشیدی برای برق و ۴۰ درجه سانتیگراد آب گرم و همچنین سرکوب تابش گرما از پانل این پنل برای تایید اصل طراحی شده بود، یعنی یک پنل خورشیدی PV/T آزمایشی بود. در این مقاله، یک پانل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست جدید برای استفاده در سیستم‌های BIPVT (فتوولتائیک/حرارتی یکپارچه در ساختمان) پیشنهاد شده است. پنل جدید از یک ماژول PV CIS استفاده می‌کند و تمام عملکردها، از جمله مبدل حرارتی با استفاده از لوله‌های مسطح آلومینیومی، در جعبه پنل قرار می‌گیرد که تقریباً به اندازه یک پانل ساده CIS PV است. پنل خورشیدی PV/T پیشنهادی ۷۳,۵ درصد از انرژی خورشیدی را با ۱۳,۰ درصد راندمان تولید برق و ۶۰,۵ درصد راندمان جمع‌آوری گرما در منبع آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد در یوکوهاما، ژاپن تبدیل می‌کند. راندمان بالاتر از پانل آزمایشی قبلی است. پانل پیشنهادی همچنین می‌تواند تابش گرما را در حدود ۵۰ درجه سانتیگراد حتی در مورد آب گرم ۶۰ درجه سانتیگراد سرکوب کند. پنل خورشیدی PV/T پیشنهادی می‌تواند تمام نیازهای حرارتی مسکونی مانند آب گرم خانگی (DHW) و گرمایش یا سرمایش فضا را با استفاده از گرمای خورشیدی با بار حرارتی محیطی کمتر تامین کند.

کلمات کلیدی: سازگار با محیط زیست، گرمایش جهانی پانل PV/T CIS SDGs، گرمایش خورشیدی، انرژی خورشیدی.

^۱ نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی، رشته برق قدرت، دانشگاه فنی حرفه ای یاسوج

tymwryfryd۳۰@gmail.com

^۲ دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای استان یاسوج، ایران

Skeshavarz.tvu@ac.i

مقدمه

اهداف توسعه پایدار (SDGs) که توسط ۱۹۳ کشور در سال ۲۰۱۵ تصویب شد، برنامه های مشترک جهان از جمله "حفاظت از سیاره زمین تا سال ۲۰۳۰" است. نویسندگان بر این باورند که استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان منبع اصلی انرژی، واقع بینانه ترین اقدام برای تحقق اهداف خواهد بود.

ماژول های PV موجود ممکن است الکتریسیته کمتری نسبت به بازده اسمی اندازه گیری شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به دلیل دمای بالاتر ماژول در زیر نور خورشید ارائه دهند. راندمان عملی ماژول های PV تجاری m-Si و CIS که در واقعیت توسط گروه ما اندازه گیری شد، کمتر از ۱۵ درصد بود و بقیه بیش از ۸۵ درصد انرژی خورشیدی، گرمای خروجی آگزوز به محیط است. اخیراً، برخی از مطالعات به این نتیجه رسیدند که بارون-گافورد و همکاران، [۱]، بورگ و همکاران [۲] و بریتو [۳] به دلیل گرمای خروجی از ماژول های PV به عنوان اثر گرم شدن محیط بر محیط، مشکلاتی وجود دارد.

از سوی دیگر، در مصرف انرژی مسکونی، تقاضای انرژی حرارتی ۷۳،۱ درصد است، یعنی ۵۳،۴ درصد گرمایش فضا، ۱۵،۹ درصد آب گرمایش و ۳،۸ درصد سرمایش فضا، همانطور که توسط آژانس بین المللی انرژی گزارش شده است [۴]. استفاده موثر از انرژی حرارتی از ماژول های PV باعث صرفه جویی در بسیاری از نیازهای برق برای کاربردهای حرارتی و کاهش بار حرارتی محیطی می شود.

یک پنل خورشیدی فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) یک ماژول PV و یک کلکتور حرارتی را ترکیب می کند که می تواند انرژی خورشیدی را به برق و گرما به طور همزمان تبدیل کند و با خنک کردن یک ماژول PV می تواند کارایی PV را بهبود بخشد. پنل خورشیدی PVT که به یک ساختمان معرفی می شود، سیستم فتوولتائیک/حرارتی یکپارچه ساختمان (BIPVT) نامیده می شود. در سیستم های BIPVT، پنل های PV/T بر روی سقف و دیوار ساختمان ها نصب می شوند و برای گرمایش و تامین آب گرم مورد استفاده قرار می گیرند، همانطور که توسط Biyik و همکاران، [۵]، Maghrabie و همکاران، [۶] و Yu بررسی شده است. و همکاران، [۷]. BIPVT یک فناوری امیدوارکننده برای کاهش مصرف انرژی است و اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

همانطور که توسط Mellor و همکاران گزارش شده است، اکثر سیستم های خورشیدی PVT تامین گرمای با دمای پایین در حدود ۴۰ درجه سانتیگراد را هدف قرار داده اند. دلیل اول این است که گرمایش فضا نیاز به دمای آب در حدود ۴۰ درجه سانتیگراد دارد. دلیل دوم این است که افزایش دمای جمع آوری گرما در پانل های خورشیدی PV/T دشوار است زیرا با افزایش دمای پنل خورشیدی PV/T بازده الکتریکی و حرارتی کاهش می یابد. با این حال، آب گرم ۴۰ درجه سانتیگراد برای تامین نیاز گرمای منازل مسکونی کافی نیست. به دلیل بهداشت و مخزن ذخیره محدود، آب گرم خانگی (DHW) به آب گرم حدود ۶۰ درجه سانتیگراد نیاز دارد. خنک کاری فضا عموماً برای چیلرهای جذبی به آب داغ بالاتر از ۹۰ درجه سانتیگراد نیاز دارد. بنابراین، استفاده از آب گرم پانل های خورشیدی PV/T برای خنک کردن فضا دشوار است. با این حال، گروه ما در حال توسعه یک چرخه تبرید اجکتوری بوده است که قبلاً با استفاده از آب گرم در حدود ۶۰ درجه سانتیگراد، ۱۵ درجه سانتیگراد آب سرد تولید کرده است. همانطور که توسط Kuniyoshi و همکاران، [۹] گزارش شده است، خروجی گرمای سرد ۴۰ برابر بیشتر از مصرف برق پمپ مایع است. با توسعه یک پنل خورشیدی PV/T که می تواند دمای خروجی را با کنترل نرخ جریان سیال انتقال حرارت بین ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد کنترل کند و می تواند تابش گرما به محیط را سرکوب کند، یک سیستم BIPVT سازگار با محیط زیست که می تواند تمام تقاضا را تامین کند. آب گرم، گرمایش، سرمایش و برق (در منازل مسکونی با بار محیطی کم تنها با استفاده از انرژی خورشیدی قابل توسعه است).

