

## مطالعه تجربی تأثیر تابش خورشید بر عملکرد پنل فتوولتاییک در فصول تابستان و زمستان شهر تهران

در این تحقیق تأثیر تغییر فصل بر میزان تابش خورشید، درجه حرارت هوا، توان خروجی و دمای سطح پنل ها به صورت تجربی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته و از مفهوم جدیدی به نام دمای هوای خورشیدی به عنوان عامل تعیین کننده بر دمای صفحات پنل استفاده شده که در زمان وجود تابش نور خورشید بعنوان منبع گرمایش و در صورت عدم وجود تشعشع بعنوان منبع سرماایش عمل نموده و باعث تغییرات درجه حرارت سطح پنل می گردد. میزان تابش خورشید ۷۰٪ و میزان توان خروجی از پنل ۵۰٪ در تابستان بیشتر از زمستان است. درصد بالای رطوبت باعث جذب تشعشع خورشید و بالا رفتن دمای هوای خورشیدی می شود. در هر دو فصل بیشترین مقدار تابش و دمای سطح پنل در ساعت ۱۳ اتفاق می افتد. عدم قطعیت و خطای اندازه گیری تجهیزات نیز محاسبه گردید که در محدوده (۷,۹۱٪ - ۷,۶۹٪) می باشد.

حسین سلیمی<sup>۱</sup>

دانشجوی دکترا

آرش میرعبداله لواسانی<sup>۲</sup>

دانشیار

حسین احمدی دانش

آشتیانی<sup>۳</sup>

استادیار

رضا فضایی<sup>۴</sup>

استادیار

واژه های راهنما: پنل فتوولتاییک، درجه حرارت هوا، دمای هوای خورشیدی، تابش خورشید، درجه حرارت پنل

### ۱- مقدمه

پنل فتوولتاییک وسیله ای است که مستقیماً نور خورشید را به برق تبدیل می کند و معمولاً به عنوان سلول خورشیدی شناخته می شود. با توجه به روند تغییر و تحولات وضعیت اقتصادی و انرژی در جهان و به خصوص در منطقه خاورمیانه، استفاده از انرژی خورشیدی امری ضروری برای آینده وضعیت اقتصادی و انرژی کشورهای این منطقه می باشد. بنابراین رواج سیستم های برق خورشیدی در ایران برای تأمین انرژی در آینده امری لازم می باشد. یکی از محدودیت های سیستم های برق خورشیدی، وابستگی زیاد به شرایط محیطی و آب و هوایی منطقه می باشد. عوامل مختلفی بر کارایی و عملکرد این سیستم ها مؤثر هستند که می توانند بر میزان و چگونگی دریافت انرژی خورشیدی تأثیر گذار باشند.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران st\_h\_salimi@azad.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران arashlavasani@iauctb.ac.ir

<sup>۳</sup> نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

h\_a\_danesh@azad.ac.ir

<sup>۴</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران r\_fazaeli@azad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۱۹، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۵

به‌طور کلی طراحی مناسب و صحیح یک سیستم فتوولتاییک، می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌ها، راندمان سیستم را نیز افزایش بدهد. همچنین مطالعات زیادی برای تخمین میزان توان تولیدی پنل از طریق داده‌های هواشناسی مانند دمای هوا، سرعت باد، شدت تابش خورشید و رطوبت نسبی محیط انجام شده است که با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی می‌توان میزان کاهش توان خروجی را قبل از احداث نیروگاه در منطقه مورد نظر پیش‌بینی نمود [۱]. تابش خورشید بر سطح سلول فتوولتاییک را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد، بخشی از آن برای تولید برق از صفحات فتوولتاییک مورداستفاده قرار می‌گیرد و بخش دیگر آن صرف افزایش دمای سطح پنل می‌گردد [۲]. تمام تحقیقات نشان می‌دهد که در اثر افزایش شدت تابش خورشیدی [۳]. با توجه به اینکه شرایط آب‌وهوایی و اقلیمی در نقاط مختلف جهان متفاوت می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد سیستم‌های فتوولتاییک و توان خروجی آن در مکان‌های مختلف متفاوت باشد و عملکرد یکسانی نداشته باشد [۴]. عوامل زیادی بر بازده تبدیل انرژی تابشی خورشیدی به تولید برق تأثیر می‌گذارند به‌عبارت‌دیگر بازده سلول خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از جمله بازتاب نور از سطح سلول و همچنین زاویه تابش خورشیدی بر سطح آن می‌توان نام برد [۵ و ۶]. عامل دیگری که بر روی توان خروجی سیستم‌های فتوولتاییک تأثیر می‌گذارد طول موج تابش خورشیدی رسیده بر سطح پنل می‌باشد [۷ و ۸]. دمای سلول خورشیدی عامل تأثیر گذار دیگری است که خود به چند عامل دیگر از جمله دمای هوای محیط، شدت تابش خورشیدی و سرعت باد محلی بستگی دارد [۹ و ۱۰]. تمام این مطالعات اهمیت میزان تابش خورشیدی بر عملکرد و راندمان سلول‌های فتوولتاییک را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با در اختیار داشتن تابش خورشید، دمای هوا و سرعت باد محلی می‌توان ارزیابی نسبتاً دقیقی از عملکرد سیستم‌های فتوولتاییک برای یک منطقه داشت [۱۱]. سینگ و راویندرا [۱۲] در پژوهشی تأثیر دما در عملکرد ماژول‌های خورشیدی در محدوده از صفر تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد بررسی کردند.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دما جریان افزایش یافته و باعث کاهش ولتاژ پنل می‌گردد. رادزیمسکا [۱۴] تأثیر دما و طول موج تابش خورشیدی بر عملکرد سلول‌های فتوولتاییک را بررسی کرد. او با استفاده از یک صفحه مسی به عنوان یک چاه حرارتی، گرمای تولید شده توسط تابش خورشید را جذب و اندازه‌گیری کرد، نتایج کار ایشان نشان داد هنگامی که دمای سلول ۸۰ درجه سانتیگراد بالا می‌رود، قدرت سلول حدود ۰/۶۵ درصد کاهش می‌یابد. مک‌رایدز و همکاران [۱۵] تأثیر دما در فناوری‌های مختلف سیستم‌های فتوولتاییک، در قبرس را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تلفات نیرو وابسته به نوع سلول خورشیدی است. متوسط تلفات نیرو در اثر افزایش دما برای سلول سیلیکونی تک کریستالی ۰/۸٪ و برای سلول سیلیکون چند کریستالی ۰/۹٪ می‌باشد در حالی که فیلم‌های نازک و سایر فن‌آوری‌ها دارای افت انرژی ۰/۵٪ است. حسین‌الکاظم و همکاران [۱۶ و ۱۷] تأثیر تابش خورشیدی در سیستم‌های فتوولتاییک در کشور عمان را بررسی کردند. سیستم مورد نظر از لحاظ معیارهای فنی و اقتصادی مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفت.

نتایج آنها نشان می‌دهد با وجود تأثیرات منفی دمای زیاد بر توان خروجی سیستم‌های فتوولتاییک، سرمایه‌گذاری در ساخت و احداث چنین نیروگاهی مقرون به صرفه و دارای بازدهی می‌باشد، علت آن میزان بالای تابش خورشیدی در ساعات طولانی روز است که می‌تواند توان مورد نیاز نیروگاه را در عمان فراهم آورد.

