



## پنل خورشیدی برای تامین نیازهای مسکونی

فردین یزدان پناه سیسخت<sup>۱</sup>. سینا صالحی<sup>۲</sup>\*

دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای استان کهرگلویه و بویراحمد شهرستان یاسوج، ایران،

دانشجوی کارشناسی، رشته برق قدرت، دانشگاه فنی حرفه ای یاسوج

Fyazdanpanah14@gmail.com<sup>۱</sup> Sinasalehi.917816@gmail.com<sup>۲</sup>

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 اگزوز 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 پانل 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.

## 1- مقدمه

اهداف توسعه پایدار (SDGs) که توسط 193 کشور در سال 2015 تصویب شد، برنامه های مشترک جهان از جمله "حفاظت از سیاره زمین تا سال 2030" 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 25 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 15 درصد بود و بقیه بیش از 85 درصد انرژی خورشیدی، گرمای خروجی افزوده به محیط است. اخیراً، برخی از مطالعات به این نتیجه رسیدند که بارون-گافورد و همکاران، [1]، بورگ و همکاران [2] و بریتو [3] 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 73.1 درصد است، یعنی 53.4 درصد گرمایش فضا، 15.9 درصد آب گرمایش و 3.8 درصد سرمایش فضا، همانطور که توسط آژانس بین المللی انرژی گزارش شده است [4]. 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، [5]، Maghrabie و همکاران، [6] و Yu بررسی شده است. و همکاران، [7]. 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 40 درجه سانتیگراد را هدف قرار داده اند. دلیل اول این است که گرمایش فضا نیاز به دمای آب در حدود 40 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 40 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 60 درجه سانتیگراد نیاز دارد. خنک کاری فضا عموماً برای چیلرهای جذبی به آب داغ بالاتر از 90 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 60 درجه سانتیگراد، 15 درجه سانتیگراد آب سرد تولید کرده است. همانطور که توسط Kuniyoshi و همکاران، [9] گزارش شده است، خروجی گرمای سرد 40 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 40 تا 60 درجه سانتی گراد 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 [10]، [11]، [5]، [6]، [7] بررسی شده است. [۸]. 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، [12]، Gang و همکاران، [13]، Jouhara و همکاران، [14]، Chen و همکاران، [15] توسعه یافته اند. مودجینو و همکاران، [16] و ژانگ و همکاران، [17]. 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، [18] بررسی شده است، دارای مزیت جداسازی سیال کار از آب سیال انتقال حرارت است. همانطور که توسط ژانگ و همکاران، [19] 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 2020، اصل یک پانل خورشیدی PV/T سازگار با محیط زیست با استفاده از یک ماژول PV m-Si برای استفاده از 71.3 درصد انرژی خورشیدی برای برق و 40 درجه سانتی گراد آب گرم و برای سرکوب تابش گرمایی از پانل در حدود 45 درجه سانتی گراد بود. توسط تراشیم و همکاران، [20] 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 2022، یک سیستم تامین انرژی که پنل خورشیدی PV/T را در یک خانه معرفی می کند توسط تراشیم و همکاران، [21] 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 40 تا 60 درجه سانتی گراد را با کنترل نرخ جریان تامین کند.
- این پنل 73.5 درصد از انرژی خورشیدی را در حدود 40 درجه سانتیگراد منبع آب گرم تبدیل می کند.
- دمای سطح پانل حدود 50 درجه سانتیگراد حتی در حدود 60 درجه سانتیگراد منبع آب گرم بود.
- کارایی این پنل با سایر پنل های PV/T با لوله های حرارتی/ترموسیفون مقایسه می شود.

## 2 - تنظیمات آزمایشی

پنل 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 تراشیمای و همکاران، [20] گزارش شده است. پنل PV/T دارای ویژگی های زیر است.