اکثر سیستم های خورشیدی PV/T موجود از همرفت اجباری هوا یا آب به عنوان سیال انتقال حرارت، از جمله سیستم های حرارتی فتوولتائیک متمرکز (CPVT) استفاده می کنند که توسط [۱۰]، [۱۱]، [۵]، [۶]، [۷] بررسی شده است. روش جابجایی اجباری به یک گذر سیال انتقال حرارت طولانی نیاز دارد. کنترل دمای خروجی دشوار خواهد بود. همچنین به مصرف انرژی برای پمپاژ نیاز دارد و باعث اتلاف گرمای زیادی می شود، به ویژه در هنگام تکرار جریان های انتقال حرارت-سیال با استفاده از مخزن ذخیره. پانل های PV/T با استفاده از لوله های حرارتی توسط بسیاری از محققان از جمله Wu و همکاران، [۱۲]، Gang و همکاران، [۱۳]، Jouhara و همکاران، [۱۴]، Chen و همکاران، [۱۵] توسعه یافته اند. مودجینو و همکاران، [۱۶] و ژانگ و همکاران، [۱۷]. آنها

دارای یک عبور کوتاه از سیال انتقال حرارت هستند که کنترل خروجی آب گرم و سرکوب اتلاف گرما را آسان می کند. در مقایسه با آن پانل ها، فناوری حلقه-ترموسیفون، همانطور که توسط Cui و همکاران، [۱۸] بررسی شده است، دارای مزیت جداسازی سیال کار از آب سیال انتقال حرارت است. همانطور که توسط ژانگ و همکاران، [۱۹] اشاره شده است، می تواند از مشکل جریان معکوس سیال عامل جلوگیری کند. این فناوری ها برای جمع آوری گرما در دماهای مناسب و سرکوب تابش گرما از پانل مناسب هستند.

در سال ۲۰۲۰، اصل یک پانل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست با استفاده از یک ماژول PV m-Si برای استفاده از ۷۱,۳ درصد انرژی خورشیدی برای برق و ۴۰ درجه سانتی گراد آب گرم و برای سرکوب تابش گرمایی از پانل در حدود ۴۵ درجه سانتی گراد بود. توسط تراشیمما و همکاران، [۲۰] تایید شده است. این پنل از یک کلکتور حرارتی فشرده سازی-جوش استفاده می کند که نوعی ترموسیفون حلقه ای است. این پانل دارای یک شیشه پوششی با پردازش برجسته برای سرکوب تابش گرما است. در سال ۲۰۲۲، یک سیستم تامین انرژی که پنل خورشیدی PV/T را در یک خانه معرفی می کند توسط تراشیمما و همکاران، [۲۱] پیشنهاد شد. نتایج شبیه سازی امکان وجود خانه انرژی صفر خالص (ZEH) را نشان داد. پنل خورشیدی PV/T برای تایید اصل طراحی شده است، یعنی یک پنل خورشیدی PV/T آزمایشی بود. هر جزء خارج از پنل خورشیدی PV/T قرار داشت و منطقه جمع آوری گرما بسیار بزرگتر از منطقه ماژول PV بود که نصب آن در ساختمان ها دشوار بود.

هدف از این مطالعه توسعه یک پانل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست عملی برای کاربرد در سیستم های BIPVT با استفاده از اصل تایید شده است. این پنل از یک ماژول PV CIS برای افزایش راندمان جمع آوری گرما و PV استفاده می کند و تمام عملکردهای پنل خورشیدی PV/T را تقریباً در اندازه یک پانل PV با استفاده از یک کندانسور آلومینیومی لوله تخت در خود جای داده است.

- یک پنل خورشیدی کاربردی PV/T (فتوولتائیک/حرارتی) توسعه داده شد.
- این پنل می تواند آب ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد را با کنترل نرخ جریان تامین کند.
- این پنل ۷۳,۵ درصد از انرژی خورشیدی را در حدود ۴۰ درجه سانتیگراد منبع آب گرم تبدیل می کند.
- دمای سطح پانل حدود ۵۰ درجه سانتیگراد حتی در حدود ۶۰ درجه سانتیگراد منبع آب گرم بود.
- کارایی این پنل با سایر پنل های PV/T با لوله های حرارتی/ترموسیفون مقایسه می شود.

۲. تنظیمات آزمایشی

پانل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست

پنل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست تجربی از یک ماژول PV m-Si و یک کلکتور حرارتی در حال جوش زدایی استفاده می کند. این پنل دارای هفت لوله مسی با پره های صفحه آلومینیومی نازک است که به سطح پشتی ماژول PV متصل می شود. لوله های مسی کاملاً تخلیه شده و با مایع کار پر می شوند. گرما را از ماژول PV دریافت می کند، یعنی ماژول PV را خنک می کند. آب و بخار در حال جوش در لوله های مسی گرمای حساس و نهان را به آب سیال انتقال حرارت در کندانسور می دهد. سیال کاری متراکم شده به طور خودکار توسط نیروی گرانش از طریق لوله برگشت به لوله هدر برمی گردد. جزئیات کلکتور حرارتی رفع فشار و جوش توسط تراشیمما و همکاران، [۲۰] گزارش شده است. پنل PV/T دارای ویژگی های زیر است.

این پانل دارای یک جمع کننده حرارت رفع فشار-جوش است. این یک گذر سیال کاری کوتاه با قدرت پمپاژ کمتر برای جمع آوری گرما ایجاد می کند.

جعبه پانل دارای یک شیشه پوششی با پردازش برجسته است تا تابش گرما از ماژول PV به محیط را سرکوب کند.

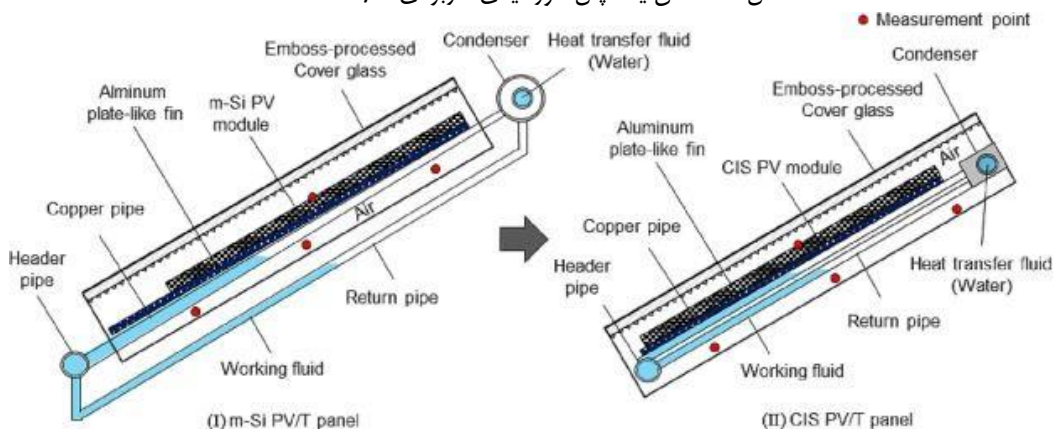
این پنل هوای داخلی را در دمایی نزدیک به محیط نگه می دارد.