واسل و همکاران [۱۸] در سال (۲۰۱۷) تلاش کردند تا اثر جهت باد را در یک سایت خورشیدی مستقر در انگلستان را بررسی کنند. نتایج آنها نشان داد، هنگامی که باد از جنوب باشد، تولید برق تا ۲۴ درصد افزایش خواهد داشت. این مطالعه از ایده ایجاد سیستم های فتوولتاییک در مناطقی که جهت باد غالب در جنوب قرار دارد استفاده می کرد. برای برآورد کارایی سیستم فتوولتاییک در اردن، حماد و همکاران [۱۹] در سال (۲۰۱۸) دو مدل رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی را بر اساس داده های تجربی برای یک مطالعه موردی تهیه کردند. نتایج عددی با نتیجه آزمایش حدود ۹۰٪ تطابق داشت. نتایج آنها نشان داد که افت کارایی تنها با در نظر گرفتن اثر رسوب گرد و غبار حاصل می گردد و برای مدل های رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰,۷۶۸٪ و ۰,۶۰۷٪ در روز بدست آمد. یوسف و همکاران [۲۰] در سال (۲۰۱۹) از چند جمله ای با درجه های ۲ تا ۴ برای پیش بینی تأثیر دما بر پنل های فتوولتاییک استفاده کردند. این مدل ها با داده های مختلف به دست آمده از آزمایشات در بازه زمانی بین (۱۹۹۱) تا (۲۰۱۵) حاصل شدند. نتایج آنها حاکی از تنوع غیر معنی داری از نتایج واقعی می باشد. سالاری و همکاران [۲۱] در سال (۲۰۱۹) تأثیر رسوب گردوغبار بر پنل ساده و پنل خنک کاری شده را بطور عددی بررسی کردند. در این تحقیق تمامی لایه های یک ماژول فتوولتاییک مونوکریستال برای هر دو سیستم شبیه سازی گردید و تأثیر پارامترهای شدت تابش خورشیدی، دمای محیط، دمای سرد ورودی و سرعت آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنها نشان می دهد که با افزایش چگالی گردوغبار بر روی سطح ماژول از صفر تا ۸ گرم بر مترمربع، راندمان پنل ساده ۲۶/۳۶ درصد و راندمان پنل خنک کاری شده ۲۶/۴۲ برای بخش الکتریکی و ۱۶/۱۱ درصد برای بخش حرارتی کاهش می یابد.

جولیوس و همکاران [۲۲] در سال (۲۰۱۹) بصورت آزمایشگاهی تأثیر گرد و غبار در شرایط آب و هوایی مختلف بر عملکرد ماژول های فتوولتاییک از جنس سیلیکون تک کریستال و سیلیکون آمورف را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که خواص نوری ذرات با شکل های مورب و زاویه دار بهتر از ذرات با شکل های کروی بوده و موجب می شود تا میزان تلفات کم تر باشد. گومز و همکاران [۲۳] در سال (۲۰۱۹) تأثیر اندازه ذرات گرد و غبار بر کارایی ماژول های فتوولتاییک در اژن ترکیه را پیش بینی کردند. در این تحقیق اثر گرد و غبار زغال سنگ در اندازه های متغیر در عملکرد ماژول های فتوولتاییک تحت شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی و آلودگی مصنوعی با توزیع یکنواخت ریزگرد زغال سنگ ایجاد و از اندازه و وزن مشخصی روی مدول های فتوولتاییک استفاده شد. برای هر اندازه گرد و غبار زغال سنگ سه وزن مختلف گرد و غبار زغال سنگ به کار رفت و به منظور پیش بینی توان خروجی ماژول از سیستم فازی استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده دارای دقت ۹۹ درصد می باشد و قابلیت خوبی در پیش بینی توان خروجی بر اساس وزن و اندازه ذرات گرد و غبار دارد. مصطفایی و همکاران [۲۴] در سال (۲۰۱۹) تأثیر رسوب گرد و غبار بر ماژول های فتوولتاییک در صحرای آفریقا را بررسی کردند.

هدف از این مطالعه بررسی کاهش عملکرد الکتریکی ناشی از تجمع گرد و غبار شن بر روی سطح ماژول فتوولتاییک نصب شده در منطقه جنوب صحرای الجزایر بود. برای این منظور، چهار ماژول انتخاب شدند و ویژگی های ولتاژ و جریان آن ها برای ارزیابی اثر گرد و غبار ماسه در عملکرد آن ها اندازه گیری شد. نتایج آنها نشان می دهد که تجمع ذرات گردوغبار بر روی سطح ماژول، باعث کاهش عملکرد آن شده و رها کردن

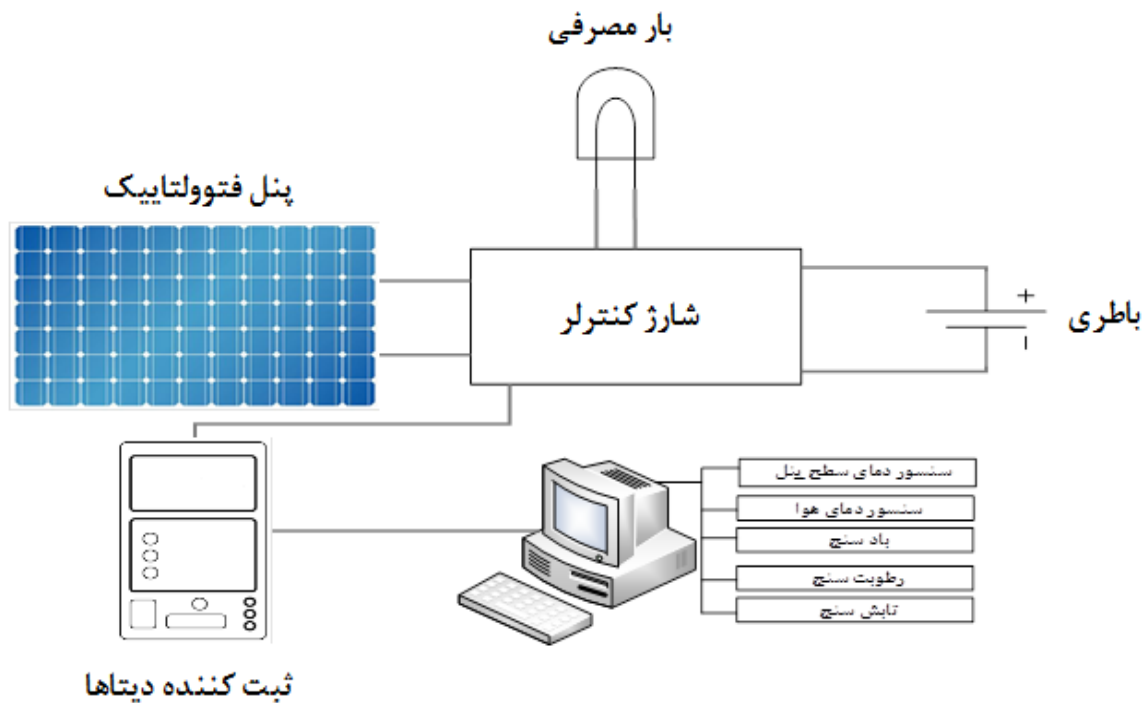
ماژول فتوولتاییک بدون هیچ گونه تمیزکاری در شرایط محیطی صحرا به طور قابل توجهی توان خروجی ماژول را کاهش می‌دهد. در عمان یوسف و همکاران [۲۵] در سال (۲۰۱۹) رفتار شرایط آب و هوایی بر روی پنلهای فتوولتاییک را بررسی کردند. برای به دست آوردن مشخصه رفتاری درجه حرارت هوا، رطوبت، سرعت باد و جهت آن و تابش دریافت شده، منحنی‌های درجه چندم با تقریب بسیار بالا ترسیم نموده، تا بتوانند ضربات حاصله از این مؤلفه‌های آب‌وهوایی را بر عملکرد پنل‌های فتوولتاییک ترسیم نمایند.