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

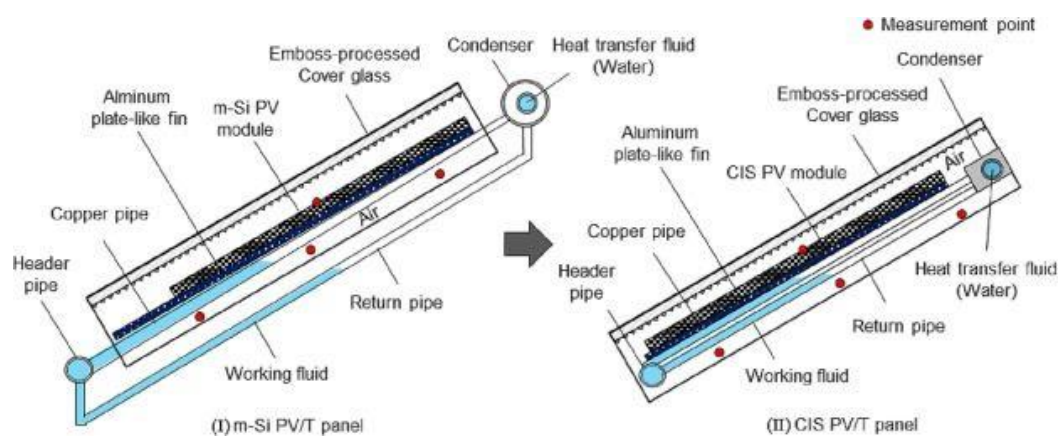
این پنل هوای داخلی را در دمایی نزدیک به محیط نگه می دارد.

پنل خورشیدی PV/T عملی

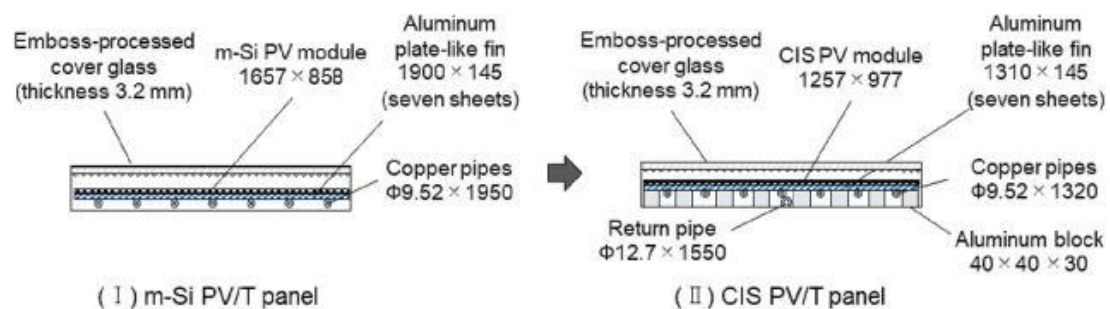
شکل 1 عکسی از یک پنل خورشیدی کاربردی جدید PV/T را نشان می دهد. شکل 2، شکل 3، شکل 4. مقایسه ساختار (I) پنل خورشیدی PV/T تجربی با استفاده از یک ماژول PV سیلیکونی تک کریستالی (m-Si) که در بخش قبل توضیح داده شد و (II) پنل خورشیدی PV/T پیشنهادی جدید با استفاده از مس-آیندیوم را نشان می دهد. ماژول PV سلنیوم (CIS).



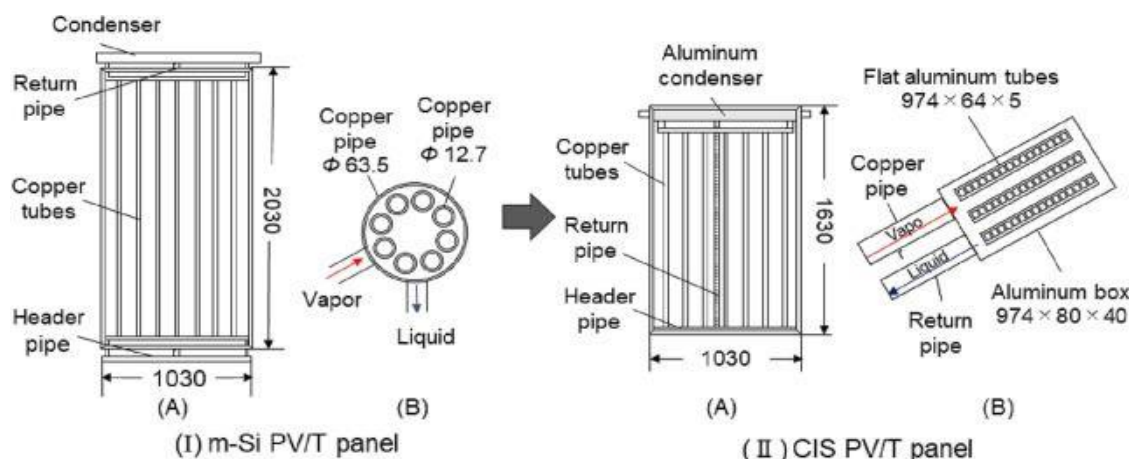
شکل ۱. عکس یک پنل خورشیدی کاربردی CIS PV/T.



