

## مطالعه اثر رطوبت و دمای محیط بر عملکرد پنل‌های فتوولتائیک

سید احمد حسینی<sup>۱</sup>، علی ماشاءاله کرمانی<sup>۲\*</sup>، اکبر عرب حسینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران

ahmad.hossiny2020@alumni.ut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران

amkermani@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

ahossieni@ut.ac.ir

چکیده: شرایط اقلیمی مختلف عملکرد پنل‌های فتوولتائیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق به بررسی اثر رطوبت و دمای محیط بر عملکرد دو نوع پنل خورشیدی فتوولتائیک (PV) رایج شامل پنل‌های سیلیکونی پلی کریستال و مونوکریستال در مقیاس آزمایشگاهی پرداخته شده است. برای این منظور دستگاه آزمایشگاهی آزمون عملکرد پنل خورشیدی به سامانه کنترل شرایط محیطی رطوبت و دما تجهیز گردید. آزمایش‌ها در چهار سطح دمای ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰°C و چهار سطح رطوبت نسبی ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصد انجام شد. منحنی‌های مشخصه I-V و P-V برای شرایط مختلف تعیین گردید. پارامترهای عملکردی شامل اختلاف پتانسیل مدار باز ( $V_{oc}$ )، شدت جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ )، توان بیشینه ( $P_{max}$ )، اختلاف پتانسیل بیشینه ( $V_{max}$ )، شدت جریان بیشینه ( $I_{max}$ ) و درصد کاهش توان خروجی بود. نتایج نشان داد که رطوبت و دما بر همه پارامترهای عملکردی مؤثر بود. افزایش دما موجب کاهش همه پارامترهای عملکردی برای هر دو نوع پنل شد. افزایش رطوبت نسبی از ۳۰ تا ۴۵ درصد موجب افزایش پارامترهای عملکردی و از ۴۵ تا ۷۵ درصد کاهش پارامترهای عملکردی شد. به طور کلی، در سطوح مختلف رطوبت و دمای مورد بررسی کاهش توان خروجی پنل مونوکریستال و پلی کریستال نسبت به شرایط شاهد به ترتیب از ۳/۰۲ درصد تا ۲۶/۵۵ درصد و از ۳/۰۷ درصد تا ۲۷/۱۴ درصد کاهش توان خروجی یافت.

واژه‌های کلیدی: پنل خورشیدی، سلول خورشیدی سیلیکونی، فتوولتائیک، عملکرد، رطوبت نسبی، دمای محیط.

است [۸].

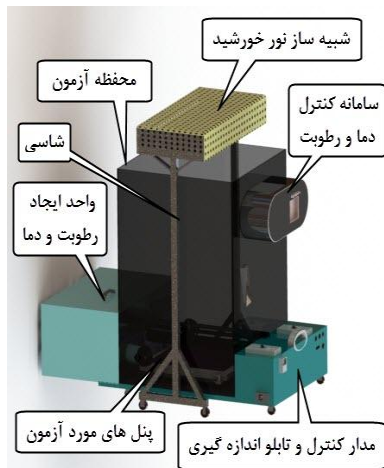
دمای ماژول فتوولتائیک<sup>۴</sup> یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش راندمان آن است. تحقیقات زیادی در خصوص دمای پنل و اثر آن بر عملکرد پنل انجام شده است. نتایج تحقیقات نشان داده است که به‌ازای هریک درجه افزایش دمای ماژول، حدود ۰/۴٪ تا ۰/۶۵٪ راندمان پنل خورشیدی کاهش می‌یابد [۹ و ۱۰]. در تحقیقی چاندر و همکاران [۱۱] با استفاده شبیه‌ساز دارای لامپ‌های هالوژنی اثر دما در محدوده ۶۰-۲۵°C بر روی یک سلول سیلیکونی مونوکریستال به ابعاد  $4 \times 4 \text{ mm}^2$  بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای سلول اثر معنی‌داری بر پارامترهای فتوولتائیک دارد. روح‌الامینی و همکاران [۱۲] اثر عوامل مختلف محیطی را بر دمای پنل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش‌های محیطی آنان نشان داد که نشست گرد و غبار روی سطح پنل علاوه بر کاهش شدت تابش خورشیدی برخوردی با پنل موجب افزایش دمای سطح پنل و کاهش توان خروجی آن می‌شود. همچنین بین دمای پنل و دمای محیط یک رابطه خطی وجود دارد. با توجه به اثر شرایط محیطی بر عملکرد و بازه پنل‌های خورشیدی چندین تحقیق در مناطق و کشورهای مختلف به‌صورت محیطی انجام شده است. لی و همکاران [۱۳] بر اساس تحلیل داده‌های تجربی دو ساله از توان خروجی سه نوع پنل خورشیدی در مناطق ساحلی سنگاپور نشان دادند که رطوبت محیط نقش مهمی در میزان انرژی تولیدشده دارد. توواتی و همکاران [۱۴ و ۱۵] حساسیت انواع پنل‌های خورشیدی در شرایط محیطی و آب‌وهوایی کشور قطر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش گرد و غبار، رطوبت نسبی و دمای محیط موجب کاهش راندمان انواع پنل‌های خورشیدی می‌شود، که اثر گرد و غبار مهم‌تر بوده است. همچنین سلول خورشیدی سیلیکونی آمورف<sup>۵</sup> نسبت به اثر گرد و غبار، و سلول‌های سیلیکونی نسبت به شرایط دما و رطوبت حساسیت کمتری نشان دادند. باتاناکاریا و همکاران [۱۶] اثر دمای محیط و سرعت باد بر عملکرد پنل‌های خورشیدی را در منطقه تریپورا<sup>۶</sup> در کشور هندوستان در دوره یک‌ساله مورد بررسی قرار دادند. دمای محیط در دوره مطالعه در محدوده ۳۵/۸-۲۱/۲°C، و سرعت باد  $4/3 - 1 \text{ m/s}$  ثبت شده بود. نتایج تحلیل آماری نشان داد که بین بازده پنل و دمای محیط و سرعت هوا رابطه خطی به‌ترتیب با شیب منفی و مثبت وجود داشت. به‌طور کلی نتایج تحقیقات انجام‌شده در رابطه با اثر شرایط آب‌وهوایی توسط کتکار و همکاران [۱۷]، پنجوانی و ناراجا [۱۸]، اته و همکاران [۱۹]، میخلیف و همکاران [۲۰] و اوموبویپیل