پنل خورشیدی PV/T عملی

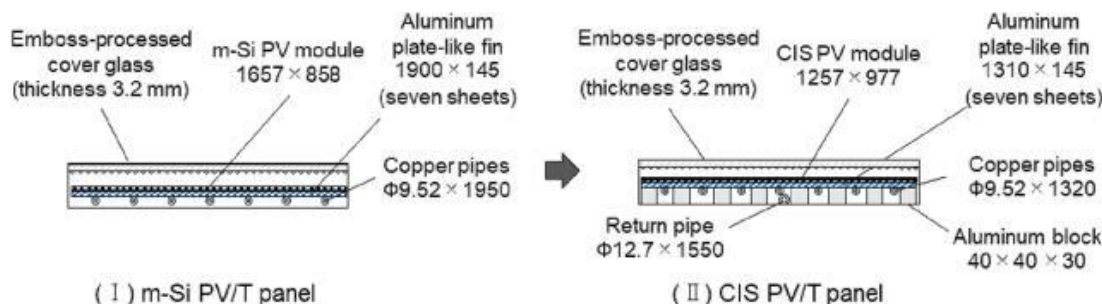
شکل ۱ عکسی از یک پنل خورشیدی کاربردی جدید PV/T را نشان می دهد. شکل ۲، شکل ۳، شکل ۴. مقایسه ساختار (I) پنل خورشیدی PV/T تجربی با استفاده از یک ماژول PV سیلیکونی تک کریستالی (m-Si) که در بخش قبل توضیح داده شد و (II) پنل خورشیدی PV/T پیشنهادی جدید با استفاده از مس-ایندیوم را نشان می دهد. ماژول PV سلنیوم (CIS).



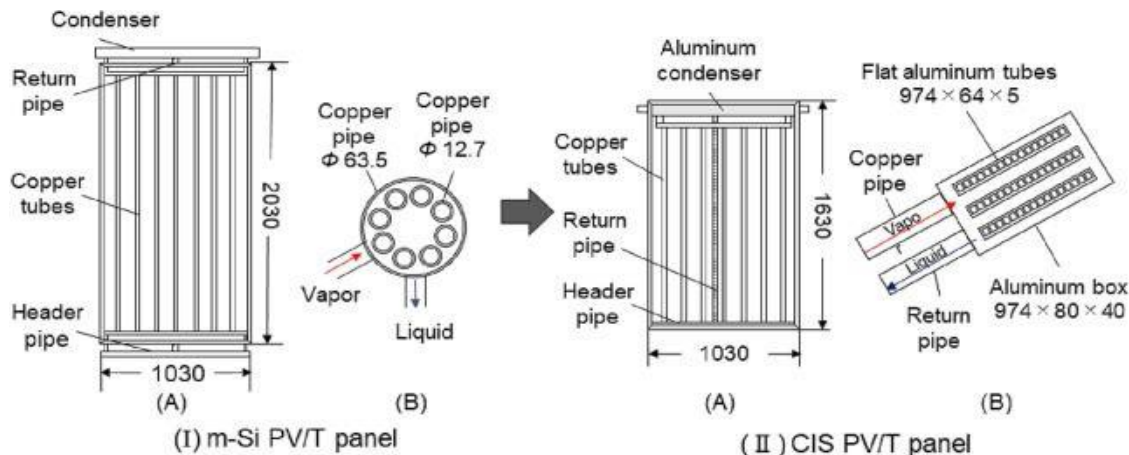
شکل ۱. عکس یک پنل خورشیدی کاربردی CIS PV/T.



شکل ۲. تصاویر مقطع پانل های خورشیدی n-(I) و CIS PV/T (II)



شکل ۳. تصاویر با مقطع افقی (I) m-Si و (II) CIS PV/T پنل های خورشیدی.



شکل ۴. دو کلکتور حرارتی فشرده سازی-جوش، (I) m-Si PV/T پنل و (II) CIS PV/T پنل. (الف) مجموعه‌ای از جمع‌کننده‌های حرارتی جوش‌زدایی (ب) مقطعی از کندانسور.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ماژول های CIS PV بر روی پره های صفحه آلومینیومی به عنوان منبع گرما برای جمع کننده حرارتی در جعبه پنل قرار می گیرند. پنل تمام اجزاء (کندانسور، لوله برگشت و لوله هدر) را در جعبه پنل (۱۶۳۰ × ۱۰۳۰ × ۶۵ میلی متر) نصب می کند. باله صفحه‌ای آلومینیومی گرما را از ماژول PV دریافت می کند، سیال کار می‌جوشد و بخار با ذرات مایع وارد کندانسور می‌شود. دمای سیال انتقال حرارت را می توان برای آب گرم یا گرمایش/سرمایش فضا با تغییر نرخ جریان کنترل کرد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، جعبه های آلومینیومی در قسمت پشتی ماژول PV برای بهبود چسبندگی بین ماژول PV و پره صفحه آلومینیومی نصب شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، کندانسور جدید شامل سه لوله مسطح آلومینیومی برای قرار دادن کندانسور در داخل جعبه پنل ساخته شده است. فناوری های معرفی شده در این مطالعه در بخش های زیر نشان داده شده است.

کندانسور با لوله های تخت

کندانسور مورد استفاده در کلکتور حرارتی رفع فشار و جوش به صورت دایره ای و دارای حجم زیادی بود که قرار دادن کندانسور در داخل جعبه پنل را دشوار می کرد. شکل ۴ ساختار کلی و نمای مقطعی کلکتور حرارتی جوشاننده فشرده سازی تازه توسعه یافته را نشان می دهد. در کلکتور جدید فشار زدایی-جوش نشان داده شده در (II)، کندانسور در بالای جعبه پنل قرار می گیرد. کندانسور جدید دارای سه لوله مسطح آلومینیومی است. فضای داخلی لوله ها توسط یک ستون داخلی تقسیم می شود تا ناحیه انتقال حرارت افزایش یابد. ویژگی های این کندانسور لوله تخت در زیر نشان داده شده است.

۱. محیط سطح داخلی برای کندانسور لوله مسطح ۰,۵۸ متر و برای کندانسور دایره ای ۰,۳ متر است که حدود ۱,۹ برابر بیشتر است. مساحت انتقال حرارت کندانسور جدید ۰,۳۷ متر مربع است که از مساحت انتقال حرارت ۰,۳۴ متر مربع کندانسور دایره ای بزرگتر است.
۲. در کندانسور دایره ای، لوله مسی سیال عامل تبخیر شده را مسدود می کند و جریان سیال کار را به داخل کندانسور دشوار می کند. در کندانسور لوله مسطح، سیال عامل تبخیر شده می تواند در داخل کندانسور در امتداد لوله های تخت جریان داشته باشد و در نتیجه مقاومت جریان پایین و ناحیه تماس سیال افزایش یابد.