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



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



شکل 4. دو کلکتور حرارتی فشرده سازی-جوش، (I)m-Si PV/T) پانل و (II) CIS PV/T) پانل. (الف) مجموعه‌ای از جمع‌کننده‌های حرارتی جوش‌زدایی (ب) مقطعی از کندانسور.

همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، ماژول‌های CIS PV بر روی پره‌های صفحه آلومینیومی به عنوان منبع گرما برای جمع‌کننده حرارتی در جعبه پانل قرار می‌گیرند. پانل تمام اجزاء (کندانسور، لوله برگشت و لوله هدر) را در جعبه پانل ( $65 \times 1030 \times 1630$  میلی‌متر) نصب می‌کند. باله صفحه‌ای آلومینیومی گرما را از ماژول PV دریافت می‌کند، سیال کار می‌جوشد و بخار با ذرات مایع وارد کندانسور می‌شود. دمای سیال انتقال حرارت را می‌توان برای آب گرم یا گرمایش/سرمايش فضا با تغییر نرخ جریان کنترل کرد. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، جعبه‌های آلومینیومی در قسمت پشتی ماژول PV برای بهبود چسبندگی بین ماژول PV و پره صفحه آلومینیومی نصب شده است. همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، کندانسور جدید شامل سه لوله مسطح آلومینیومی برای قرار دادن کندانسور در داخل جعبه پانل ساخته شده است. فناوری‌های معرفی شده در این مطالعه در بخش‌های زیر نشان داده شده است.

### 3- کندانسور با لوله‌های تخت

کندانسور مورد استفاده در کلکتور حرارتی رفع فشار و جوش به صورت دایره‌ای و دارای حجم زیادی بود که قرار دادن کندانسور در داخل جعبه پانل را دشوار می‌کرد. شکل 4 ساختار کلی و نمای مقطعی کلکتور حرارتی جوشاننده فشرده سازی تازه توسعه یافته را نشان می‌دهد. در کلکتور جدید فشار زدایی-جوش نشان داده شده در (II)، کندانسور در بالای جعبه پانل قرار می‌گیرد. کندانسور جدید دارای سه لوله مسطح آلومینیومی است. فضای داخلی لوله‌ها توسط یک ستون داخلی تقسیم می‌شود تا ناحیه انتقال حرارت افزایش یابد. ویژگی‌های این کندانسور لوله تخت در زیر نشان داده شده است.

1. محیط سطح داخلی برای کندانسور لوله مسطح  $0.58$  متر و برای کندانسور دایره‌ای  $0.3$  متر است که حدود  $1.9$  برابر بیشتر است. مساحت انتقال حرارت کندانسور جدید  $0.37$  متر مربع است که از مساحت انتقال حرارت  $0.34$  متر مربع کندانسور دایره‌ای بزرگتر است.

2. در کندانسور دایره‌ای، لوله مسی سیال عامل تبخیر شده را مسدود می‌کند و جریان سیال کار را به داخل کندانسور دشوار می‌کند. در کندانسور لوله مسطح، سیال عامل تبخیر شده می‌تواند در داخل کندانسور در امتداد لوله‌های تخت جریان داشته باشد و در نتیجه مقاومت جریان پایین و ناحیه تماس سیال افزایش یابد.



جدول (1) 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 <sup>2</sup>	1.051 m <sup>2</sup>
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 <sup>-1</sup>	- 0.0033 K <sup>-1</sup>

ماژول PV در 298.15 K، دمای PV است. ماژول، و  $\beta$  ضریب دمای ماژول PV است.  $V/V_{25} = 1 + \beta(T - 298.15 \text{ K})$ ، که در آن V ولتاژ خروجی از ماژول PV است،  $V_{25}$  برابر است با ولتاژ خروجی اسمی

ماژول PV CIS. در این مطالعه، مس - ایندیم - سلنیوم (CIS) ماژول PV و ماژول PV m-Si (سیلیکون تک کریستالی) استفاده شد. جدول 1 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 بالاتر از دیگران راندمان تبدیل اسمی CIS / مس ماژول های PV ایندیوم-گالیوم-سلنیوم (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 اخیراً توسعه یافته است. این مزایا باعث می شود که زمان بازپرداخت انرژی کوتاهتر شود توسط پنگ و همکاران [22]، طاهری و همکاران [23] و بوکورت و همکاران [24] توصیف شده است. مطالعات عملی نیز توسط آگراوال و تیواری [25] و گزارش شده است میسرا و تیواری [26].