انرژی، مهم‌ترین رکن توسعه و پیشرفت جامعه در همه زمین‌ها از جمله صنعت، کشاورزی و حمل‌ونقل است. بر اساس گزارش‌های آژانس بین‌المللی انرژی، میانگین نرخ رشد سالانه مصرف انرژی جهان ۲ درصد و برای کشور ایران ۵ تا ۸ درصد (بیش از پنج برابر متوسط رشد مصرف انرژی جهانی) است [۱]. از این‌رو، تأمین انرژی آینده جهان وابسته به انرژی‌های تجدیدپذیر است. انرژی خورشید، یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به تولید الکتریسیته به‌کمک سامانه‌های فتوولتائیک اشاره کرد [۲]. همچنین سامانه‌های فتوولتائیک بدون نیاز به شبکه‌های انتقال و توزیع عظیم و پرهزینه، در سراسر جهان گسترده شده و به‌عنوان منابع انرژی‌های تجدیدپذیر دسترسی به انرژی در آینده را مطمئن خواهد کرد [۳]. کشور پهناور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی با میزان تابش متوسط روزانه چهار کیلووات ساعت بر متر مربع و در کمربند انرژی تابش خورشید قرار دارد. با توجه به مساحت ایران، کل مقدار تابش در ایران حدود  $10^6 \times 3/3$  در سال می‌باشد که ۱۳ برابر کل انرژی مصرفی در ایران است. در ایران به‌طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است [۴].

سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک به‌منظور تولید انرژی، در محیط‌های باز و در معرض انرژی تابشی خورشید قرار می‌گیرند. طیف خورشیدی تابیده شده به سطح پنل بسته به شرایط محیطی مختلف با رطوبت، دی‌اکسیدکربن، گرد و غبار و ... متفاوت است. در طراحی سیستم‌های فتوولتائیک بازده پنل‌های خورشیدی در شرایط مختلف یک پارامتر مهم و تأثیرگذار است [۵]. از طرفی به‌دلیل هزینه‌بر بودن آن باید شرایطی را ایجاد کرد که بتوان حداکثر بازده را از آن به دست آورد. شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه دما، رطوبت، آلاینده‌ها، بارندگی، گرد و غبار، سرعت و جهت باد اثر منفی بر کارایی سیستم‌های نصب‌شده خورشیدی دارد [۶]. مشخصات فنی پنل‌های خورشیدی که در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد، برای شرایط آزمون استاندارد<sup>۲</sup> (STC) دمای ۲۵°C، تابش خورشید  $1000 \text{ W/m}^2$  و جرم توده هوا<sup>۳</sup>  $1/5$  می‌باشد. بنابراین برآورد دقیق عملکرد پنل‌های خورشیدی برای به‌کارگیری در شرایط مختلف محیطی ضروری و مهم است [۷]. حدود ۳۰ درصد انرژی تابشی خورشید توسط ابرها جذب یا منعکس می‌شود، میزان آن برای مناطق مرطوب حدود ۷۰ درصد گزارش شده

4. Photovoltaic Modulus  
5. Amorphous Silicon Solar Cell  
6. Tripura

1. Terra Watt-hour  
2. Standard Testing Condition  
3. Air Mass



شکل (۱): دستگاه آزمون عملکرد پنل خورشیدی مجهز به محفظه کنترل شرایط محیطی دما و رطوبت

شبه ساز نور خورشید دستگاه آزمون از لامپ‌های ال‌ای دی<sup>۳</sup> با ترکیبات نورهای سفید، آبی، قرمز و فروسرخ به صورت مجموعه‌های مربع شکل ساخته شده است [۲۴]. در این منبع ۳۶۸۰ عدد لامپ استفاده شده که به تفکیک رنگ از هر یک از رنگ‌ها ۹۲۰ عدد و نوع ال‌ای دی‌های مورد استفاده بیضی شکل<sup>۴</sup> با قطر ۵ mm بود. محفظه آزمون از جنس پلی‌کربنات با ضخامت ۵ mm است که دارای استحکام کافی و سبک بود. به منظور جلوگیری از انعکاس نور از سطح داخلی محفظه به روی پنل و تغییرات دمای هوای درون محفظه، سطح داخلی با یک پوشش سیاه‌رنگ و سطح بیرونی به وسیله عایق پشم شیشه پوشانده شد. واحد ایجاد شرایط محیطی رطوبت و دما از یک دستگاه رطوبت‌ساز التراسونیک با ظرفیت ۴ L ساخت شرکت شفابخش، کولر کوچک آبی ساخته شده، گرمکن الکتریکی با جریان متناوب برق شهری ۲۲۰V و یک فن حلزونی ۱۲ V در پشت کانال

[۲۱] نشان می‌دهد که افزایش دما و رطوبت هوا موجب کاهش عملکرد پنل خورشیدی می‌شود. رطوبت نسبی‌های کمتر و در محدوده رطوبت ۳۰-۴۰ درصد موجب افزایش نسبی عملکرد پنل شده و با افزایش رطوبت به سطوح بالاتر عملکرد پنل کاهش می‌یافت. سلطانی و جهانگیر با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در پتانسیل استفاده از سلول‌های فتوولتائیک بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، چهار عامل ساعات آفتابی، دمای هوا، سرعت باد و درصد رطوبت نسبی هوا در بهره‌وری سلول‌های فتوولتائیک برای شهر کرمانشاه بررسی کردند [۲۲].

مرور تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که عمده تحقیقات بررسی اثر عوامل محیطی بر عملکرد پنل‌های فتوولتائیک به صورت محیط بیرون<sup>۱</sup> با شرایط آب‌وهوایی منطقه و در دوره زمانی عمدتاً یک‌ساله بوده است. از این رو، سطوح مختلف ترکیب عوامل دما و رطوبت محیط بر پارامترهای پنل‌های فتوولتائیک به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. قرار گرفتن کشور ایران بین دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب باعث شده که بر میزان رطوبت هوا در جلگه‌های کناره دریاها اثر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. در راستای امکان‌سنجی و فرهنگ‌سازی استفاده گسترده و بهره‌برداری از سلول‌های خورشیدی برای مناطق و اقلیم‌های مختلف کشور و نیز کمبود اطلاعات، بررسی اثر عوامل محیطی شامل رطوبت و دمای محیط بر عملکردی پنل‌های خورشیدی ضرورت دارد. از این رو، هدف از انجام این تحقیق، مطالعه و بررسی اثر سطوح مختلف رطوبت نسبی و دمای محیط بر مشخصات عملکردی پنل‌های خورشیدی مرسوم به صورت آزمایش‌های درون آزمایشگاهی<sup>۲</sup> بوده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. مجموعه آزمایشگاهی عملکرد پنل فتوولتائیک