جدول (۱) مشخصات دو ماژول PV مختلف در پنل PV/T

PV/T kind	(I) m-Si PV/T panel	(II) CIS PV/T panel
PV manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC	SOLAR FRONTIER
PV model number	PV-MA2450M-1	SFK185-S
PV materials	m-Si (Mono-crystalline silicon)	CIS (Copper-Indium-Selenium)
PV/T panel size	2030 × 1030 mm	1630 × 1030 mm
PV module size	1657 × 858 mm	1257 × 977 mm
PV cell area	1.225 m ²	1.051 m ²
Short-circuit current	9.79 A	2.19 A
Open-circuit voltage	32.7 V	121 V
Maximum power	245 W	185 W
Nominal PV efficiency	17.2 % (at 25 °C)	15.1 % (at 25 °C)
PV module temperature coefficient*,β	- 0.00478 K ⁻¹	- 0.0033 K ⁻¹

* $V/V_{25} = 1 + \beta(T - 298,15 \text{ K})$ ، که در آن V ولتاژ خروجی از ماژول PV است، V_{25} برابر است با ولتاژ خروجی اسمی ماژول PV در $298,15 \text{ K}$ ، T دمای PV است. ماژول، و β ضریب دمای ماژول PV است.

ماژول PV CIS. در این مطالعه، مس - ایندیم - سلینیوم (CIS)

ماژول PV و ماژول PV m-Si (سیلیکون تک کریستالی) استفاده شد.

جدول ۱ مشخصات هر ماژول PV مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد.

بسیاری از پانل های خورشیدی PV/T تجاری از ماژول های سیلیکونی کریستالی استفاده می کنند

زیرا راندمان تبدیل اسمی فتوولتائیک نسبتاً است

بالا تر از دیگران راندمان تبدیل اسمی CIS / مس

ماژول های PV ایندیم-گالیوم-سلینیوم (CIGS) کمتر از ماژول های PV است

ماژول های سیلیکون کریستالی با این حال، ماژول های PV CIS یا CIGS دارای چنین ویژگی هایی هستند

مزایای زیر تبدیل محدوده طول موج وسیع تری از خورشید

طیف، ضریب دمایی کمتر و هزینه تولید کمتر.

علاوه بر این، ماژول های CIS PV انعطاف پذیر بدون پوشش شیشه ای بوده است. اخیرا توسعه یافته است.

این مزایا باعث می شود که زمان بازپرداخت انرژی کوتاهتر شود. توسط پنگ و همکاران [۲۲]، طاهری و همکاران [۲۳] و بوکورت و همکاران [۲۴] توصیف شده است. مطالعات عملی نیز توسط آگروال و تیواری [۲۵] و گزارش شده است میسرا و تیواری [۲۶].

فاکتور بسته بندی افزایش نسبت PV ضروری است

منطقه ماژول به منطقه پانل خورشیدی PV/T. گزارش های زیادی در مورد وجود دارد ارزیابی پانل های PV/T با استفاده از ضریب بسته بندی (PV PF)، که یک نسبت است از ناحیه سلول های PV به ناحیه جمع آوری گرما، همانطور که توسط Ji و همکاران، [۲۷] گزارش شده است، چاو و همکاران، [۲۸]، واتس و همکاران، [۲۹]، رجب و همکاران، [۳۰] و شبانگ و همکاران، [۳۱]. این مطالعات نشان می دهد که افزایش ضریب بسته بندی کاهش می یابد راندمان جمع آوری گرما به دلیل کاهش تابش مستقیم خورشیدی بر روی باله های جمع کننده گرما.

طبق گفته جی و همکاران [۲۷]، فاکتور بسته بندی PV، PF، به صورت زیر تعریف می شود:

$$PF = \frac{A_{cell}}{A_{fin}} \quad (1)$$

که در آن Acell ناحیه ای از سلول های PV و A fin ناحیه ای از صفحه آلومینیومی است باله ها. همانطور که در شکل ها نشان داده شده است. ۱ تا ۴، کلکتور رفع فشار-جوش بود.

به اندازه یک ماژول PV تجاری CIS تنظیم شده است. پنل خورشیدی CIS PV/T دارای ضریب بسته بندی ۰.۸۱ است. در مقابل، m-Si معمولی پنل خورشیدی PV/T دارای ضریب بسته بندی ۰.۶۸ است. در پنل خورشیدی PV/T که در بخش ۳.۱ توضیح داده شد، ماژول PV با چسب به پره های صفحه آلومینیومی متصل می شود. با این حال، آگهی hesive ضعیف بود و به راحتی کنده می شد و خود چسب مقاومت حرارتی ایجاد می کرد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، CIS PV/T جدید توسعه یافته است. پنل خورشیدی دارای ۳۵ بلوک آلومینیومی است که به تخته پستی وصل شده است. پره های صفحه آلومینیومی برای افزایش گرما در برابر ماژول PV فشرده می شوند انتقال از ماژول PV در آینده، ماژول های CIS PV ساخته می شوند.

صفحات آلومینیومی را می توان به جای پره های صفحه آلومینیومی نصب کرد که می تواند بلوک های آلومینیومی را از بین ببرد.

ارزیابی

مقدار گرمای تولید شده توسط پنل خورشیدی PV/T به صورت زیر تعریف می شود:

$$\dot{Q} = mc\Delta T \quad (2)$$

در اینجا $\Delta T = T_{out} - T_{in}$ اختلاف دما بین ورودی و دمای خروجی سیال انتقال حرارت در کندانسور m^0 است سرعت جریان جرمی، و C ظرفیت گرمایی ایزوباریک آب است. آب با عبور از گرمای حدود ۱ متری در کندانسور گرما را دوباره دریافت می کند.

مدل در نرخ جریان جرمی مناسب برای بدست آوردن دمای مورد نظر. راندمان جمع آوری گرما η_h ، بازده تولید برق η_e ، و بازده کل η_t با تابش خورشیدی G ، ناحیه ای از پنل خورشیدی PV/T APVT تعریف می شوند. یا ناحیه ای از AP ماژول PV

$$\eta_h = \frac{\dot{Q}_{PVT}}{G \cdot A_{PVT}} \quad (3)$$

$$\eta_e = \frac{P_{PVT}}{G \cdot A_{PV}} \quad (4)$$

$$\eta_t = \eta_h + \eta_e \quad (5)$$

در استانداردهای ژاپنی [۳۲] [JIS A۴۱۱۲]، راندمان جمع آوری گرما یک کلکتور خورشیدی به عنوان ارزیابی می شود.

$$\eta_h = \eta_0 - U \frac{T_m - T_a}{G} \quad (6)$$

که در آن $T_m = (T_{out} + T_{in})/2$ مقدار متوسط گرمای ورودی و خروجی است. دمای آب سیال انتقالی η_0 و U مقادیر تعیین شده از رابطه خطی هستند. η_h در برابر $(T_m - T_a)/G$ به عنوان γ -برق و گرادیان اندازه گیری شده، به ترتیب. در معادله (۶)، مقادیر متوسط برای پنج دقیقه، که برآورده کردن (الف) میانگین تابش حداقل بیشتر از $W \cdot m^{-2} 2630$ در ۵ است.

دقیقه، و حداکثر انحراف از $W \cdot m^{-2} 250$ تجاوز نمی کند. (ب) بیشترین انحراف از میانگین دمای ورودی در ۵ دقیقه وجود ندارد بیش از 0.5 ، $C \cdot min$ ، استفاده شد.