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 (PF) PV، که یک نسبت است

از ناحیه سلول های PV به ناحیه جمع آوری گرما، همانطور که توسط Ji و همکاران، [27] گزارش شده است،

چاو و همکاران، [28]، واتس و همکاران، [29]، رجب و همکاران، [30] و شیانگ و همکاران،

[31]. 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 [27]، 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 Afin ناحیه ای از صفحه آلومینیومی است باله ها. همانطور که در شکل ها نشان داده شده است. 1 تا 4، کلکتور رفع فشار جوش بود.

به اندازه یک ماژول PV تجاری CIS تنظیم شده است. پنل خورشیدی CIS PV/T دارای ضریب بسته بندی 0.81 است. در مقابل، m-Si معمولی پنل خورشیدی PV/T دارای ضریب بسته بندی 0.68 است. در پنل خورشیدی PV/T که در بخش 3.1 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 3 نشان داده شده است، CIS PV/T جدید توسعه یافته است. پنل خورشیدی دارای 35 بلوک آلومینیومی است که به تخته پشتی 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:

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

در اینجا  $\Delta T = T_{out} - T_{in}$  اختلاف دما بین ورودی و دمای خروجی سیال انتقال حرارت در کندانسور  $\dot{m}$  است

سرعت جریان جرمی، و C ظرفیت گرمایی ایزوباریک آب است. آب با عبور از گرمای حدود 1 متری در کندانسور گرما را دوباره دریافت می کند.

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



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

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

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

در استانداردهای ژاپنی [32] JIS A4112، 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  $\eta_0$  و  $U$  مقادیر تعیین شده از رابطه خطی هستند.  $\eta_h$  در برابر  $(T_m - T_a)/G$  به عنوان  $\gamma$ -برق و گرادیان اندازه گیری شد، به ترتیب. در معادله (6)، مقادیر متوسط برای پنج دقیقه، که برآورده کردن (الف) میانگین تابش حداقل بیشتر از  $W \cdot m^{-2} \cdot 630$  در 5 است. دقیقه، و حداکثر انحراف از  $W \cdot m^{-2} \cdot 50$  تجاوز نمی کند. (ب) بیشترین انحراف از میانگین دمای ورودی در 5 دقیقه وجود ندارد بیش از  $1^\circ 0.5$ ، استفاده شد.

تحلیل عدم قطعیت

راندمان جمع آوری گرما  $\eta_h$  و راندمان تولید برق  $\eta_e$  برای ارزیابی عملکرد پانل PV/T استفاده می شود. عدم قطعیت  $\delta y$  به شرح زیر است [33].

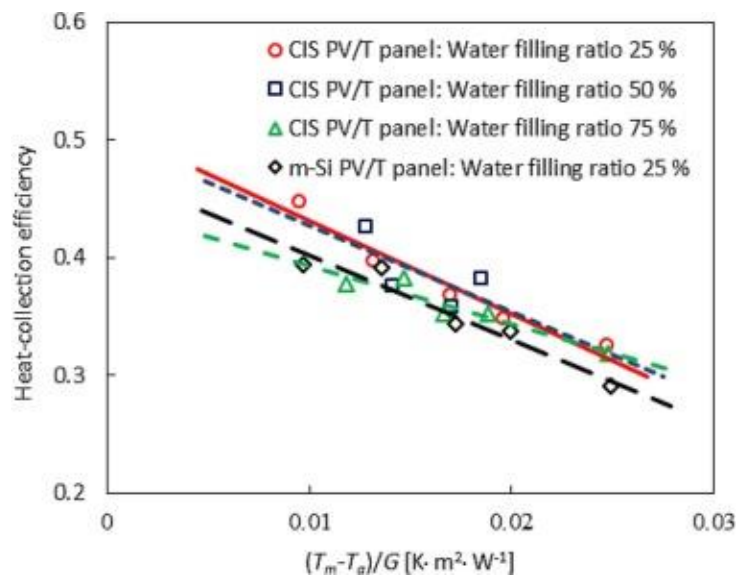
$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