در این پژوهش برای انجام آزمایش‌ها، دستگاه آزمون عملکرد پنل‌های خورشیدی ساخته شده توسط عامری [۲۳] به سامانه کنترل شرایط محیطی رطوبت و دما تجهیز گردید (شکل ۱). اجزای دستگاه موردنظر شامل شبه‌ساز نور خورشید، محفظه آزمون و محل قراگیری پنل‌های مورد آزمون، واحد ایجاد رطوبت و دما، سامانه کنترل دما و رطوبت، مدار کنترل و تابلو اندازه‌گیری ثبت خروجی‌های پنل‌های مورد آزمون و شاسی است.

3. LED  
4. Oval

1. Outdoor  
2. Indoor

جدول (۱): مشخصات فنی پنل‌های فتوولتائیک مورد بررسی

نوع پنل سیلیکونی	مونوکریستال	پلی کریستال
ولتاژ مدار باز (ولت)	۲۲/۵	۲۱/۵۲
جریان اتصال کوتاه (آمپر)	۰/۶۱	۰/۶۶
ولتاژ بیشینه توان (ولت)	۱۸	۱۷/۵۶
جریان بیشینه توان (آمپر)	۰/۵۶	۰/۶
توان بیشینه (وات)	۱۰	۱۰
مساحت پنل (متر مربع)	۰/۰۷۲	۰/۰۹۲

### ۳.۲. روش انجام آزمایش و سطوح دما و رطوبت نسبی

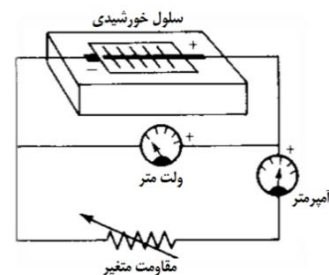
به هنگام آزمایش، پنل‌ها بر روی پایه‌هایی با ارتفاع ۱۰ cm از کف محفظه آزمون قرار گرفته و به واحد اندازه‌گیری متصل شدند. پنل‌های مورد آزمون به صورت افقی زیر شبیه‌ساز خورشیدی در کف محفظه کنترل محیطی به فاصله ۹۰ cm قرار می‌گیرد. سپس واحد ایجاد شرایط محیطی راه‌اندازی شده و با استفاده از تابلو کنترل شرایط محیطی تنظیمات مربوط به سطوح موردنظر دما و رطوبت اعمال می‌گردد. فن‌های داخل محفظه را روشن نموده پس از تثبیت شرایط تعریف‌شده برای دستگاه، شبیه‌ساز نورخورشید روشن شده و ثبت داده‌های خروجی پنل انجام می‌شود. شکل (۳) تصویری از پنل‌ها را در شرایط آزمایش نشان می‌دهد.



شکل (۳): محفظه آزمون و کانال شیاردار

آزمایش‌های این پژوهش در چهار سطح دمای ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰°C و پنج سطح رطوبت هوا ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصد، به ترتیب در دمای ثابت و با افزایش رطوبت انجام شد. سطوح انتخاب شده در این تحقیق مناطق نسبتاً زیادی از جمله استان‌های شمالی و بخش قابل توجهی از استان‌های جنوبی کشور را پوشش می‌دهد. آزمایش‌ها برای هر سطح رطوبت و دما برای هر نوع پنل فتوولتائیک خورشیدی‌ها در سه تکرار انجام شد. در این پژوهش با توجه به شرایط آزمایشگاه، دمای ۲۵°C و رطوبت ۲۰ درصد به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. بنابراین تعداد کل آزمایش‌های انجام شده ۱۲۰ آزمایش بود. در هر آزمایش بعد از سپری شدن مدتی زمان کافی و

گرمکن تشکیل شده است. برای هدایت رطوبت و دما از واحد آماده‌سازی شرایط محیطی توسط دو عدد لوله خرطومی به محفظه آزمون متصل شد. شرایط محیطی آماده‌شده از طریق دو عدد لوله از جنس PVC به قطر ۳۰ mm دارای شیار طولی روی آن به درون محفظه انتقال یافت. به منظور یکنواختی شرایط درون محفظه چهار عدد دمنده کوچک ۱۲۷ در پایین محفظه و متمایل به سمت خروجی کانال‌های شیاردار ورودی رطوبت و دما، قرار داده شد. برای کنترل دما از حسگر LM35 با دقت ۰/۵°C در محدوده ۵۵- تا ۱۵۰°C و برای رطوبت هوا از حسگر HS1101 با دقت ۱± درصد در محدوده ۱ تا ۹۹ درصد استفاده شد که توسط میکروکنترلر AVR به صورت همزمان اندازه‌گیری و کنترل شرایط محیطی درون محفظه آزمایشی انجام می‌شد. مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده به صورت دیجیتال بر روی صفحه ال‌سی‌دی سامانه کنترل محیطی نمایش داده می‌شد. تابلو اندازه‌گیری و کنترل مدار پنل برای اندازه‌گیری شدت جریان (I) و اختلاف پتانسیل (V) پنل فتوولتائیک با توجه به مدار شکل (۲) از یک دستگاه آمپر متر و ولت متر دیجیتالی مدل Victor ساخت کشور چین استفاده شد. برای اندازه‌گیری شدت جریان یک مقاومت متغیر ۱۰ kΩ در مدار خروجی پنل‌ها قرار داده شد.



شکل (۲): طرح‌واره مدار اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی پنل

### ۲.۲. نوع پنل‌های مورد آزمون

با بررسی‌های انجام‌شده دو نوع رایج پنل‌های مورد استفاده در بازار ایران شامل پنل مونوکریستال و پلی کریستال است. این سلول‌ها ۸۸ درصد از بازار جهان را به خود اختصاص داده‌اند [۲۵]. در این پژوهش، دو نمونه از این پنل‌های ساخت شرکت Yingli Solar کشور چین مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات فنی این دو نوع پنل برای شرایط آزمون استاندارد (STC) ارائه شده از طرف سازنده و درج شده روی پنل‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

اندازه‌گیری ثبت گردید و منحنی مشخصه شدت جریان- ولتاژ (I-V) رسم شد. با استفاده از رابطه (۱) توان خروجی با هر ولتاژ و شدت جریان محاسبه شد و منحنی مشخصه توان- ولتاژ (P-V) به دست آمد [۲۶]. با کمک این دو منحنی، اختلاف پتانسیل مدار باز ( $V_{oc}$ ) و شدت جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ )، توان بیشینه ( $P_{max}$ )، اختلاف پتانسیل بیشینه ( $V_{max}$ ) و شدت جریان بیشینه ( $I_{max}$ ) تعیین شد.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

که در آن:  $P$  = توان خروجی (وات)،  $V$  = اختلاف پتانسیل (ولت)، و  $I$  = شدت جریان (آمپر).