تحلیل عدم قطعیت

راندمان جمع آوری گرما η_h و راندمان تولید برق η_e برای ارزیابی عملکرد پانل PV/T استفاده می شود. عدم قطعیت δy به شرح زیر است [۳۳].

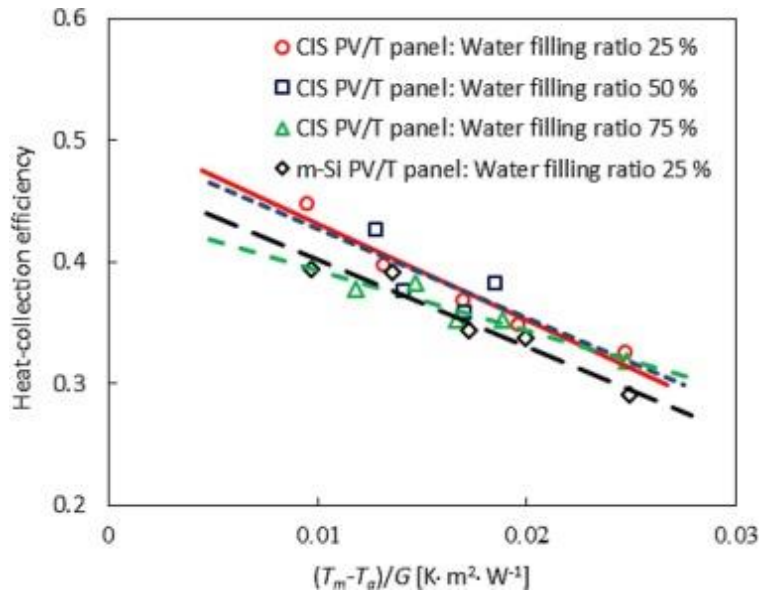
$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

$$\delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \delta x_n\right)^2} \quad (8)$$

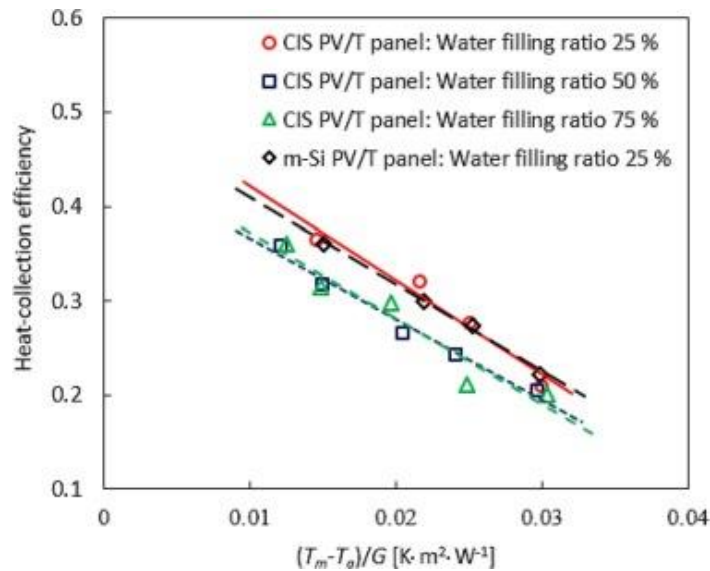
که در آن δx_1 ، δx_2 ، δx_n ، عدم قطعیت مقادیر اندازه گیری شده هستند. جدول ۲ عدم قطعیت دستگاه های نظارتی را در گذشته نشان می دهد. آزمایشات عدم قطعیت های جمع آوری گرما و توان بازده تولید برای هر آزمایش محاسبه می شود. تمام آزمایشات در دانشگاه کیو، یوکوهاما انجام شد،

جدول (۲) عدم قطعیت دستگاه های نظارتی

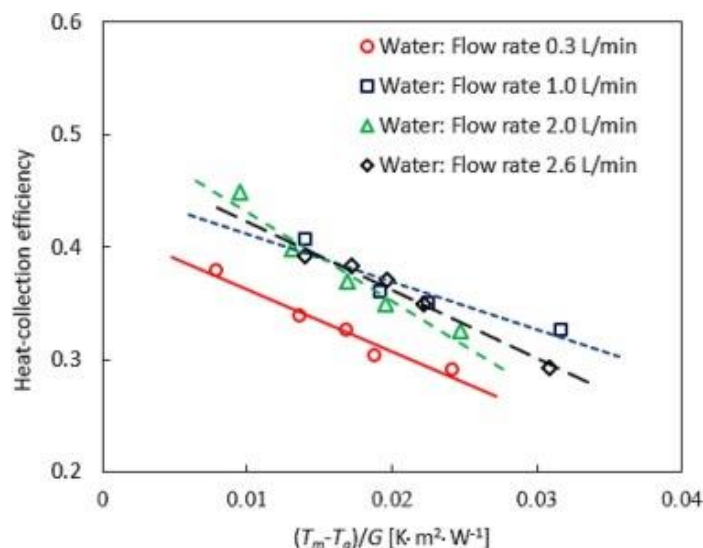
Device	Manufacturer	Specification	Uncertainty
Pyranometer	EKO	MS-402	$\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Water flow-meter	KEYENCE	FD-M5AY	$\pm 3.5 \%$
Photovoltaic controller	Namikoshi Electronics	PV-757	$\pm 3.0 \%$
Platinum resistance thermometer	CHINO	PT-100	$\pm 0.15 \text{ }^\circ\text{C}$



شکل ۵. راندمان جمع آوری گرما در تابستان در دمای کاهش یافته متفاوت تورهای $(T_m - T_a)/G$ برای حجم های مختلف پر کردن آب در پانل های PV/T



شکل ۶ راندمان جمع آوری گرما در زمستان در دماهای کاهش یافته مختلف $(T_m - T_a)/G$ برای حجم های مختلف پر کردن آب در پنل های PV/T.



شکل ۷. راندمان جمع آوری گرما در تابستان در نرخ های جریان مختلف گرما انتقال آب سیال با نسبت حجمی پر شدن ۲۵ درصد.

ژاپن، ۳۶° شمالی، ۱۳۹° شرقی. پنل های خورشیدی PV/T با رو به جنوب تنظیم شدند.

جهت و زاویه شیب ۳۰°. مشخصات دستگاه های مانیترینگ و نمودار شماتیک تنظیمات آزمایشی در شرح داده شده است. تراشیم و همکاران، [۲۰].