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

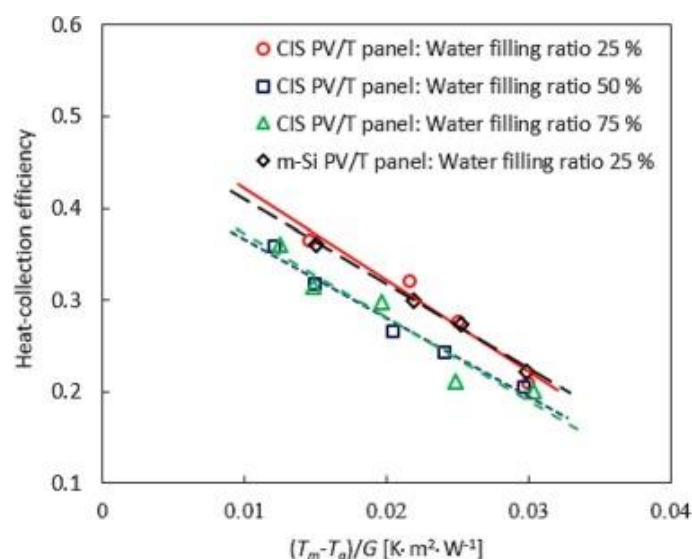
که در آن  $\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_n$  عدم قطعیت مقادیر اندازه گیری شده هستند. جدول 2 عدم قطعیت دستگاه های نظارتی را در گذشته نشان می دهد. آزمایشات عدم قطعیت های جمع آوری گرما و توان بازده تولید برای هر آزمایش محاسبه می شود. تمام آزمایشات در دانشگاه کیو، یوکوهاما انجام شد.

جدول (2) عدم قطعیت دستگاه های نظارتی

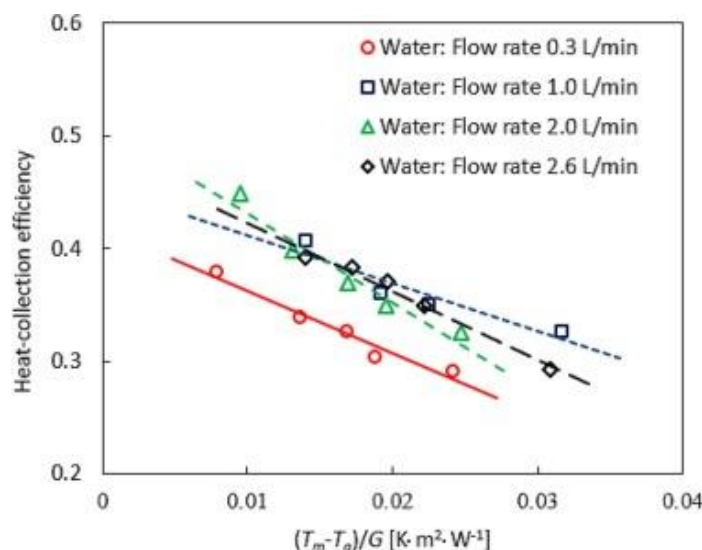
Device	Manufacturer	Specification	Uncertainty
Pyranometer	EKO	MS-402	$\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Water flow-meter	KEYENCE	FD-M5AY	$\pm 3.5 \%$
Photovoltaic controller	Namikoshi Electronics	PV-757	$\pm 3.0 \%$
Platinum resistance thermometer	CHINO	PT-100	$\pm 0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$



شکل 5. 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 6. راندمان جمع آوری گرما در زمستان در دماهای کاهش یافته مختلف  $(T_m - T_a)/G$  برای حجم های مختلف پر کردن آب در پانل های PV/T



شکل 7. راندمان جمع آوری گرما در تابستان در نرخ های جریان مختلف گرما انتقال آب سیال با نسبت حجمی پر شدن 25 درصد.

ژاپن، 36° شمالی، 139° شرقی. پنل های خورشیدی PV/T با رو به جنوب تنظیم شدند.

جهت و زاویه شیب 30°، مشخصات دستگاه های مانیتورینگ و نمودار شماتیک تنظیمات آزمایشی در شرح داده شده است. تراشیمما و همکاران، [20].

#### 4- نتایج تجربی

نسبت حجم پر کردن سیال کار

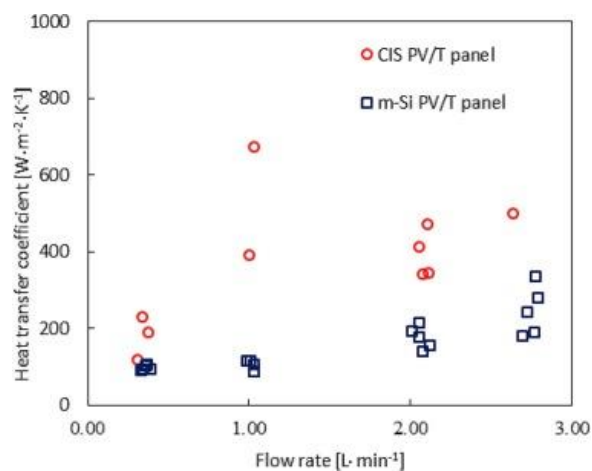
راندمان جمع آوری گرما پنل خورشیدی PV/T با متفاوت است حجم پر کردن آب به عنوان سیال کار به صورت تجربی بود. مورد بررسی قرار گرفت. شکل 5 داده های تابستانی 13/8 (13 آگوست) و 8/8 را نشان می دهد. 26، و شکل 6 داده های زمستانی را در 16/12، 17/12، و 18/12 نشان می دهد.