درصد کاهش توان الکتریکی تولیدشده پنل با توجه به توان بیشینه خروجی در شرایط تیمار شاهد<sup>۱</sup> و توان بیشینه محاسبه شده در تیمارهای آزمایشی از رابطه (۲) مشخص گردید [۲۷].

$$\eta = \frac{P_s - P}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه بالا:  $\eta$  = درصد کاهش توان خروجی،  $P_s$  = توان خروجی در شرایط شاهد (وات)، و  $P$  = توان خروجی در شرایط آزمایشی (وات) است.

## ۶.۲. طرح آماری و روش بررسی نتایج

داده‌های حاصل از پارامترهای عملکردی پنل‌های خورشیدی در شرایط محیطی دما و رطوبت مختلف به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی توسط نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن<sup>۳</sup> در سطح ۵٪ انجام شد.

### ۳. نتایج و بحث

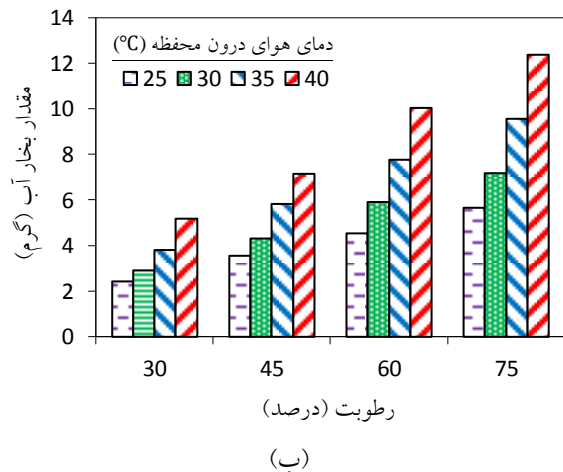
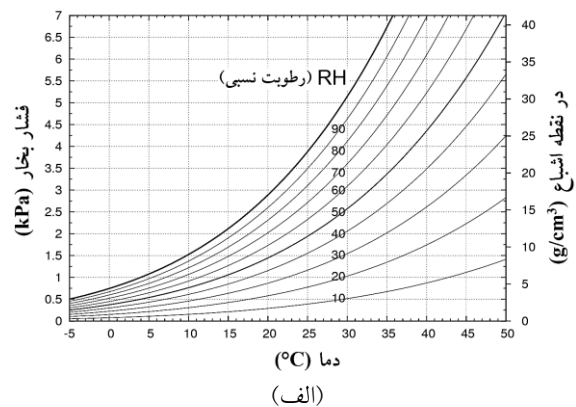
#### ۱.۳. منحنی‌های مشخصه پنل فتوولتائیک

شکل (۵) نمونه‌ای از منحنی‌های مشخصه جریان- پتانسیل (I-V) و توان- پتانسیل (P-V) را برای دو نوع پنل سیلیکونی مونوکریستال و پلی کریستال در شرایط محیطی شاهد آزمایشگاهی، دمای ۲۵°C و رطوبت نسبی ۲۰ درصد نشان می‌دهد. مقادیر شدت جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ )، پتانسیل مدار باز ( $V_{oc}$ )، و توان بیشینه ( $P_{max}$ ) برای پنل مونو و پلی کریستال در شرایط محیطی شاهد آزمایشگاهی به ترتیب ۱۴/۰۸ و ۸/۹۳ میلی‌آمپر، ۱۷/۱۳ و ۱۶/۱۶ ولت، ۱۶۲/۸۲ و ۹۵/۰۳ میلی‌وات بود.

پس از تثبیت شرایط محیطی تنظیم شده اندازه‌گیری‌ها انجام شد. در این حالت با تغییر پتانسیومتر، ولتاژ مورد نظر و شدت جریان متناظر با آن به کمک ولت‌متر و آمپر متر به ترتیب ثبت گردید. مدت زمان انجام هر آزمایش به طور متوسط حدود ۱۰ دقیقه بود.

## ۴.۲. محاسبه مقدار بخار آب موجود در محفظه

با استفاده از نمودار سایکرومتریکی<sup>۱</sup> (شکل ۴- الف) و حجم محفظه آزمون برای شرایط مختلف دما و رطوبت مقدار بخار آب موجود در محفظه محاسبه شد. این مقدار آب به صورت فیزیکی هنگامی مشاهده می‌شود که دمای محفظه شبیه‌ساز به دمای نقطه شبنم برسد. نمودار (شکل ۴- ب) میزان بخار آب موجود در محفظه را برای سطوح مختلف دما و رطوبت هوا بر حسب گرم نشان می‌دهد.

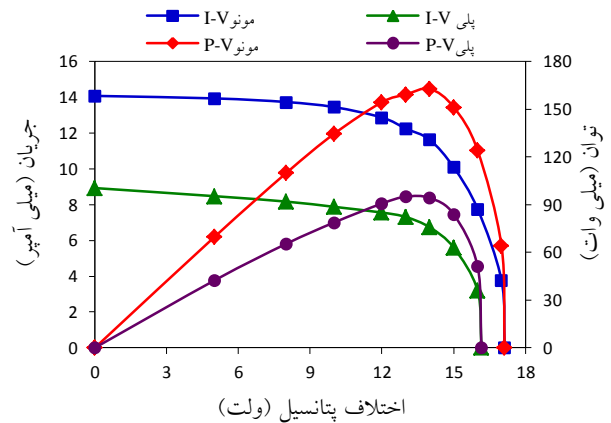


شکل (۴): الف. نمودار سایکرومتریکی، ب. مقدار بخار آب موجود در محفظه آزمایش در سطوح مختلف دما و رطوبت