نتایج تجربی

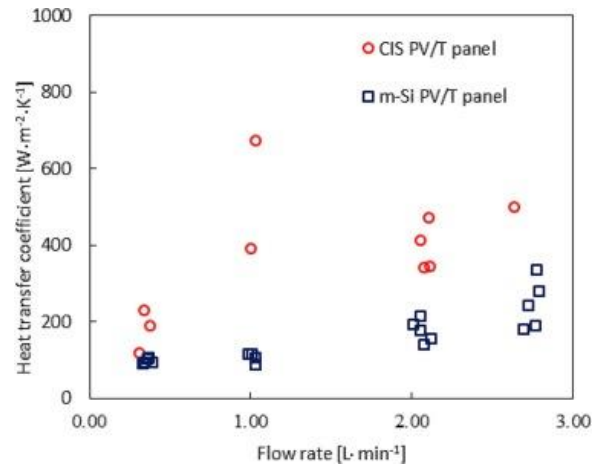
نسبت حجم پر کردن سیال کار

راندمان جمع آوری گرما پنل خورشیدی PV/T با متفاوت است حجم پر کردن آب به عنوان سیال کار به صورت تجربی بود. مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ داده های تابستانی ۱۳/۸ (۱۳ آگوست) و ۱/۸ را نشان می دهد. ۲۶، و شکل ۶ داده های زمستانی را در ۱۶/۱۲، ۱۷/۱۲، و ۱۸/۱۲ نشان می دهد.

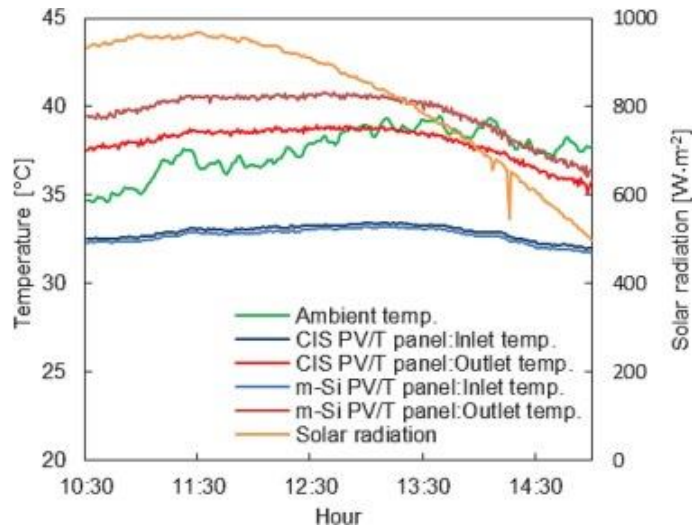
بهترین راندمان جمع آوری گرما شرایط حجم پر کردن نسبت های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد برای پنل CIS PV/T بود. حجم پر کردن نسبت با اندازه گیری حجم آب در پنل PV/T به تعریف می شود.

حجم آبی که پنل را پر می کند. داده های پنل CIS PV/T در نسبت حجم پر و پنل m-Si PV/T در ۲۵ درصد حجم پر شدن نسبت، بهترین نسبت حجم پرکننده گزارش شده در [۲۰]، در مقایسه شده است.

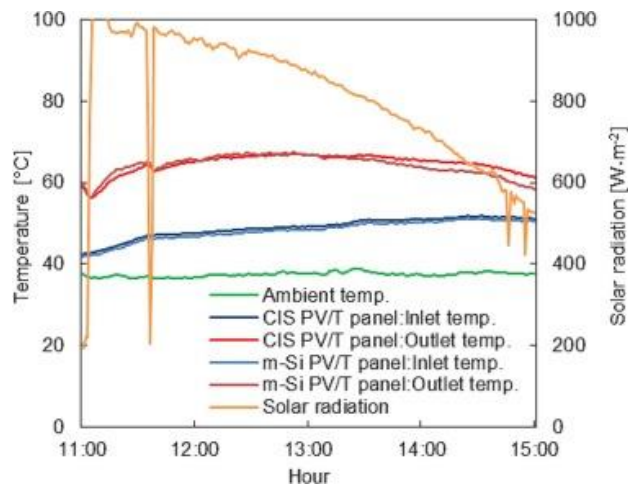
انجیر. ۵ و ۶. این داده ها نیز در جدول A۱ فهرست شده اند. راندمان جمع آوری گرما پنل های CIS و m-Si PV/T در ۲۵. نسبت حجم پر شدن درصد بیشترین راندمان جمع آوری گرما را دارد که این است همان نتیجه [۲۰] به دلیل افزایش سطح تبخیر در لوله های مسی کلکتور حرارتی رفع فشار-جوش. گرما- راندمان جمع آوری پنل CIS PV/T بیشتر از پنل PV/T است پنل m-Si PV/T در تابستان و تقریباً در زمستان یکسان است. پنل CIS PV/T ضریب بسته بندی بالاتری نسبت به m-Si PV/T دارد پنل. در زمستان دمای محیط پایین و تابش خورشید ضعیف است ایجاد جوش کم فشار. فاکتور بسته بندی بالا باعث الف کاهش سطح تابش مستقیم خورشیدی در جمع آوری گرما باله ها که به راحتی در زمستان تحت تأثیر قرار می گیرند.



شکل ۸. ضرایب انتقال حرارت در دبی های مختلف سیال انتقال حرارت آب با نسبت حجمی پر شدن ۲۵ درصد.



شکل ۹. دمای آب سیال انتقال حرارت ورودی و خروجی در پانل های PV/T در حدود ۱۲,۰ L·min سرعت جریان در ۴ سپتامبر.



شکل ۱۰. دمای آب سیال انتقال حرارت ورودی و خروجی در پانل های PV/T با سرعت جریان ۱۰,۳ L·min در ۳۰ آگوست.

سرعت جریان سیال انتقال حرارت

شکل ۷ کارایی جمع آوری حرارت پانل PV/T CIS را نشان می دهد با ۲۵ درصد پر کردن نسبت حجمی آب در دبی های مختلف گرما انتقال سیال در کندانسور در ۱۴/۸، ۱۹/۸، ۲۱/۸ و ۲۶/۸ که همچنین در جدول A۱ ذکر شده است. راندمان جمع آوری گرما تقریباً یکسان بود هنگام کنترل نرخ جریان بین ۱،۰ و ۱،۲۶ L·min. پاريسون، راندمان جمع آوری حرارت کمتر در ۱،۰۳ L·min مشاهده شد. زیرا آب با دمای بالاتر به دست آمد و زمان ماند بیش از سه برابر بیشتر از موارد دیگر بود. جدید کندانسور مستطیلی آلومینیومی دارای راندمان انتقال حرارت مناسب است در طیف گسترده ای از نرخ جریان تا ۱،۲۶ L·min حتی در تابستان، باعث می شود کنترل سرعت جریان برای به دست آوردن دمای مورد نظر آب گرم آسان تر است بین ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد برای ارزیابی بهبود انتقال حرارت در کندانسور، ضریب انتقال حرارت با معادلات زیر بر اساس محاسبه می شود.

$$\dot{Q} = KA\Delta T_m \quad (9)$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{out} - T_{in})}{\ln \frac{(T_s - T_{in})}{(T_s - T_{out})}} \quad (10)$$

که در آن K ضریب انتقال حرارت، A ناحیه انتقال حرارت کندانسور، و ΔT_m اختلاف دمای میانگین لگاریتمی است. T_s است دمای اشباع آب سیال کار دمای اشباع - جریان آب با حداکثر فشار در کندانسور به مدت پنج دقیقه محاسبه می شود و شرایط مطابق با بخش نشان داده شده است. این داده ها در جدول A۲ نشان داده شده است.