قوش و همکاران [۲۶] در سال (۲۰۱۹) در یک مطالعه مروری کلیه عوامل موثر بر عملکرد پنلهای فتوولتاییک را بررسی کردند و میزان تاثیر و تداخل عوامل موثر در این مطالعه را سنجیده و ارزیابی نمودند. این عوامل شامل طول موج تابش رسیده، تابش مایل، رطوبت نسبی، درجه حرارت هوا، آلودگی هوای محیط، سرعت باد و جهت آن، الگوی بارش باران و شدت آن، مختصات فیزیکی غبار در مناطق مورد مطالعه، سایه اندازی بر روی پنلها بر اثر وجود ابرها و حرکت آنها بود. احمد امینی و همکاران [۲۷] در سال (۲۰۱۹) یک مطالعه تجربی تاثیرات غبار و عوامل محیطی بر روی عملکرد پنلهای فتوولتاییک در شهر شارجه امارات متحده انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که یک ارتباط خطی بین افت قدرت پنلهای فتوولتاییک و میزان غبار نشسته بر روی پنل وجود دارد، بنحوی که بازا یک گرم بر متر مربع غبار نشسته بر روی پنل، ۱/۷٪ افت قدرت در پنلهای فتوولتاییک به وجود می‌آید. هم چنین نشست غبار، تابعی از زاویه شیب پنل است که در زوایای صفر ۲۵ و ۴۵ درجه شیب پنل به ترتیب دارای ۳۷/۶۳٪ و ۱۴/۱۱٪ و ۱۰/۹۵٪ نسبت به یک پنل تمیز افت قدرت داشته و هنگامی که نشست غبار به ۵/۴۴ گرم بر مترمربع می‌رسد، حدود ۱۲/۷٪ افت قدرت دارد. اولوفسون و همکاران [۳۱] به ارایه روشی برای اندازه گیری دمای هوا توسط متغیر دمای هوای خورشیدی پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد که دمای هوای اندازه گیری شده برای دوره های مختلف زمانی و بدون تابش خورشیدی با استاندارد ISO 9869-1 مطابقت کامل دارد. تام و همکاران [۳۲] به بررسی دمای هوا و روشنایی روز با مجموعه های داده UKCP09 پرداخته و نشان دادند که تحقیق درخصوص دمای هوای خورشیدی تاثیر مهمی در طراحی و عملکرد ساختمان دارد. نتایج نشان داد که از ۱۰۰ درصد تابش خورشیدی بر سطح دیوار حدود ۳۷ درصد از آن پراکنده شده و در حدود ۱۳ درصد نیز در سایه قرار می‌گیرد، تابش باقیمانده که حدود ۵۰٪ می‌باشد صرف بالا بردن دمای هوای خورشیدی و در نتیجه گرم شدن دیوار می‌گردد. مصطفایی پور و همکاران [۳۳] به مطالعه راندمان انرژی برای خنک کردن ساختمانها در مناطق گرم و خشک با استفاده از دمای هوای خورشیدی و اثرات دمای زمین پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تابش خورشیدی متناوب باعث کاهش هدر رفت گرما از ساختمان می‌شود. همچنین هدر رفت گرما از ساختمان های زیر زمینی کمتر از ساختمان هایی است که در بالای زمین ساخته شده اند، این رفتار به این دلیل می‌باشد که نوسانات دمای خاک با عمق ساختمان کاهش می‌یابد. باتوجه به سابقه تحقیقات انجام شده و پتانسیل بالای شهر تهران در خصوص دریافت انرژی خورشیدی ( $\Delta kwh/m^2$ ) [۲۵]، در این مقاله تاثیر شدت تابش بر عملکرد سیستم‌های فتوولتاییک در شرایط آب و هوایی شهر تهران به روش تجربی بررسی گردید. در این تحقیق از مفهوم جدیدی به نام دمای هوای خورشیدی به عنوان عامل تعیین کننده بر دمای صفحات پنل استفاده شده و تاثیر تابش و دمای خورشیدی بر کاهش و افزایش دمای سطح پنل مورد بررسی

قرار گرفته است. شدت تابش و سایر پارامترهای آب و هوایی از قبیل درجه حرارت هوا، درجه حرارت پنل، رطوبت نسبی و سرعت باد در شهر تهران در بازه زمانی سال (۱۳۹۷) اندازه گیری و ثبت گردید.

## ۲- دستگاه های آزمایش و روش اندازه گیری

شکل شماتیک زیر نشان دهنده تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش تجربی می باشد. همانطور که در شکل مشخص است، تجهیزات این آزمایش شامل بادسنج، تابش سنج، رطوبت سنج، دماسنج، پنل فتوولتاییک، دیتا لاگر، شارژ کنترلر، باتری و تعدادی لامپ بعنوان بار مصرفی می باشد. پنل فتوولتاییک مونو کریستال در یک فضای باز، رو به جنوب نصب شده است. در جدول (۱) مشخصات و در شکل (۲) نمایی از پنل مشاهده می گردد.



شکل ۱- شماتیکی از مدار فتوولتاییک در مطالعه حاضر

جدول ۱- مشخصات پنل فتوولتاییک

راندمان پنل	۱۸٪
ماکزیمم توان خروجی	۴۰ وات
ولتاژ توان ماکزیمم	۱۷/۹ ولت
جریان توان ماکزیمم	۲/۲۳ آمپر
ولتاژ مدار باز	۲۲/۲ ولت
جریان اتصال کوتاه	۲/۳۹ آمپر
ابعاد پنل	۴۸۵×۶۷۶×۲۵ میلیمتر



شکل ۲- نمایی از پنل فتوولتاییک

پنل فتوولتاییک در طول جغرافیایی ۵۱/۳۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵/۷۱ درجه در شهر تهران نصب شده است. همچنین معدل زاویه های نصب بهینه بدست آمده در چهار فصل سال برای این پنل برابر با ۳۵/۸۷ درجه می باشد. آزمایش و جمع آوری داده ها (توان خروجی پنل، میزان تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت نسبی، دمای هوا و دمای سطح پنل) در یک آزمایشگاه خورشیدی در تهران انجام گرفته است، کلیه تجهیزات به طور متوالی در حال کار بوده و دیتاهای اندازه گیری شده ثبت گردیدند.

پنل به شارژ کنترلر در یک سیستم مستقل از شبکه متصل بوده و داده های الکتریکی خروجی از شارژ کنترلر در شرایط حداکثر توان اندازه گیری و سپس در دیتا لاگر ثبت می گردند. دستگاه سنجش و ثبت داده های توان خورشیدی دارای سنسوری است که در بالای پایه پنل نصب شده و تابش خورشید را اندازه گیری و ثبت می نماید. دستگاه بادسنج، مقدار سرعت هوا را در محدوده ۱/۲ تا ۳۰ متر بر ثانیه اندازه گیری و ثبت می نماید. دستگاه سنجش درجه حرارت و رطوبت، رطوبت و دمای هوا را توسط سنسورهای داخلی و همچنین دمای سطح پنل را توسط سنسور خارجی (ترموکوپل) که به پشت پنل وصل شده است، اندازه گیری و ثبت نمودند. دو عدد باتری و به میزان لازم مقاومت در مدار نصب شد، تا مدار الکتریکی کامل شود. با توجه به اندازه گیری پارامترهای سرعت باد و رطوبت نسبی، تابش خورشید و درجه حرارت پنل و هوا، عدم قطعیت مربوط به آزمایش حاضر توسط رابطه زیر سنجیده شد [۲۸].

$$U = \sqrt{\{(U_{SP})^2 + (U_{TH})^2 + (U_C)^2 + (U_{WS})^2 + (U_{RH})^2\}} \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $U_{WS}$  عدم قطعیت در اندازه گیری سرعت باد و  $U_{RH}$  عدم قطعیت در اندازه گیری رطوبت نسبی،  $U_C$  عدم قطعیت در اندازه گیری تلفات کابل،  $U_{SP}$  عدم قطعیت در اندازه گیری تابش خورشیدی و  $U_{TH}$  عدم قطعیت در اندازه گیری دمای سطح پنل است. هر پنج پارامتر فوق مجموع خطای ثابت ناشی از دستگاه و خطای تصادفی می باشد.

$$U_i = \sqrt{\{(U_{i,f})^2 + (U_{i,r})^2\}} \quad (2)$$

در رابطه بالا  $U_{i,f}$  خطای ثابت در پارامتر  $i$  و  $U_{i,r}$  خطای تصادفی (ماکزیمم و مینیمم) در پارامتر  $i$  می باشد.

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $U_1$  و  $U_2$  مقادیر ماکزیمم و مینیمم عدم قطعیت با در نظر گرفتن شرایط خطای تصادفی می باشد. در جدول (۲) خطاهای مرتبط با هر پارامتر درج شده است. با توجه به جدول (۲)،  $U_{min}$  برابر با ۷/۶۹ درصد و  $U_{max}$  برابر با ۷/۹۱ درصد محاسبه گردید.