## ۵.۲. پارامترهای عملکردی مورد بررسی

در این پژوهش مهم‌ترین پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل اختلاف پتانسیل و شدت جریان است که داده‌های آن توسط تابلو

شرایط مختلف محیطی در جدول (۲) نشان می‌دهد که نوع پنل سیلیکونی، دما و رطوبت نسبی هوا تقریباً بر همه پارامترهای عملکردی پنل خورشیدی بسیار معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) بود. نوع پنل سیلیکونی بر ولتاژ بیشینه در شرایط مختلف محیطی اثر معنی‌دار نداشت. مشاهده می‌شود که اثر متقابل دما و رطوبت نسبی هوا بر هیچ‌کدام از مشخصات عملکردی پنل به جز شدت جریان اتصال کوتاه اثر معنی‌دار نداشته است. این نتایج با یافته‌های تحقیقات انجام‌شده دیگر مطابقت دارد. نتایج تحقیقات سایر محققان نشان داد که رطوبت نسبی پارامترهای عملکردی پنل‌های خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۹، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱]. همچنین افزایش دما موجب افزایش مقاومت و کاهش توان خروجی و راندمان پنل‌های خورشیدی می‌شود [۹-۱۱].



شکل (۵): منحنی‌های مشخصه جریان-پتانسیل (I-V) و توان-پتانسیل (P-V) برای دو نوع پنل خورشیدی سیلیکونی مونو و پلی کریستال در شرایط شاهد (دمای ۲۵ °C و رطوبت نسبی ۲۰ درصد)

### ۲.۳. تجزیه واریانس داده‌ها

نتایج تجزیه واریانس مشخصات عملکردی پنل‌های خورشیدی در

جدول (۲): نتایج تجزیه واریانس داده‌های مشخصات عملکردی پنل خورشیدی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ولتاژ مدار باز	جریان اتصال کوتاه	توان بیشینه	ولتاژ بیشینه
مدل	۲۰	۳/۵۳۳**	۳۴/۱۵۱**	۵۳۱۴/۶۶۵**	۱/۲۲۵**
بلوک (نوع پنل)	۱	۳۴/۶۴۶**	۶۷۱/۹۹۱**	۹۸۲۰۲/۱۱۱**	۰/۰۵۹ <sup>NS</sup>
دما (A)	۳	۱۱/۵۴۴**	۱/۸۵۸**	۱۹۰۳/۵۲۸**	۷/۵۳۹**
رطوبت (B)	۴	۰/۳۱۲**	۰/۹۷۱**	۵۳۲/۹۷۸**	۰/۲۶۹**
AxB	۱۲	۰/۰۲۷**	۰/۱۳۱**	۲۰/۷۲۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۶۲ <sup>NS</sup>
خطا	۹۹	۰/۰۱۶	۰/۰۳۵	۱۲/۹۷۱	۰/۰۳۶
ضریب تغییرات (C.V.)		٪۰/۸۲	٪۰/۷۱	٪۳/۰۷	٪۱/۴۶

\*, \*\*, به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪، NS عدم معنی‌داری در سطح ۵٪

۲/۱۹ و ۱/۱۲ درصد، ۳/۳۲ و ۰/۹۸ درصد، ۶/۴۴ و ۵/۲۳ درصد و ۱۱/۵۸ و ۸/۳۷ درصد نسبت به شرایط شاهد حاصل شد. بر اساس داده‌های جدول (۴) بیشترین کاهش پتانسیل مدار باز، پتانسیل بیشینه، جریان و توان خروجی بیشینه در دماهای مختلف هوای محیط برای دو نوع پنل مونوکریستال و پلی کریستال به ترتیب ۸ و ۹/۵ درصد، ۸/۰۶ و ۸/۹۶ درصد، ۶/۸۳ و ۴/۶۷ درصد و ۱۵ و ۱۳/۶۶ درصد نسبت به شرایط شاهد به دست آمد.

### ۳.۳. نتایج مقایسه میانگین اثرات رطوبت و دمای محیط

در جدول‌های (۳) و (۴) به ترتیب نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت نسبی و دمای هوای محیط بر پارامترهای عملکردی پنل‌های خورشیدی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ ارائه شده است. بر اساس داده‌های جدول (۳) بیشترین کاهش پتانسیل مدار باز، پتانسیل بیشینه، جریان و توان خروجی بیشینه در شرایط رطوبت‌های نسبی مختلف هوا برای پنل مونوکریستال و پلی کریستال به ترتیب

جدول (۳): نتایج مقایسه میانگین اثر رطوبت هوا بر مشخصات عملکردی دو نوع پنل خورشیدی

نوع پنل سیلیکونی	رطوبت (%)	ولتاژ مدار باز (V)	ولتاژ بیشینه (V)	جریان بیشینه (mA)	توان بیشینه (mW)
مونوکریستال	۲۰	۱۶/۴۱ <sup>a</sup>	۱۳/۵۲ <sup>a</sup>	۱۱/۴۸ <sup>a</sup>	۱۵۵/۴۰ <sup>a</sup>
	۳۰	۱۶/۳۲ <sup>a</sup>	۱۳/۲۵ <sup>b</sup>	۱۰/۹۴ <sup>bc</sup>	۱۴۵/۱۰ <sup>c</sup>
	۴۵	۱۶/۴۲ <sup>a</sup>	۱۳/۱۹ <sup>bc</sup>	۱۱/۱۰ <sup>b</sup>	۱۴۸ <sup>b</sup>
	۶۰	۱۶/۱۴ <sup>b</sup>	۱۳/۱۷ <sup>bc</sup>	۱۰/۸۹ <sup>cd</sup>	۱۴۳ <sup>d</sup>
	۷۵	۱۶/۰۵ <sup>b</sup>	۱۳/۰۷ <sup>d</sup>	۱۰/۷۴ <sup>d</sup>	۱۳۷/۴۰ <sup>e</sup>
پلی کریستال	۲۰	۱۵/۲۵ <sup>c</sup>	۱۳/۲۵ <sup>b</sup>	۶/۸۸ <sup>e</sup>	۹۱/۳۱ <sup>f</sup>
	۳۰	۱۵/۲۴ <sup>c</sup>	۱۳/۱۸ <sup>bc</sup>	۶/۷۷ <sup>ef</sup>	۸۹/۸۳ <sup>f</sup>
	۴۵	۱۵/۲۲ <sup>c</sup>	۱۳/۲۰ <sup>bc</sup>	۶/۸۲ <sup>ef</sup>	۹۱/۱۰ <sup>f</sup>
	۶۰	۱۵/۱۸ <sup>cd</sup>	۱۳/۲۳ <sup>b</sup>	۶/۵۶ <sup>g</sup>	۸۷/۸۸ <sup>g</sup>
	۷۵	۱۵/۰۸ <sup>d</sup>	۱۳/۱۲ <sup>cd</sup>	۶/۶۶ <sup>g</sup>	۸۳/۶۷ <sup>h</sup>