شکل ۸ ضرایب انتقال حرارت کندانسور را در نرخ های جریان آب مختلف نشان می دهد. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، ضریب انتقال حرارت پانل PV/T CIS بیشتر از پانل m-Si PV/T است. فشار در کندانسور پانل PV/T CIS کمتر از فشار PV m-Si است.

پنل تی. دمای اشباع آب سیال کار کمتر می شود و در نتیجه ضریب انتقال حرارت بالاتر می رود. در حدود ۱،۲۶ L·min، میانگین ضریب انتقال حرارت پانل PV/T m-Si برابر است با ۱۱۸۱ W·m^۲·K از سوی دیگر، پنل ۲۰K۱ W·m^۲·K PV/T CIS ۴۳۶ است که ۲،۴ برابر بزرگتر از پانل m-Si PV/T است. این کندانسور مستطیلی آلومینیومی می تواند گرما را بین گرما تبادل کند به دلیل روان بودن جریان سیال و سیال کار را به طور موثر انتقال دهد بخار سیال کار با استفاده از لوله های تخت. ۳،۳. عملکرد پنل خورشیدی PV/T اندازه گیری عملکرد پانل PV/T CIS و پانل PV/T m-Si در دمای خروجی ۶۰ درجه سانتیگراد و دمای خروجی ۴۰ درجه سانتیگراد به ترتیب در ۳۰ آگوست و ۴ سپتامبر ۲۰۲۰ انجام شد. میانگین روزانه داده ها در جدول A۳ آمده است.

حداکثر غیر اطمینان از راندمان جمع آوری گرما و تولید برق ۳۰ آگوست برابر با ۰،۱۵۷ و ۰،۰۱۳۱ هستند و در ۴ سپتامبر ۰،۰۴۵۶ و ۰،۰۰۸۵۴. در ۳۰ آگوست، تابش خورشید کاهش یافت به طور قابل توجهی برای یک لحظه، و عدم قطعیت در آن زمان بزرگ بود. انجیر. ۹ و ۱۰ تابش خورشید، دمای محیط، و دمای ورودی و خروجی آب سیال انتقال حرارت در دبی های مختلف. دمای خروجی آب حدود ۴۰ درجه سانتیگراد بود. پانل توسعه یافته می تواند دمای خروجی را از ۴۰ C^o تا ۶۰ C^o با کنترل نرخ جریان سیال انتقال حرارت کنترل کند.

نتیجه گیری

یک پنل خورشیدی کاربردی PV/T ساخته شده است که می تواند آب گرم بین ۴۰ درجه سانتیگراد تا ۶۰ درجه سانتیگراد را با کنترل نرخ جریان گرما تامین کند. مایع را انتقال می دهد و می تواند بار حرارتی را به محیط سرکوب کند. را موارد زیر خلاصه ای از نتایج است.

۱. یک پنل خورشیدی PV/T از کلکتور حرارتی در حال جوش زدایی و ماژول PV مس-اینیدیوم-سلنیوم (CIS) استفاده می کند. تمام اجزای پنل PV/T در جعبه پنل ساخته شده است که تقریباً یکسان است منطقه به عنوان یک پنل PV. این پنل دارای توان مصرفی پمپ کمی است و از دست دادن حرارت به دلیل عبور کوتاه آن برای سیال انتقال حرارت. ۲. پنل توسعه یافته ۷۳,۵ درصد از انرژی خورشیدی را در حدود ۴۰ C° منبع آب گرم تبدیل می کند. راندمان تولید برق ۱۳,۰ درصد و راندمان جمع آوری حرارت ۶۰,۵ درصد است. پنل توسعه یافته سرکوب می کند تابش گرما به محیط در حدود ۴۰ درجه سانتیگراد در همان روز، که حداقل ۲۰ درجه سانتیگراد کمتر از دمای تابش است.

پانل های خورشیدی PV معمولی

۳. پنل توسعه یافته ۴۵,۹ درصد از انرژی خورشیدی را در حدود ۶۰ C° منبع آب گرم تبدیل می کند. راندمان تولید برق ۱۲,۰ درصد و راندمان جمع آوری حرارت ۳۳,۹ درصد است. پنل توسعه یافته سرکوب می کند تابش گرما به محیط در حدود ۵۰ درجه سانتیگراد حتی در دمای بالا

شرایط تامین آب دمایی

۴. راندمان عملی پنل خورشیدی PV/T بالاتر از راندمان پنل خورشیدی است پنل خورشیدی آزمایشی PV/T در سال ۲۰۲۰ گزارش شده است و تمایل دارد بالاتر از سایر پنل های خورشیدی PV/T که از لوله های حرارتی یا ترموسیفون استفاده می کنند. با استفاده از تعداد مناسب PV/T عملی توسعه یافته پنل های خورشیدی و پنل های PV با منبع گرمای کمکی و اجکتور چرخه تبرید، خانه های سازگار با محیط زیست که می توانند همه را تامین کنند انرژی (آب گرم، گرمایش، سرمایش و برق) تنها با استفاده از انرژی خورشیدی با تابش گرمای کم به محیط زیست قابل تحقق است.