### ۳- راندمان پنل و درجه هوای خورشیدی

تابش خورشیدی و مساحت پنل نسبت معکوس با توان خروجی پنل فتوولتاییک دارند و افزایش و یا کاهش هر کدام توان خروجی پنل را تحت تاثیر قرار می دهد. بر روی تابش خورشیدی عوامل محیطی تاثیر گذار می باشند و باعث کاهش آن می گردند. راندمان پنل فتوولتاییک به کمک رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$\eta_n = \frac{P_n}{E \times A} \quad (4)$$

در رابطه فوق،  $P_n$  و  $E$  و  $A$  و  $\eta_n$  به ترتیب توان خروجی روزانه برحسب وات، شدت تابش خورشیدی بر حسب وات بر مترمربع، مساحت سطح پنل فتوولتاییک برحسب مترمربع و راندمان عملکرد پنل بر حسب درصد می باشد.

جدول ۲- خطای تجهیزات

متغیر	خطای ثابت	خطای تصادفی	مینیموم	U1	خطای تصادفی	U2
	%	%		%	%	%
WS [m.s <sup>-1</sup> ]	۳/۶±	>۱/۳		۳/۸۳	>۱/۶	۳/۹۴
RH [%]	۳±	>۱/۴		۳/۳۱	>۱/۹	۳/۵۵
SPM[W/m <sup>2</sup> ]	۵±	>۱/۱		۵/۱۲	>۱/۲	۵/۱۴
Cable Loss[%]	۱±	>۱/۱		۱/۴۸	>۱/۲	۱/۶۴
Th [C°]	۲±	>۱/۱		۲/۲۸	>۱/۲	۲/۳۳

از تابش خورشیدی و درجه حرارت محیط یک درجه حرارت جدید به نام درجه هوای خورشیدی حاصل می شود [۲۹] که نحوه محاسبه آن به صورت معادله (۵) می باشد.

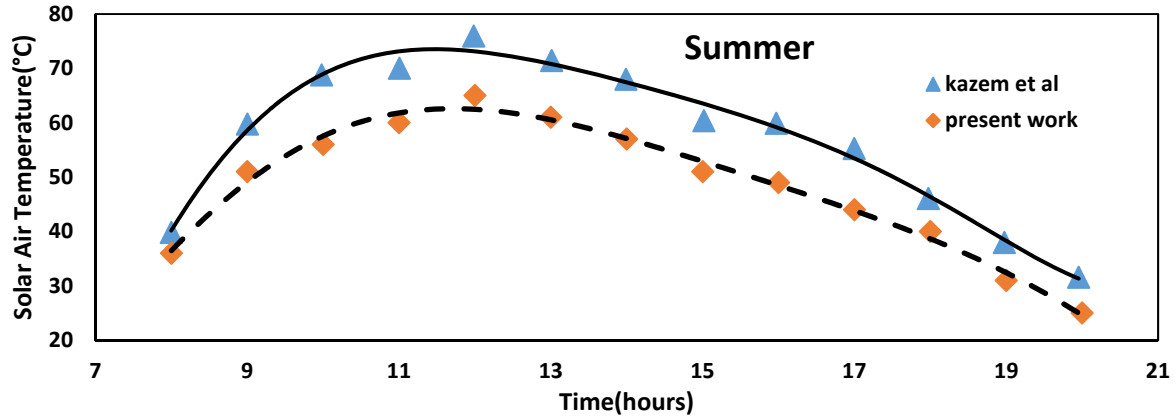
$$t_e = t_0 + \frac{\alpha I_t}{h_0} - \varepsilon \Delta R / h_0 \quad (5)$$

در رابطه فوق  $t_0$ ،  $h_0$ ،  $\alpha$  و  $I_t$  و  $\varepsilon \Delta R / h_0$  به ترتیب، درجه حرارت هوای محیط برحسب سانتیگراد، ضریب انتقال حرارت سطحی (معمولاً  $17 \text{ (w/m}^2\text{c}^\circ)$  در نظر گرفته می شود)، ضریب جذب سطحی پنل، کل تابش رسیده به سطح پنل، و ضریب تصحیح (برای سطوح افقی ۴ کلین و برای سطوح عمودی صفر در نظر گرفته می شود) است. از رابطه فوق مشهود است که درجه حرارت هوای خورشیدی برابر است با جمع درجه حرارت هوای محیط به اضافه تاثیر تشعشع جذب شده توسط پنل و منهای تاثیر تشعشع صادر شده به محیط اطراف و آسمان می باشد. در رابطه فوق  $I_t$  تابش رسیده به سطح پنل می باشد که برابر است با مجموع تابش مستقیم و تابش های پراکنده می باشد، همچنین  $\Delta R$  تفاضل بین تشعشع وارد شده به سطح پنل از آسمان و محیط و تشعشع صادر شده از سطح می باشد. دمای هوای خورشیدی متغیری است که به عنوان دمای هوای خارج تعریف می شود که در صورت عدم وجود تابش خورشیدی، تنها توزیع دما و سرعت انتقال گرما را از طریق یک سطح محاسبه می نماید. به طور کلی می توان دمای هوای خورشیدی را توزیع درجه حرارت روی یک سطح در فضای باز که می تواند همراه با تابش خورشیدی بر روی صفحه مورد نظر باشد تعریف نمود. بدون شک این مفهوم پیش بینی انتقال حرارت گذرا را در سطوح تسهیل می کند. در ضمن دمای هوای خورشیدی به عنوان یک خاصیت اقلیمی ذاتی قلمداد نمی گردد.

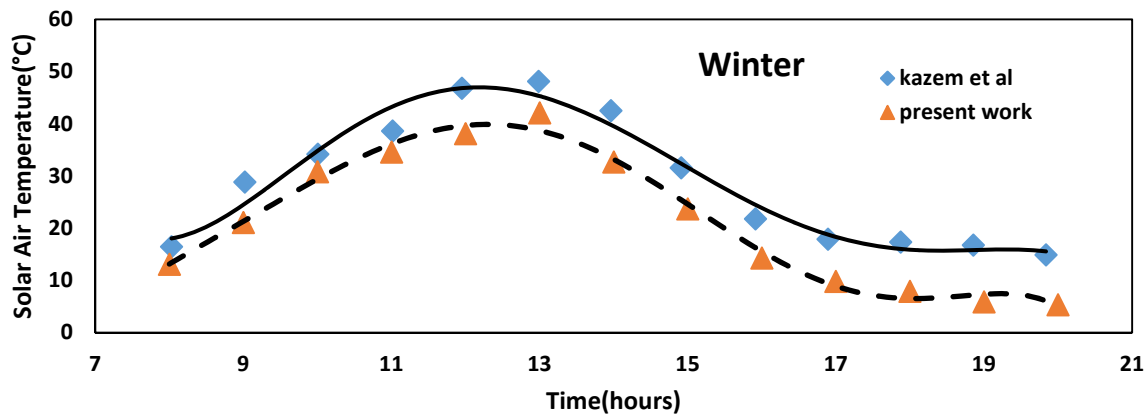
#### ۴- نتایج

کار حاضر، با کار حسین الکاظم مقایسه شده است [۳۰]. شکل های (۳) و (۴) نشان دهنده ی یک همگونی واضح و معقول بین نتایج بدست آمده، با نتایج الکاظم در تابستان و زمستان در خصوص دمای هوای خورشیدی می باشد. مشاهده می شود که اختلاف بین نتایج حدود ۲۰٪ است که می تواند مرتبط با مکان آزمایش و تابع میزان تابش و رطوبت محیط باشد، در شهر سهار عمان محدوده میزان رطوبت (۷۰٪-۹۰٪) و در تهران (۲۵٪-۵۰٪) می باشد. درصد بالای رطوبت باعث جذب تشعشع خورشید و بالا رفتن دمای هوای خورشیدی می شود که در شهر سهار این اتفاق می افتد و دمای خورشیدی به نسبت شهر تهران بالاتر می رود. در شکل های (۳) و (۴) شروع منحنی هر دو کار حاضر و کار حسین الکاظم یکسان بوده و پس از گذشت چند ساعت با توجه به اختلاف میزان تابش و رطوبت در تهران و سهار درجه حرارت ها اختلافی تا حدود ۱۵ درجه پیدا می کنند، که منطقی به نظر می رسد. بازه زمانی برای هر دو منحنی از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۲۰ می باشد. میزان ماکزیمم دما در تابستان حدود ساعت ۱۲ برای هر دو شهر و در زمستان ساعت ۱۳ برای هر دو شهر می باشد. مقایسه منحنی ها نشان دهنده تطابق قابل قبول و سیر تحولی یکسان بین کار حاضر و کار حسین الکاظم می باشد. این آزمایشات تجربی که در طول سال (۱۳۹۷) در شهر تهران انجام شده، به نتایج ذیل منتهی شده است.