بهترین راندمان جمع آوری گرما شرایط حجم پر کردن نسبت های 25، 50 و 75 درصد برای پنل CIS PV/T بود. حجم پر کردن نسبت با اندازه گیری حجم آب در پنل PV/T به تعریف می شود.

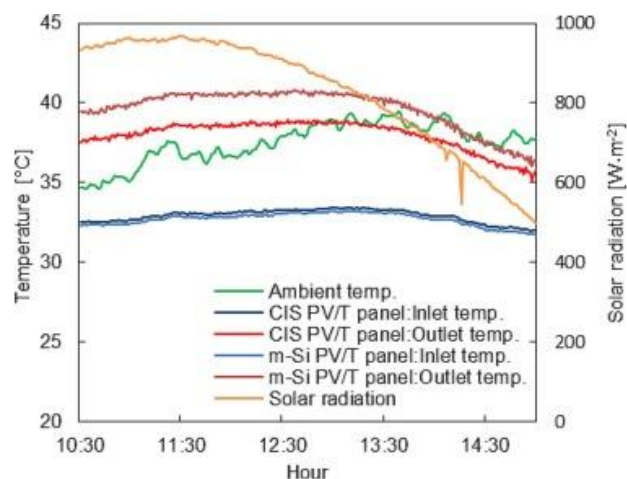
حجم آبی که پنل را پر می کند. داده های پنل CIS PV/T در نسبت حجم پر و پنل m-Si PV/T در 25 درصد حجم پر شدن نسبت، بهترین نسبت حجم پرکننده گزارش شده در [20]، در مقایسه شده است.

انجیر. 5 و 6. این داده ها نیز در جدول A1 فهرست شده اند. راندمان جمع آوری گرما پنل های CIS و m-Si PV/T در 25. نسبت حجم پر شدن درصد بیشترین راندمان جمع آوری گرما را دارد که این است همان نتیجه [20] 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

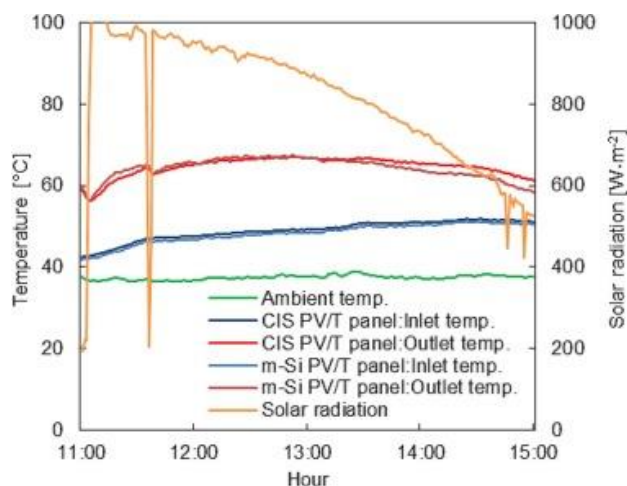
باعث الف کاهش سطح تابش مستقیم خورشیدی در جمع آوری گرما باله ها که به راحتی در زمستان تحت تأثیر قرار می گیرند.



شکل 8. ضرایب انتقال حرارت در دبی های مختلف سیال انتقال حرارت آب با نسبت حجمی پر شدن 25 درصد.



شکل 9. دمای آب سیال انتقال حرارت ورودی و خروجی در پانل های PV/T در حدود 1.2 L.min در سرعت جریان در 4 سپتامبر.



شکل 10. دمای آب سیال انتقال حرارت ورودی و خروجی در PV/T پانل ها با سرعت جریان 0.3 L.min در 30 آگوست.

## 5- سرعت جریان سیال انتقال حرارت

شکل 7 کارایی جمع آوری حرارت پانل PV/T CIS را نشان می دهد با 25 درصد پر کردن نسبت حجمی آب در دبی های مختلف گرما انتقال سیال در کندانسور در 14/8، 19/8، 21/8 و 26/8 که همچنین در جدول A1 ذکر شده است. راندمان جمع آوری گرما تقریباً یکسان بود هنگام کنترل نرخ جریان بین 1.0 و 1.26 L·min. پاريسون، راندمان جمع آوری حرارت کمتر در 0.3 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 1.26 L·min حتی در تابستان، باعث می شود کنترل سرعت جریان برای به دست آوردن دمای مورد نظر آب گرم آسان تر است بین 40 تا 60 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  $\Delta T_m$  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 A2 نشان داده شده است.