\* میانگین‌های دارای حروف لاتین مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول (۴): نتایج مقایسه میانگین اثر دمای پنل بر پارامترهای عملکردی پنل‌های خورشیدی

نوع پنل سیلیکونی	دما (°C)	ولتاژ مدار باز (V)	ولتاژ بیشینه (V)	جریان بیشینه (mA)	توان بیشینه (mW)
مونوکریستال	۲۵	۱۶/۹۸ <sup>a</sup>	۱۳/۷۷ <sup>a</sup>	۱۱/۴۲ <sup>a</sup>	۱۵۷/۳ <sup>a</sup>
	۳۰	۱۶/۴۶ <sup>b</sup>	۱۳/۳۵ <sup>c</sup>	۱۱/۲۱ <sup>b</sup>	۱۴۸/۷ <sup>b</sup>
	۳۵	۱۶/۰۱ <sup>c</sup>	۱۳/۱۷ <sup>d</sup>	۱۰/۸۶ <sup>c</sup>	۱۴۳/۴ <sup>c</sup>
	۴۰	۱۵/۶۲ <sup>d</sup>	۱۲/۶۶ <sup>f</sup>	۱۰/۶۴ <sup>d</sup>	۱۳۳/۷ <sup>d</sup>
پلی کریستال	۲۵	۱۵/۹۹ <sup>c</sup>	۱۳/۸۴ <sup>a</sup>	۶/۸۵ <sup>e</sup>	۹۴/۸۶ <sup>e</sup>
	۳۰	۱۵/۴ <sup>e</sup>	۱۳/۴۵ <sup>b</sup>	۶/۹۸ <sup>e</sup>	۹۲/۹۸ <sup>f</sup>
	۳۵	۱۴/۹۲ <sup>f</sup>	۱۲/۹۱ <sup>e</sup>	۶/۵۳ <sup>f</sup>	۸۴/۵ <sup>g</sup>
	۴۰	۱۴/۴۷ <sup>g</sup>	۱۲/۶ <sup>f</sup>	۶/۵۸ <sup>f</sup>	۸۱/۹۰ <sup>h</sup>

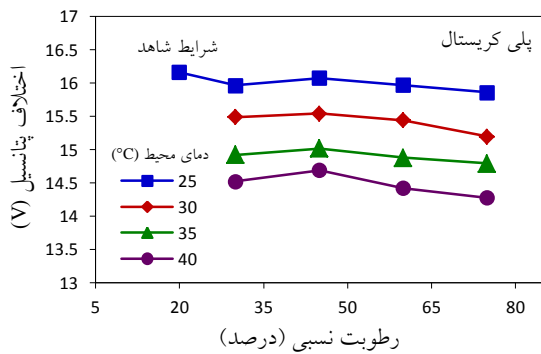
\* میانگین‌های دارای حروف لاتین مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول (۵): نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت و دمای محیط بر جریان اتصال کوتاه

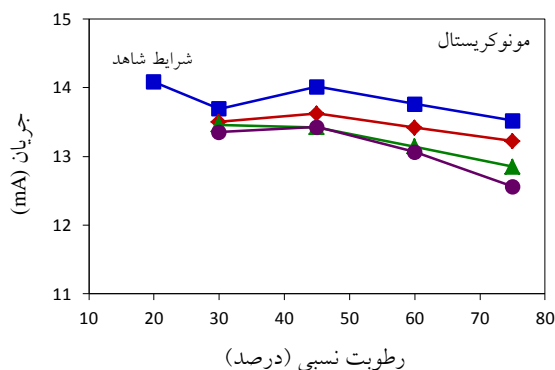
نوع پنل سیلیکونی	رطوبت نسبی هوا (%)	دمای محیط (°C)			
		۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
مونوکریستال	۲۰	۱۴/۰۸ <sup>b</sup>	۱۴/۵۱ <sup>a</sup>	۱۳/۱۹ <sup>gh</sup>	۱۳/۴۲ <sup>ef</sup>
	۳۰	۱۳/۱۸ <sup>gh</sup>	۱۳/۵۴ <sup>cde</sup>	۱۳/۴۶ <sup>def</sup>	۱۳/۱۴ <sup>gh</sup>
	۴۵	۱۴/۰۱ <sup>b</sup>	۱۳/۶۲ <sup>cd</sup>	۱۳/۴۲ <sup>ef</sup>	۱۳/۴۳ <sup>ef</sup>
	۶۰	۱۳/۷۲ <sup>c</sup>	۱۳/۴۲ <sup>ef</sup>	۱۳/۱۴ <sup>gh</sup>	۱۳/۰۶ <sup>ghi</sup>
	۷۵	۱۳/۵۲ <sup>de</sup>	۱۳/۳۳ <sup>fg</sup>	۱۲/۸۹ <sup>i</sup>	۱۲/۷۳ <sup>j</sup>
پلی کریستال	۲۰	۸/۹۲ <sup>kl</sup>	۸/۹۰ <sup>klmn</sup>	۸/۷۶ <sup>lmnop</sup>	۸/۵۹ <sup>pq</sup>
	۳۰	۸/۹۰ <sup>klmn</sup>	۹/۰۸ <sup>k</sup>	۸/۶۶ <sup>pq</sup>	۸/۷۲ <sup>mno</sup>
	۴۵	۸/۹۱ <sup>klm</sup>	۸/۹۲ <sup>klm</sup>	۸/۶۹ <sup>opq</sup>	۸/۶۹ <sup>opq</sup>
	۶۰	۸/۷۱ <sup>nopq</sup>	۸/۹۱ <sup>klm</sup>	۸/۵۲ <sup>q</sup>	۸/۳۳ <sup>r</sup>
	۷۵	۸/۸۷ <sup>lmno</sup>	۸/۶۶ <sup>pq</sup>	۸/۲۷ <sup>r</sup>	۸/۰۴ <sup>s</sup>

\* میانگین‌های دارای حروف لاتین مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

نتایج تجزیه واریانس جدول (۲) نشان داد که اثر متقابل دوگانه رطوبت و دمای محیط بر جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ ) پنل‌های فتوولتائیک در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. شکل (۶) نتایج مقایسه میانگین داده‌های جریان اتصال کوتاه به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های جدول بیشترین مقدار جریان اتصال کوتاه برای پنل مونوکریستال و پلی کریستال به ترتیب در شرایط محیطی دمای ۳۰°C و رطوبت ۲۰٪ و دمای ۲۵°C و رطوبت ۲۰٪ بود. همچنین کمترین مقادیر متناظر برای هر دو نوع پنل در دمای ۴۰°C و رطوبت ۷۵٪ مشاهده شد.