شکل ۳- مقایسه کار حاضر با کار الکاظم در خصوص دمای هوای ناشی از تابش خورشیدی در تابستان

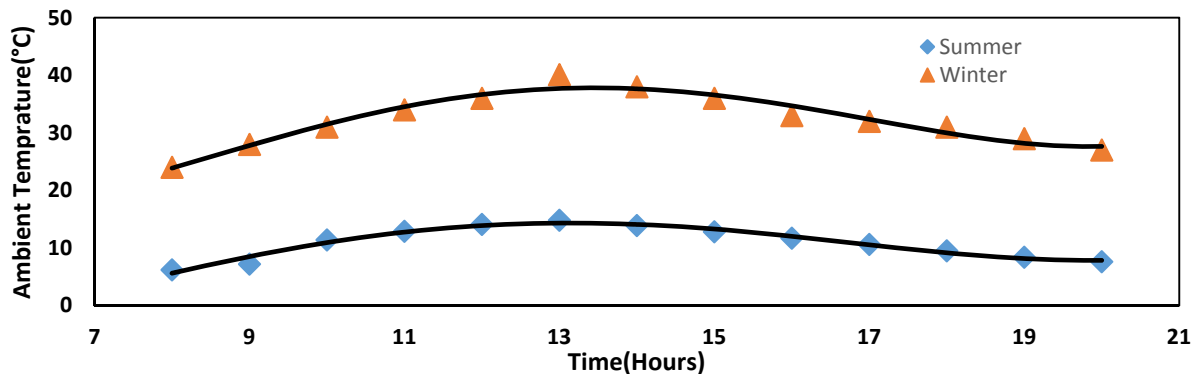


شکل ۴- مقایسه کار حاضر با کار الکاظم در خصوص دمای هوای ناشی از تابش خورشیدی در زمستان

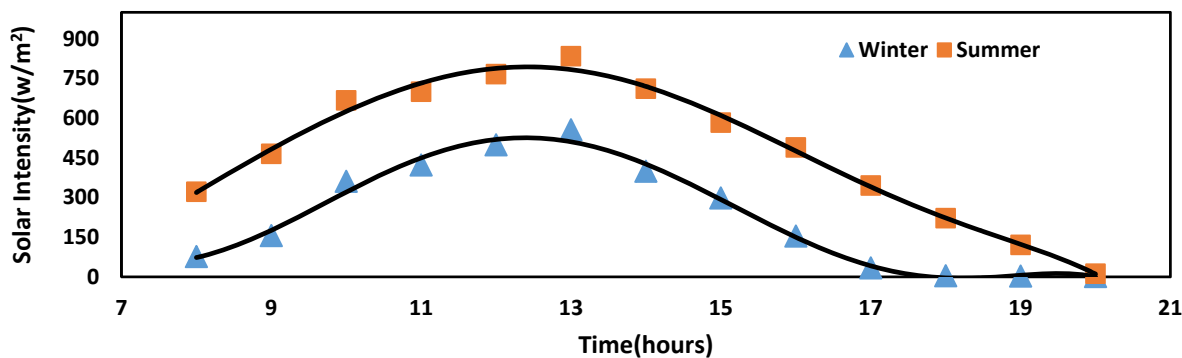
شکل (۵) نشان دهنده توزیع دمای محیط روزانه در زمستان و تابستان در شهر تهران می باشد. باتوجه به متفاوت بودن هوای منطقه تهران اختلاف درجه حرارت بین شب و روز در تابستان حدود ۱۸ درجه سانتیگراد می باشد. هم چنین اختلاف بین درجه حرارت ساعات مشابه در زمستان و تابستان نیز حدود ۲۰ درجه سانتیگراد می باشد.

این منحنی ها تفاوت معنی داری را بین شدت تابش خورشیدی در فصل تابستان و زمستان نشان می دهد. بیشترین مقدار درجه حرارت هوا در حدود ساعت ۱۳ در هر دو منحنی زمستان و تابستان اتفاق می افتد. در زمستان با توجه به پایین بودن میزان تابش در مقایسه با تابستان حداکثر اختلاف دما بین روز و شب در حدود ۱۰ درجه سانتیگراد می باشد. بیشترین مقدار دمای هوا در تابستان در حدود ۴۰ درجه سانتیگراد و در زمستان به حدود ۱۵ درجه سانتیگراد می رسد. با بررسی روند تغییرات هر دو منحنی دمای زمستان و تابستان، مشخص میگردد روند کاهش و افزایش دمای هوا با میزان تابش رسیده ارتباط خطی و بطور مشخص صعود و نزول مشابهی داشته و عامل اصلی و تاثیرگذار شدت تابش خورشیدی می باشد. سنجش زمانی نیز در بازه ۸ صبح تا ساعت ۲۰ شب می باشد.

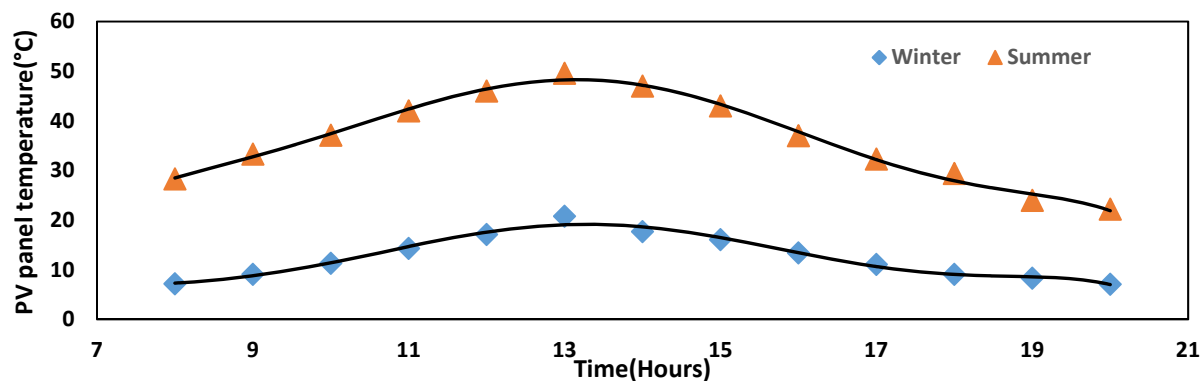
شکل (۶) توزیع میزان تابش در شهر تهران را بین ساعت ۸ صبح الی ساعت ۲۰ در دو فصل زمستان و تابستان نشان میدهد. بیشترین تابش در تابستان به حدود ۸۰۰ وات بر متر مربع میرسد، در حالی که در زمستان این مقدار به حدود ۵۰۰ وات میرسد و برای هر دو فصل در حدود ساعت ۱۳ اتفاق می افتد. دلایل این کاهش، کم شدن میزان تابش، بارندگی و ابری بودن آسمان می باشد. در تابستان میزان تابش نسبت به زمستان ۷۰٪ بیشتر می باشد. بیشترین میزان تابش در هر دو فصل در ساعت ۱۳ اتفاق می افتد. روند تغییرات در هر دو منحنی از یک رویه مشخص (میزان تابش رسیده) پیروی می نمایند.