- [^۱] G.A. Barron-Gafford, R.L. Minor, N.A. Allen, A.D. Cronin, A.E. Brooks, M.A. Pavao-Zuckerman, The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures, *Scientific reports* ۶ (۲۰۱۶)
- [^۲] B.R. Burg, P. Ruch, S. Paredes, B. Michel, Effects of radiative forcing of building integrated photovoltaic systems in different urban climates, *Sol. Energy* ۱۴۷ (۲۰۱۷), ۴۰۵-۳۹۹
- [^۳] M.C. Brito, Assessing the Impact of Photovoltaics on Rooftops and Facades in the Urban Micro-Climate, *Energies* ۱۳ (۱۱) (۲۰۲۰), Article ID ۲۷۱۷,
- [^۴] IEA, Energy Efficiency Indicators: Overview, IEA energy end use and efficiency trends (۲۰۲۱)
- [^۵] E. Biyik, M. Araz, A. Hepbasli, M. Shahrestani, R. Yao, L. Shao, E. Essah, A. C. Oliveira, T.D. Cano, E. Rico, J.L. Lechon, L. Andrade, A. Mendes, Y.B. Atli, A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems, *Eng. Sci. Tech., An Int. J.* ۲۰ (۳) (۲۰۱۷) ۸۳۳-۸۵۸.
- [^۶] H.M. Maghrabie, K. Elsaid, E.T. Sayed, M.A. Abdelkareem, T. Wilberforce, A.G. Olabi, Building-integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) systems: applications and challenges, *Sustainable Energy Technol. Assess.* ۴۵ (۲۰۲۱) ۱۰۱۱۵۱.
- [^۷] G. Yu, H. Yang, Z. Yan, M. Kyeredey Ansah, A review of designs and performance of façade-based building integrated photovoltaic-thermal (BIPVT) systems, *Appl. Therm. Eng.* ۱۸۲ (۲۰۲۱) ۱۱۶۰۸۱.
- [^۸] A. Mellor, D.A. Alvarez, I. Guarracino, A. Ramos, A.R. Lacasta, L.F. Llin, A.J. Murrell, D.J. Paul, D. Chemisana, C.N. Markides, N.J. Ekins-Daukes, Roadmap ۱۷۴ (۲۰۱۸) ۱۸۶-۳۹۸
- [^۹] N. Kuniyoshi, A. Takatsuka, H. Sato, M. Kojima, Possibility of ejector cycle for cooling in SDGs, Proceedings of the International Workshop on Environmental Engineering (۲۰۱۹), Okinawa, ۲۵-۲۸ June ۲۰۱۹, JSME, ۱۹۹-۲۰۰.
- [^{۱۰}] S.B. Riffat, E. Cuce, A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, *International Journal of Low-Carbon Technologies* ۶ (۳) (۲۰۱۱) ۲۱۲-۲۴۱,
- [^{۱۱}] R. Daneshazarian, E. Cuce, P.M. Cuce, F. Sher, Concentrating photovoltaic thermal (CPVT) collectors and systems: theory, performance assessment and applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* ۸۱ (۲۰۱۸) ۴۷۳-۴۹۲, rser.۲۰۱۷,۰۸,۰۱۳.
- [^{۱۲}] S.Y. Wu, Q.L. Zhang, L. Xiao, F.H. Guo, A heat pipe photovoltaic/thermal (PV/Thybrid) system and its performance evaluation, *Energ. Buildings* ۴۳ (۱۲) (۲۰۱۱) ۳۵۶۷-۳۵۵۸
- [^{۱۳}] P. Gang, F. Huide, Z. Huijuan, J. Jie, Performance study and parametric analysis of a novel heat pipe PV/T system, *Energy* ۳۷ (۱) (۲۰۱۲) ۳۸۴-۳۹۵.
- [^{۱۴}] H. Jouhara, J. Milko, J. Danielewicz, M.A. Sayegh, M. Szulgowska-Zrzywa, J. B. Ramos, S.P. Lester, The performance of a novel flat heat pipe based thermal and PV/T (photovoltaic and thermal systems) solar collector that can be used as an energy-active building envelope material, *Energy* ۱۰۸ (۲۰۱۶) ۱۴۸-۱۵۴.
- [^{۱۵}] H. Chen, L. Zhang, P. Jie, Y. Xiong, P. Xu, H. Zhai, Performance ۱۹۰ (۲۰۱۷) ۹۶۰-۹۸۰.
- [^{۱۶}] M. Modjinou, J. Ji, J. Li, W. Yuan, F. Zhou, A numerical and experimental study of micro-channel heat pipe solar photovoltaics thermal system, *Appl. Energy* ۲۰۰۶.۷۲۲-۷۰۸ (۲۰۱۷)
- [^{۱۷}] T. Zhang, Z.W. Yan, L. Xiao, H.D. Fu, G. Pei, J. Ji, Experimental, study and design sensitivity analysis of a heat pipe photovoltaic/thermal system, *Appl. Therm. Eng.* ۱۱۴۳۱۸ (۲۰۱۹) ۱۶۲.
- [^{۱۸}] Y. Cui, J. Zhu, S. Zoras, J. Zhang, Comprehensive review of the recent advances in PV/T system with loop-pipe configuration and nanofluid, *Renew. Sustain. Energy Rev.* ۱۳۵ (۲۰۲۱) ۱۱۰۲۵۴.
- [^{۱۹}] T. Zhang, Z. Yan, G. Pei, Q. Zhu, J. Ji, Experimental optimization on the volume-filling ratio of a loop thermosyphon photovoltaic/thermal system, *Renew. Energy*. ۲۴۲-۲۳۳ (۲۰۱۹) ۱۴۳

- [۲۰] K. Terashima, H. Sato, T. Ikaga, Development of an environmentally friendly PV/Tsolar panel, Sol. Energy ۱۹۹ (۲۰۲۰) ۵۱۰-۵۲۰.
- [۲۱] K. Terashima, H. Sato, T. Ikaga, Proposal of net-zero energy house by introducing environmentally friendly PV/T solar panels, Journal of Japan Solar Energy Society (۲۰۲۲) (۲) ۴۸, ۷۰-۶۱ in Japanese.
- [۲۲] J. Peng, L. Lu, H. Yang, Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, Renew. Sustain. Energy Rev. ۱۹ (۲۰۱۳) ۲۵۵-۲۷۴.
- [۲۳] A. Tahri, S. Slivestre, F. Tahri, S. Benlebna, A. Chouder, Analysis of thin film photovoltaic module under outdoor long term exposure in semi-arid climate conditions, Sol. Energy ۱۵۷ (۲۰۱۷) ۵۸۷-۵۹۵.
- [۲۴] N.E.I. Boukortt, S. Patane, Y.M. Abdurraheem, Numerical investigation of CIGS thin-film solar cells, Sol. Energy ۲۰۴ (۲۰۲۰) ۴۴۰-۴۴۷.
- [۲۵] B. Agrawal, G.N. Tiwari, Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems, Energ. Buildings ۴۲ (۹) (۲۰۱۰) ۱۴۷۲-۱۴۸۱.
- [۲۶] R.K. Mishra, G.N. Tiwari, Energy matrices analyses of hybrid photovoltaic thermal) HPVT) water collector with different PV technology, Sol. Energy ۹۱ (۲۰۱۳, ۱۷۳-۱۶۱ (
- [۲۷] J. Ji, J. Han, T. Chow, H. Yi, J. Lu, W. He, W. Sun, Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system, Energ. Buildings ۳۸ (۱۲) (۲۰۰۶) ۱۳۸۰-۱۳۸۷.
- [۲۸] T.T. Chow, G. Pei, K.F. Fong, Z. Lin, A.L.S. Chan, J. Ji, Energy and exergy analysis of photovoltaic-thermal collector with and without glass cover, Appl. Energy ۸۶, ۳۱۶-۳۱۰ (۲۰۰۹) (۳)
- [۲۹] K. Vats, V. Tomar, G.N. Tiwari, Effect of packing factor on the performance of a building integrated semitransparent photovoltaic thermal (BISPVT) system with air duct, Energ. Buildings ۵۳ (۲۰۱۲) ۱۵۹-۱۶۵.
- [۳۰] O. Rejeb, H. Dhaou, A. Jemni, A numerical investigation of a photovoltaic thermal) PV/T) collector, Renew. Energy ۷۷ (۲۰۱۵) ۴۳-۵۰.
- [۳۱] B. Xiang, Y. Yuan, Y. Ji, X. Cao, J. Zhou, Thermal and electrical performance of a novel photovoltaic-thermal road, Sol. Energy ۱۹۹ (۲۰۲۰) ۱-۱۸.
- [۳۲] JIS A ۴۱۱۲, ۲۰۲۰, <http://kikakurui.com/a4/A4112-2011-01.html> (accessed ۲۰۲۳ ; ۲۹/۶/in Japanese).