شکل (۶): تغییرات پتانسیل مدار باز دو نوع پنل خورشیدی با رطوبت و در دمای محیط مختلف



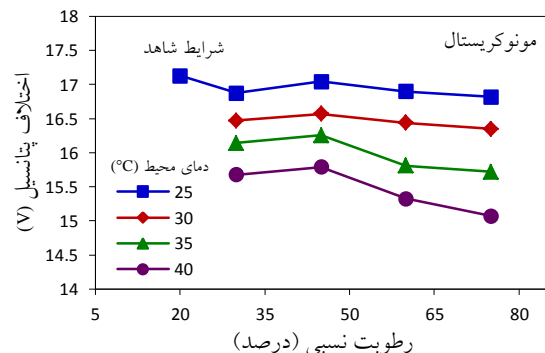
شکل (۷): تغییرات جریان اتصال کوتاه دو نوع پنل خورشیدی با رطوبت و دمای هوای محیط، دما (°C): ۲۵؛ ۳۰؛ ۳۵؛ ۴۰

### ۵.۳. بررسی تغییرات توان خروجی پیشینه

با توجه به داده‌های حاصل از منحنی مشخصه جریان-ولتاژ (I-V) پنل‌ها و استفاده از رابطه (۱) مقادیر توان پیشینه خروجی محاسبه شد. شکل (۸) تغییرات میانگین توان پیشینه برحسب رطوبت نسبی در دماهای مختلف برای دو نوع پنل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش دمای هوای محیط توان پیشینه پنل در تمام سطوح رطوبتی کاهش یافت. به‌طور کلی با افزایش رطوبت نسبی محیط از ۳۰ تا ۴۵ درصد موجب افزایش جزئی در توان خروجی پیشینه شد، با افزایش

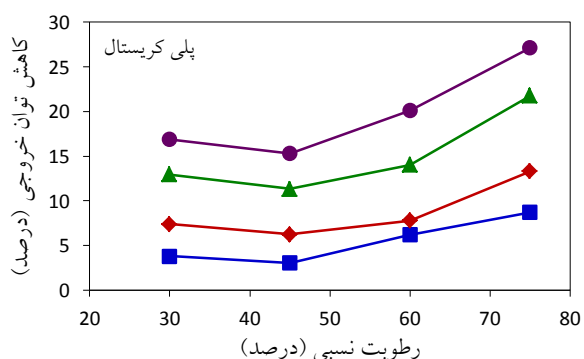
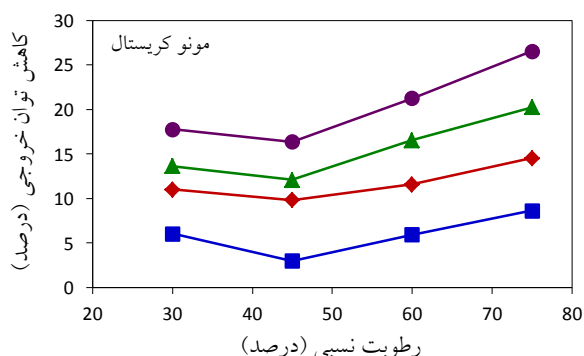
### ۴.۳. تغییرات پتانسیل و جریان خروجی پنل فتوولتائیک

شکل‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب تغییرات مقادیر میانگین ولتاژ و جریان برحسب رطوبت نسبی در دماهای مختلف محیط برای دو نوع پنل را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش دمای هوا، ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه برای تمام سطوح رطوبت هوا کاهش می‌یابد. همچنین به‌طور کلی با افزایش رطوبت نسبی از ۳۰٪ به ۴۵٪ مقادیر متوسط ولتاژ مدار باز و شدت جریان افزایش کمی یافته و برای رطوبت‌های بالاتر از آن کاهش می‌یافت. میزان کاهش ولتاژ مدار باز برای دماهای بالا (۳۵ و ۴۰°C) بیشتر بود. کاهش ولتاژ و جریان خروجی پنل را می‌توان به میزان بخار آب موجود در محفظه آزمون مرتبط کرد. با توجه به شکل (۴)، مقدار بخار آب موجود در محفظه آزمون با افزایش دما و رطوبت افزایش می‌یابد. این موضوع موجب افزایش در انعکاس، شکست و پراکنده شدن تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش شدت نور دریافت شده توسط پنل می‌شود [۲۰]. همچنین افزایش دمای محیط موجب افزایش مقاومت اهمی پنل و در نتیجه کاهش جریان خروجی پنل شده است. با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌گردد که شدت جریان نسبت به اختلاف پتانسیل تأثیرپذیری بیشتری در اثر افزایش رطوبت نسبی داشته است. نتایج تحقیقات کتکار و همکاران [۱۷] نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی تا ۴۸٪ موجب افزایش و پس از آن تا میزان رطوبت نسبی ۶۰٪ موجب کاهش ولتاژ و جریان خروجی پنل فتوولتائیک شد. این نتایج با سایر تحقیقات مرتبط با موضوع اثر رطوبت نسبی و دما بر پنل‌های خورشیدی مطابقت دارد [۹، ۱۷ و ۲۸]. اثر دما برای پنل پلی‌کریستال نسبت به پنل مونوکریستال کمتر بود. دلیل این امر می‌تواند به‌علت روشن‌تر بودن رنگ سطح پنل سیلیکونی پلی‌کریستال نسبت به مونوکریستال باشد که در نتیجه آن موجب کاهش گرمای رسیده یا جذب‌شده به پنل پلی‌کریستال شده که افزایش خروجی نسبت به پنل مونو را به‌همراه خواهد داشت.