شکل ۵- توزیع درجه حرارت هوای محیط در زمستان و تابستان



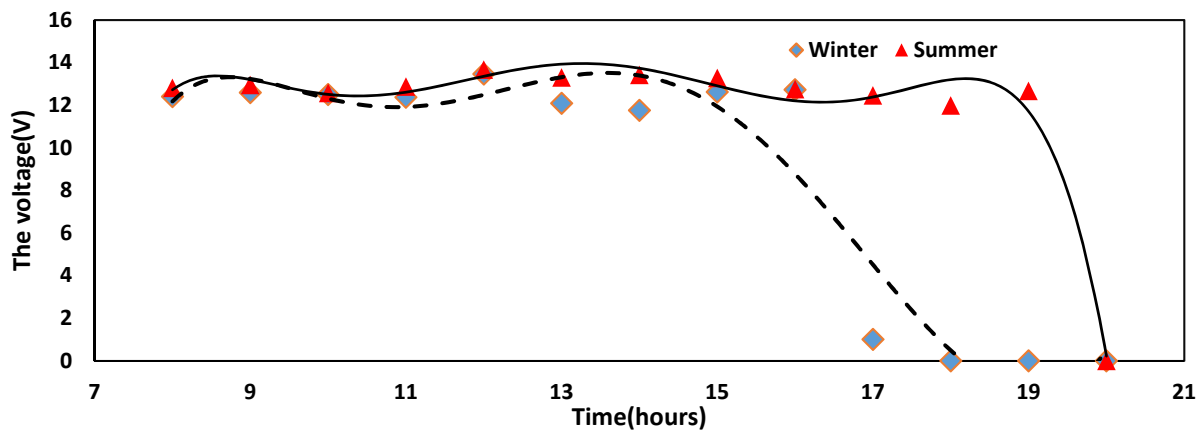
شکل ۶- توزیع میزان شدت تابش در زمستان و تابستان



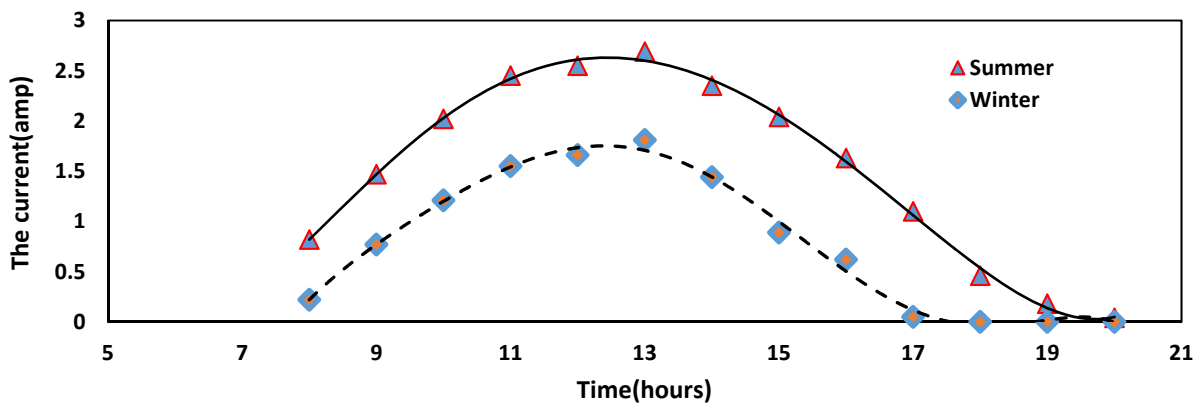
شکل ۷- توزیع میزان درجه حرارت پنل در زمستان و تابستان

شکل (۷) توزیع درجه حرارت سطح پنل در شهر تهران را بین ساعت ۸ صبح الی ساعت ۲۰ در دو فصل زمستان و تابستان نشان می دهد. با مقایسه منحنی های این شکل با شکل (۵) مشخص می شود که در تابستان درجه حرارت سطح پنل حدود ۱۰ درجه و در زمستان حدود ۵ درجه سانتیگراد افزایش نسبت به درجه حرارت هوای محیط دارند. این افزایش را می توان ناشی از تأثیر درجه حرارت خورشیدی دانست که بعنوان یک منبع گرم در مجاورت پنل عمل میکند و درجه حرارت آن را بالا می برد.

روند صعود و نزول منحنی ها مشخص و از میزان تابش رسیده پیروی می کنند. بیشترین دمای سطح پنل در زمستان و تابستان در حدود ساعت ۱۳ اتفاق می افتد که در این ساعت میزان تابش رسیده به سطح پنل بیشترین مقدار است. شکل (۸) بیانگر تغییرات ولتاژ خروجی از پنل در شرایط روز زمستانی و روز تابستانی می باشد. همانطوری که نشان داده می شود ولتاژ خروجی پنل در تابستان نسبت به زمستان بیشتر می باشد (به دلیل میزان تابش بالاتر)، اما این افزایش چشمگیر نبوده و در محاسبات و مقایسه تأثیر کمی دارد. با توجه به غروب خورشید در زمستان میزان ولتاژ خروجی در حدود ساعت ۱۷ کاهش زیادی یافته و به صفر نزدیک میشود، لذا با توجه به اینکه قدرت خروجی حاصل ضرب ولتاژ در جریان می باشد، توان خروجی نیز به صفر نزدیک می شود.