شکل 8 ضرایب انتقال حرارت کندانسور را در نرخ های جریان آب مختلف نشان می دهد. همانطور که در شکل 8 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 1.26 L·min، میانگین ضریب انتقال حرارت پانل PV/T m-Si برابر است با 181 W·m<sup>2</sup>·K. از سوی دیگر، پانل PV/T CIS 436 W·m<sup>2</sup>·K1 است که 2.4 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. 3.3 عملکرد پنل خورشیدی PV/T اندازه گیری عملکرد پانل PV/T CIS و پانل PV/T m-Si در دمای خروجی 60 درجه سانتیگراد و دمای خروجی 40 درجه سانتیگراد به ترتیب در 30 آگوست و 4 سپتامبر 2020 انجام شد. میانگین روزانه داده ها در جدول A3 آمده است.

حداکثر غیر اطمینان از راندمان جمع آوری گرما و تولید برق 30 آگوست برابر با 0.157 و 0.0131 هستند و در 4 سپتامبر 0.0456 و 0.00854. در 30 آگوست، تابش خورشید کاهش یافت به طور قابل توجهی برای یک لحظه، و عدم قطعیت در آن زمان بزرگ بود. انجیر. 9 و 10 تابش خورشید، دمای محیط، و دمای ورودی و خروجی آب سیال انتقال حرارت در دبی های مختلف. دمای خروجی آب حدود 40 درجه سانتیگراد بود. پانل توسعه یافته می تواند دمای خروجی را از 40 C° تا 60 C° با کنترل نرخ جریان سیال انتقال حرارت کنترل کند.

## 6- نتیجه گیری

یک پنل خورشیدی کاربردی PV/T ساخته شده است که می تواند آب گرم بین 40 درجه سانتیگراد تا 60 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.

1. یک پنل خورشیدی PV/T از کلکتور حرارتی در حال جوش زدایی و ماژول PV مس-اینیدیوم-سلنیوم (CIS) استفاده می کند. تمام اجزای پانل PV/T در جعبه پنل ساخته شده است که تقریباً یکسان است منطقه به عنوان یک پانل PV. این پنل دارای توان مصرفی پمپ کمی است و از دست دادن حرارت به دلیل عبور کوتاه آن برای سیال انتقال حرارت. 2. پانل توسعه یافته 73.5 درصد از انرژی خورشیدی را در حدود 40 °C منبع آب گرم تبدیل می کند. راندمان تولید برق 13.0 درصد و راندمان جمع آوری حرارت 60.5 درصد است. پانل توسعه یافته سرکوب می کند تابش گرما به محیط در حدود 40 درجه سانتیگراد در همان روز، که حداقل 20 درجه سانتیگراد کمتر از دمای تابش است.

پانل های خورشیدی PV معمولی

3. پانل توسعه یافته 45.9 درصد از انرژی خورشیدی را در حدود 60 °C منبع آب گرم تبدیل می کند. راندمان تولید برق 12.0 درصد و راندمان جمع آوری حرارت 33.9 درصد است. پانل توسعه یافته سرکوب می کند تابش گرما به محیط در حدود 50 درجه سانتیگراد حتی در دمای بالا

شرایط تامین آب دمایی

4. راندمان عملی پنل خورشیدی PV/T بالاتر از راندمان پنل خورشیدی است پنل خورشیدی PV/T در سال 2020 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 پانل های خورشیدی و پانل 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.