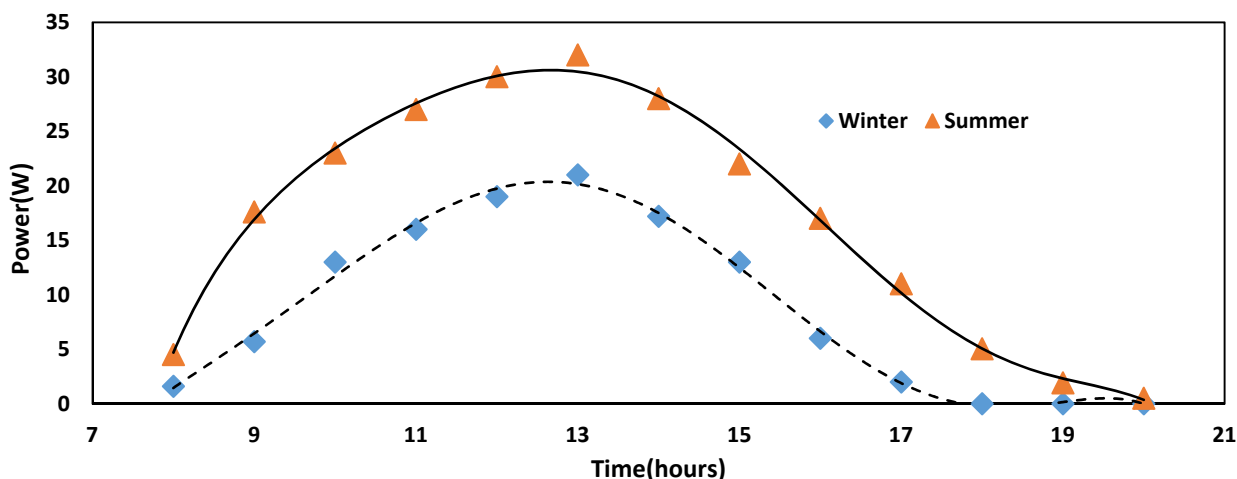


شکل ۸- توزیع میزان ولتاژ خروجی در زمستان و تابستان بر روی پنل

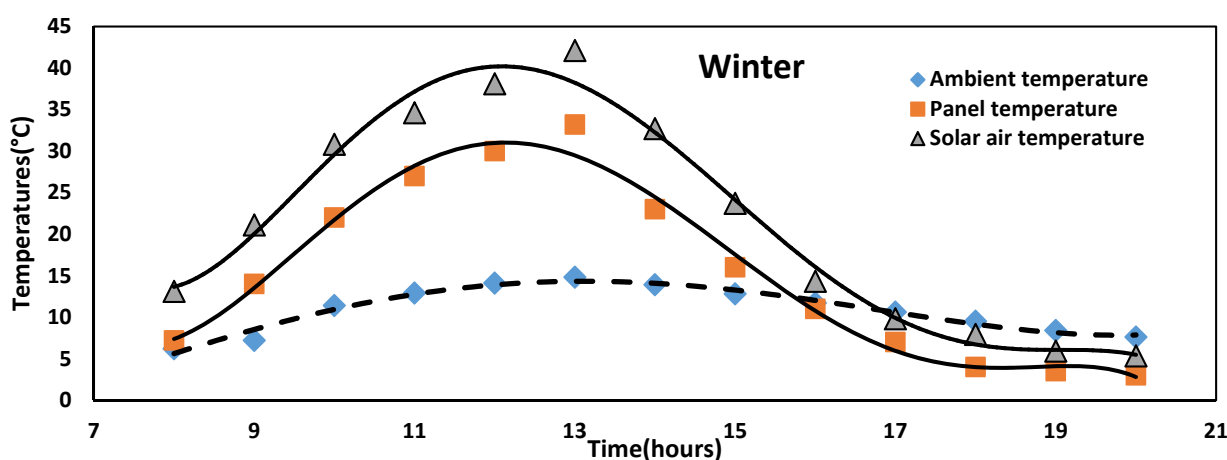


شکل ۹- توزیع میزان شدت جریان در زمستان و تابستان بر روی پنل

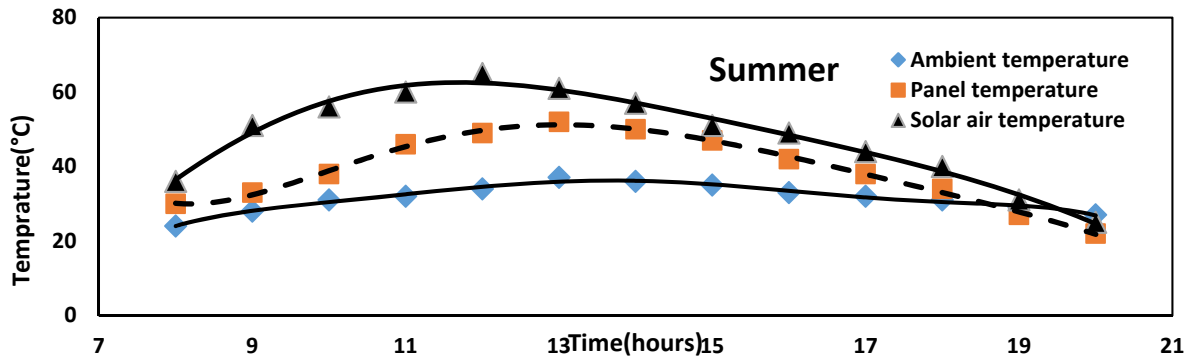
شکل (۹) بیانگر تغییرات شدت جریان خروجی از پنل در شرایط روز زمستانی و روز تابستانی می باشد. همان طوری که نشان داده می شود شدت جریان در تابستان (به علت تابش خورشیدی بالاتر) نسبت به زمستان بیشتر می باشد، و این افزایش چشمگیر بوده و در محاسبات تاثیر زیادی دارد. با توجه به غروب خورشید در زمستان میزان شدت جریان خروجی در حدود ساعت ۱۶ کاهش زیادی یافته و به صفر نزدیک می شود، لذا با توجه به اینکه قدرت خروجی حاصلضرب ولتاژ در جریان می باشد، توان خروجی نیز به صفر نزدیک می شود. نکته دیگر اینکه شدت جریان خروجی در زمستان و در تابستان در ساعت ۱۳ بیشترین مقدار خود را دارد. بنابراین پیش بینی می شود که توان خروجی نیز در تابستان بیشتر باشد چرا که توان خروجی، حاصل ضرب جریان در ولتاژ می باشد. با محاسبه مشخص میشود که بطور متوسط ۷۰٪ شدت جریان در تابستان بیشتر از زمستان بوده و در نتیجه توان خروجی نیز بالاتر می باشد. شکل (۱۰) نشان دهنده توزیع روزانه قدرت خروجی پنل در زمستان و تابستان می باشد. بیشترین توان خروجی در فصل تابستان می باشد. بیشترین مقدار توان حاصل شده در فصل زمستان و تابستان در ساعت ۱۳ اتفاق می افتد.



شکل ۱۰- توزیع میزان قدرت خروجی در زمستان و تابستان بر روی پنل



شکل ۱۱- توزیع دمای هوا، دمای سطح پنل و دمای هوای ناشی از تابش خورشیدی در زمستان



شکل ۱۲- توزیع دمای هوا، دمای سطح پنل و دمای هوای ناشی از تابش خورشیدی در تابستان

توان حاصل شده در تابستان حدود ۵۰٪ بیشتر نسبت به زمستان می باشد. و عامل اصلی و تاثیر گذار شدت تابش خورشیدی بوده و سنجش زمانی نیز در بازه ۸ صبح تا ساعت ۲۰ شب می باشد. در شکل های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب توزیع دمای هوا، دمای سطح پنل و دمای هوای اطراف پنل یا دمای هوای خورشیدی نشان داده شده است. همان طوری که در شکل (۱۱) مشاهده می شود در زمستان دمای سطح پنل تا ساعت ۱۴ بیشتر از دمای هوا می باشد. پس از آن دمای سطح پنل کمتر از دمای هوا می گردد. در حالی که در تابستان تا ساعت ۱۹ دمای سطح پنل بیشتر از دمای هوا است. یکی دیگر از پارامترهای تعیین کننده دمای سطح پنل، دمای هوای اطراف پنل می باشد گرما از مکانی با دمای بالاتر به دمای پایین تر منتقل می شود. این بدان معنی است که دمای هوای خورشیدی مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر دمای پنل و عملکرد آن می باشد. در تابستان اوج دمای هوای خورشیدی در ساعت ۱۲ اتفاق می افتد، این در حالی است که اوج دمای سطح پنل در ساعت ۱۳ اتفاق افتاده است. این تاخیر جذب حرارت توسط پنل تاخیر طبیعی نام دارد، زیرا پنل برای جذب حرارت هوای اطراف خود و انتقال آن به پشت پنل نیاز به زمان دارد. همچنین دماهای خورشیدی در زمستان به میزان ۴ ساعت و در تابستان یک ساعت، کمتر از دمای هوای محیط است که این موضوع دارای اثر خنک کنندگی بر روی سطح پنل می باشد. نتایج نشان می دهد دمای هوای خورشیدی از ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر در زمستان و در تابستان از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۷ بعد از ظهر به عنوان منبع گرمایش کار می کند و پس از زمانهای ذکر شده به عنوان منبع خنک کننده کار می کند.

## ۵- نتیجه گیری

استفاده از انرژی خورشیدی با بهره گیری از پنل های فتوولتاییک علاوه بر سازگاری با محیط زیست، هزینه تولید انرژی را کاهش می دهد. از آنجا که این ماژول های فتوولتاییک در معرض شرایط فضای باز قرار دارند، از شرایط آب و هوایی تاثیر زیادی می گیرند. مطالعه اخیر به منظور بررسی تاثیر تابش خورشیدی بر عملکرد پنل های فتوولتاییک در شهر تهران انجام شد. بدین منظور یک پنل فتوولتاییک به قدرت ۴۰W در یک فضای باز با زاویه بهینه ۳۵/۸ درجه، رو به جنوب نصب شد. نتایج نشان میدهد که میزان تابش باتوان خروجی از پنل و درجه حرارت سطح پنل وابستگی مستقیم دارد. اختلاف بین میزان تابش در زمستان و تابستان به میزان ۷۰٪ می باشد. میزان قدرت خروجی پنل در تابستان ۵۰٪ بیشتر از زمستان است.

در این مطالعه از مفهوم دمای هوای خورشیدی به عنوان تاثیر غالب بر دمای صفحات پنل استفاده شده و نتایج نشان می دهد دمای هوای خورشیدی از ۸ صبح تا ۴ بعدازظهر در زمستان و در تابستان تا ساعت ۷ بعدازظهر به عنوان منبع گرمایش کار می کند و پس از زمان های ذکرشده به عنوان منبع خنک کننده کار می کند.

عدم قطعیت و خطای اندازه گیری تجهیزات نیز محاسبه گردید که در محدوده (۰.۷،۶۹-۰.۷،۹۱) می باشد.

## مراجع

- [1] Kurtz, S.R., and Myers, D., Townsend, T., Whitaker, C., Maish, A., Hulstrom, R., and Emery, K., "Outdoor Rating Conditions for Photovoltaic Modules and Systems", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 62, pp. 379-391, (2000).
- [2] Chaichan, M.T., Kazem, H.A., Kazem, A.A., Abaas, K.I., and Al-Asadi, K.A.H., "The Effect of Environmental Conditions on Concentrated Solar System in Deserted Weathers", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 6, No. 5, pp. 850-856, (2015).
- [3] Kazem, H.A., Chaichan, M.T., Saif, S.A., Dawood, A.A., Salim, S.A., Rashid, A.A., and Alwaeli., A.A., "Experimental Investigation of Dust Type Effect on Photovoltaic Systems in North Region, Oman", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6, No. 7, pp. 293-298, (2015).
- [4] Singh., P., Singh, S.N., and Husain, M.L., "Temperature Dependence of I-V Characteristics and Performance Parameters of Silicon Solar Cell", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 92, pp. 1611-1616, (2008).
- [5] Jeng, M.J., Lee, Y.L., and Chang, L.B., "Temperature Dependences of InxGa1-xN Multiple Quantum Well Solar Cells", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, pp. 101-105, (2009).
- [6] Makrides, G., Zinsser, B., Georghiou, G.E., Schubert, M., and Werner, J.H., "Temperature Behavior of Different Photovoltaic Systems Installed in Cyprus and Germany", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1095-1099, (2009).
- [7] Chow, T.T., "A Review on Photovoltaic/Thermal Hybrid Solar Technology", *Journal of Applied Energy*, Vol. 87, No. 2, pp. 365-379, (2010).
- [8] Chakraborty, S., Sadhu, P.K., and Pal, N., "New Location Selection Criterions for Solar PV Power Plant", *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 4, No. 4, pp. 1020-1030, (2014).
- [9] Skoplaki, E., and Palyvos, J.A., "On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations", *Solar Energy Journal*, Vol. 85, No. 5, pp. 614-624, (2009).
- [10] Ndiaye, A., Charki, A., Kobi, C.M.F., Kebe, P.A., Ndiaye, and Sambou, V., "Degradations of Silicon Photovoltaic Modules: A Literature Review", *Solar Energy*, Vol. 96, pp. 140-151, (2013).

- [11] Chamoun, R., and Chakroun, W., "Cost-efficiency Study of BIPV Systems in Qatar Residential Houses", *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 571-579, (2014).
- [12] Singh, P., and Ravindra, N.M., "Temperature Dependence of Solar Cell Performance an Analysis", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 101, pp. 36-45, (2012).
- [13] Radziemska, E., "The Effect of Temperature on the Power Drop in Crystalline Silicon Solar Cells", *Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 1-12, (2003).
- [14] Makrides, G., Zinsser, B., Phinikarides, A., Schubert, M., and Georghiou, G.E., "Temperature and Thermal Annealing Effects on Different Photovoltaic Technologies", *Renewable Energy*, Vol. 43, pp. 407-417, (2012).
- [15] Kazem, H.A., and Khatib, T., "Techno-economical Assessment of Grid Connected Photovoltaic Power Systems Productivity in Oman", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 3, pp. 61-65, (2013).
- [16] Kazem, H.A., and Chaichan, M.T., "Effect of Humidity on Photovoltaic Performance Based on Experimental Study", *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, Vol. 10, No. 23, pp. 43572-43577, (2015).
- [17] Vasel, A., and Iakovidis, F., "The Effect of Wind Direction on the Performance of Solar PV Plants", *Energy Conversion and Management*, Vol. 153, pp. 455-461, (2017).
- [18] Hammad, B., Al-Abed, M., Al-Ghandoor, A., Al-Sardeah, A., and Al-Bashir, A., "Modeling and Analysis of Dust and Temperature Effects on Photovoltaic Systems Performance and Optimal Cleaning Frequency: Jordan Case Study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, pp. 2218-2234, (2018).
- [19] Yousif, J. H., Al-Balushi, H. A., Kazem, H. A., and Chaichan, M. T., "Analysis and Forecasting of Weather Conditions in Oman for Renewable Energy Applications", *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 13, pp. 100355, (2019).
- [20] Salari, A., and Hakkaki-Fard, A., "A Numerical Study of Dust Deposition Effects on Photovoltaic Modules and Photovoltaic-thermal Systems", *Renew Energy*, Vol. 135, pp. 437-449, May (2019).
- [21] Tanesab, J., Tanesab, J., Parlevliet, D., Whale, J., and Urmee, T., "The Effect of Dust with Different Morphologies on the Performance Degradation of Photovoltaic Modules", *Sustain Energy Technol. Assess.*, Vol. 31, pp. 347-354, (2019).
- [22] Gómez-Amo, J. L., Freile-Aranda, M. D., Camarasa, J., Estellés, V. Utrillas, M. P., and Martínez-Lozano, J. A., "Empirical Estimates of the Radiative Impact of an Unusually Extreme Dust and Wildfire Episode on the Performance of a Photovoltaic Plant in Western Mediterranean", *Appl. Energy*, Vol. 235, pp. 1226-1234, (2019).
- [23] Mostefaoui, M., Ziane, A., Bouraiou, A., and Khelifi, S., "Effect of Sand Dust Accumulation on Photovoltaic Performance in the Saharan Environment: Southern Algeria (Adrar)", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 26, No. 1, pp. 259-268, (2019).

- [24] Ghosh, S., Yadav, V. K., Mukherjee, V., "Impact of Environmental Factors on Photovoltaic Performance and their Mitigation Strategies—A Holistic Review", *Renewable Energy Focus*, Vol. 28, pp. 153-172, (2019).
- [25] Hachicha, A. A., Israa Al-Sawafta, and Zafar Said., "Impact of Dust on the Performance of Solar Photovoltaic (PV) Systems under 3 United Arab Emirates Weather Conditions", *Renewable Energy*, Vol. 141, pp. 287-297, (2019).
- [26] Solargis.com/Access 9/16/2019.
- [27] Moffat, R., "Contributions to the Theory of Single-sample Uncertainty Analysis", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 104, No. 2, pp. 250-258, (1982).
- [28] Chaichan, M.T., and Kazem, H.A., "Experimental Analysis of Solar Intensity on Photovoltaic in Hot and Humid Weather Conditions", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 7, No. 3, pp. 91-96, (2016).
- [29] Olofsson, T., KE Anders Ohlsson, and Ronny Östin, "Measurement of the Environmental Temperature using the Sol-air Thermometer", *Energy Procedia*, Vol. 132, pp. 357-362, (2017).
- [30] Tham, Y., and Muneer, T., "Sol-air Temperature and Daylight Illuminance Profiles for the UKCP09 Data Sets", *Building and Environment*, Vol. 46, No. 6, pp. 1243-1250, (2011).
- [31] Mostafaeipour, A., Goudarzi, H., Sedaghat, A., Jahangiri, M., Hadian, H., Rezaei, M., Golmohammadi, A.M., and Karimi, P., "Energy Efficiency for Cooling Buildings in Hot and Dry Regions using Sol-air Temperature and Ground Temperature Effects", *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 613-628, (2019).

### فهرست نمادهای انگلیسی

$t$	درجه حرارت محیط $^{\circ}\text{C}$
$h$	ضریب انتقال حرارت سطحی $\text{N/m}^2$
$I$	شدت تابش رسیده به سطح پنل $\text{w/m}^2$
$U$	عدم قطعیت
$\alpha$	ضریب جذب سطحی پنل
$\rho$	چگالی $\text{kg/m}^3$
SPM	تابش خورشیدی
RH	رطوبت
WS	سرعت باد
C	کابل
f	ثابت
r	تصادفی



**Abstract**

In this study, the effect of season change on the amount of sunlight, air temperature, power output and surface temperature of the panels has been studied experimentally in Tehran and a new concept called solar air temperature has been used as a determining factor on panel temperature. When there is sunlight, it acts as a heating source and in the absence of radiation, it acts as a cooling source, causing changes in the temperature of the panel surface.

The amount of sunlight is 70% and the output power of the panel is 50% more in summer than in winter. A high percentage of moisture absorbs the sun's rays and the sun's air temperature rises. In both seasons, the highest amount of radiation and panel surface temperature occurs at 13 o'clock. The measurement uncertainty and equipment measurement uncertainty were also found to be in the range (7.91% - 7.69%).