## منابع

- [1] 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* 6 (2016)
- [2] B.R. Burg, P. Ruch, S. Paredes, B. Michel, Effects of radiative forcing of building integrated photovoltaic systems in different urban climates, *Sol. Energy* 147 (2017) 405–399
- [3] M.C. Brito, Assessing the Impact of Photovoltaics on Rooftops and Facades in the Urban Micro-Climate, *Energies* 13 (11) (2020), Article ID 2717,
- [4] IEA, Energy Efficiency Indicators: Overview, IEA energy end use and efficiency trends (2021)
- [5] 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.* 20 (3) (2017) 833–858.
- [6] 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.* 45 (2021) 101151.
- [7] 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.* 182 (2021) 116081.
- [8] 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 174 (2018) 186–398
- [9] N. Kuniyoshi, A. Takatsuka, H. Sato, M. Kojima, Possibility of ejector cycle for cooling in SDGs, *Proceedings of the International Workshop on Environmental Engineering* (2019), Okinawa, 25–28 June 2019, JSME, 199–200.
- [10] S.B. Riffat, E. Cuce, A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, *International Journal of Low-Carbon Technologies* 6 (3) (2011) 212–241,
- [11] 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.* 81 (2018) 473–492, rser.2017.08.013.
- [12] 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* 43 (12) (2011) 3567–3558
- [13] P. Gang, F. Huide, Z. Huijuan, J. Jie, Performance study and parametric analysis of a novel heat pipe PV/T system, *Energy* 37 (1) (2012) 384–395.
- [14] H. Jouhara, J. Milko, J. Danielewicz, M.A. Sayegh, M. Szulgowska-Zgrzywa, 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* 108 (2016) 148–154.
- [15] H. Chen, L. Zhang, P. Jie, Y. Xiong, P. Xu, H. Zhai, Performance 190 (2017) 960–980.
- [16] 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* 2006–708 (2017) 722
- [17] 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.* (2019) 162 . 114318
- [18] 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.* 135 (2021) 110254.

- [19] 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*–233 (2019) 143–242.
- [20] K. Terashima, H. Sato, T. Ikaga, Development of an environmentally friendly PV/T solar panel, *Sol. Energy* 199 (2020) 510–520.
- [21] 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* (2) 48, 70–61 (2022) in Japanese.
- [22] 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.* 19 (2013) 255–274.
- [23] 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* 157 (2017) 587–595.
- [24] N.E.I. Boukourt, S. Patane, Y.M. Abdulraheem, Numerical investigation of CIGS thin-film solar cells, *Sol. Energy* 204 (2020) 440–447.
- [25] B. Agrawal, G.N. Tiwari, Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems, *Energ. Buildings* 42 (9) (2010) 1472–1481.
- [26] R.K. Mishra, G.N. Tiwari, Energy matrices analyses of hybrid photovoltaic thermal (HPVT) water collector with different PV technology, *Sol. Energy* 91 (2013) 173–161.
- [27] 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* 38 (12) (2006) 1380–1387.
- [28] 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* 86–310 (2009) (3) 316.
- [29] 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* 53 (2012) 159–165.
- [30] O. Rejeb, H. Dhaou, A. Jemni, A numerical investigation of a photovoltaic thermal (PV/T) collector, *Renew. Energy* 77 (2015) 43–50.
- [31] B. Xiang, Y. Yuan, Y. Ji, X. Cao, J. Zhou, Thermal and electrical performance of a novel photovoltaic-thermal road, *Sol. Energy* 199 (2020) 1–18.
- [32] JIS A 4112, 2020, <http://kikakurui.com/a4/A4112-2011-01.html> (accessed 2023 ;29/6/in Japanese).

## Solar panels for residential needs

Fardin Yazdan Panah Si Shekh <sup>1</sup>. Sina Salehi <sup>\*2</sup>

Department of Electrical and Computer Engineering, Technical and Vocational University of the province, Kohgluyeh and Boyer-Ahmad, Yasouj, Iran.

Bachelor's student, Power Electronics, Yasouj Technical Vocational University  
Fyazdanpanah14@gmail.com<sup>1</sup> Sinasalehi.917816@gmail.com<sup>2</sup>

**Abstract\_** The practical efficiency of commercial m-Si and CIS PV modules measured in reality by our group was less than 15% due to the higher temperature of the PV modules, and the rest is more than 85% of the exhaust solar energy. Environmental Heating It was previously reported in 2020 that the principle of an environmentally friendly PV/T (photovoltaic/thermal) solar panel using m-Si PV module to use 71.3% of solar energy for electricity and 40°C water This panel was designed to confirm the principle, that is, it was an experimental PV/T solar panel. In this paper, a new environmentally friendly PV/T solar panel for use in BIPVT (photovoltaic) systems is presented. /integrated heating in the building) is proposed. The new panel uses a CIS PV module and all functions, including the heat exchanger using aluminum flat tubes, are housed in a panel box that is approximately the size of a simple CIS PV panel. PV/T Solar Panel Proposed 73.5 % of solar energy with 13.0% power generation efficiency and 60.5% heat collection efficiency in a 40°C hot water source in Yokohama, Japan. The efficiency is higher than the previous test panel. The proposed panel can also suppress heat radiation around 50°C even in the case of hot water of 60°C. The proposed PV/T solar panel can meet all residential thermal needs such as domestic hot water (DHW) and space heating or cooling using solar heat with less environmental heat load.

**Keywords:** Eco-friendly, global warming, PV/T panel CIS SDGs, solar heating, solar energy.