از ۶/۰۵ تا ۱۷/۷۹ درصد کاهش توان خروجی نسبت به شرایط شاهد نشان داد، که با افزایش رطوبت نسبی به ۴۵ درصد از ۳/۰۲ تا ۱۶/۴ درصد و نهایتاً در رطوبت ۷۵ درصد از ۸/۶۳ تا ۲۶/۵ درصد کاهش توان خروجی منجر شد. مقادیر متناظر برای پنل پلی کریستال میزان کاهش توان خروجی در محدوده دمایی ۲۵ تا ۴۰°C در رطوبت ۳۰ درصد، از ۳/۷۹ تا ۱۶/۸۷ درصد کاهش نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی به ۴۵ درصد از ۳/۰۶ تا ۱۵/۳۱ درصد و نهایتاً در رطوبت ۷۵ درصد از ۸/۷۱ تا ۲۷/۱۴ درصد کاهش توان خروجی شد.



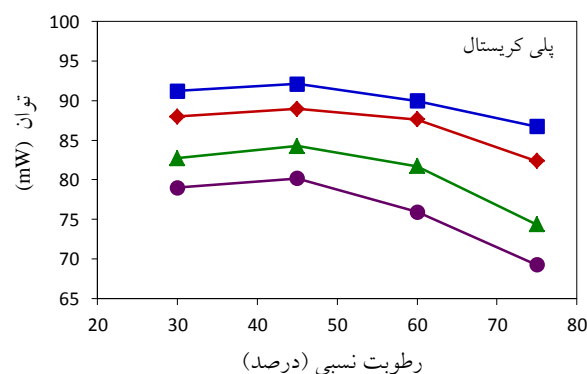
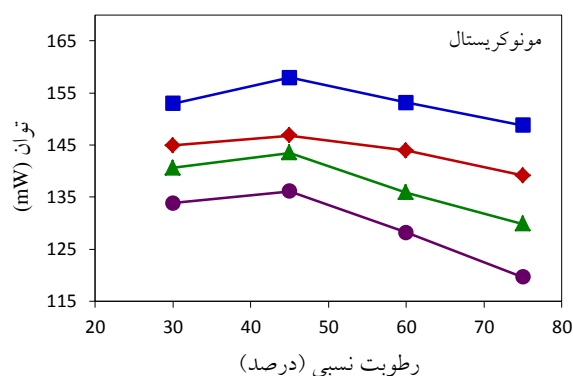
شکل (۹): تغییرات کاهش توان خروجی دو نوع پنل خورشیدی با رطوبت در دماهای محیط مختلف نسبت به شرایط شاهد (دما (°C): ۲۵: ■؛ ۳۰: ◆؛ ۳۵: ▲؛ ۴۰: ●)

همچنین در همه دماهای مورد مطالعه، با افزایش رطوبت محیط از ۳۰ تا ۴۰ درصد، میزان توان خروجی افزایش می‌یافت؛ به عبارت دیگر راندمان پنل افزایش می‌یافت. لکن با افزایش رطوبت محیط توان خروجی پنل به شدت کاهش یافت. این مشاهدات با نتایج سایر تحقیقات [۱۹ و ۲۰] مطابقت دارد.

#### ۴. نتیجه گیری کلی

در این تحقیق، اثر شرایط محیطی شامل رطوبت نسبی هوا در چهار سطح ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصد، و دمای هوای محیط در چهار سطح

بیشتر رطوبت نسبی هوا تا ۷۵ درصد موجب کاهش توان خروجی بیشینه گردید. دلیل این موضوع ممکن است افزایش مقدار بخار آب موجود در محفظه آزمون با افزایش دما و رطوبت باشد که موجب کاهش توان خروجی پنل‌ها شد. وجود رطوبت در محیط مانع جذب کافی انرژی خورشیدی از طریق پنل‌های فتوولتائیک جهت تولید الکتریسیته می‌شود [۲۰]. نتایج این پژوهش که افزایش دما و رطوبت محیط موجب کاهش توان خروجی پنل شد با تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد [۸، ۹، ۱۱ و ۱۷].



شکل (۸): تغییرات توان بیشینه خروجی دو نوع پنل خورشیدی با رطوبت و دمای هوای محیط، (دما (°C): ۲۵: ■؛ ۳۰: ◆؛ ۳۵: ▲؛ ۴۰: ●)

#### ۶.۳. بررسی تغییرات کاهش توان خروجی

شکل (۹) روند تغییرات درصد کاهش توان الکتریکی خروجی پنل خورشیدی محاسبه شده از رابطه (۲) برحسب رطوبت نسبی برای دماهای مختلف محیط را نسبت به شرایط شاهد (دمای ۲۵°C و رطوبت نسبی ۲۰ درصد) برای دو نوع پنل فتوولتائیک سیلیکونی مونو و پلی کریستال نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر دو نوع پنل به طور کلی در همه سطوح رطوبت نسبی با افزایش دما درصد کاهش توان خروجی پنل افزایش می‌یابد. برای پنل مونوکریستال در رطوبت ۳۰ درصد میزان کاهش توان خروجی در محدوده دمایی ۲۵ تا ۴۰°C،

درصد کاهش توان خروجی پنل افزایش یافت.

- برای پنل مونوکریستال در رطوبت نسبی ۳۰٪ میزان کاهش توان خروجی در محدوده دمایی ۲۵ تا ۴۰°C، از ۶/۰۵ تا ۱۷/۰۸ درصد کاهش داشت، که با افزایش رطوبت نسبی به ۴۵٪ از ۳/۰۲ تا ۱۶/۴ درصد و در نهایت در رطوبت ۷۵٪ از ۸/۶۳ تا ۲۶/۵ درصد کاهش توان خروجی منجر شد.

- برای پنل پلی‌کریستال میزان کاهش توان خروجی در محدوده دمایی ۲۵ تا ۴۰°C در رطوبت ۳۰٪، از ۳/۷۹ تا ۱۶/۸۷ درصد بود، که با افزایش رطوبت نسبی به ۴۵٪ از ۳/۰۶ تا ۱۵/۳۱ درصد و نهایتاً در رطوبت ۷۵٪ از ۸/۷۱ تا ۲۷/۱۴ درصد رسید.

- تأثیر دما در پنل پلی‌کریستال نسبت به پنل مونوکریستال کمتر بود، دلیل این امر می‌تواند روشن‌تر بودن سطح پنل پلی‌کریستال نسبت به مونوکریستال باشد.

- برای تعیین اثر سطوح بالاتر شرایط دما و رطوبت هوا پیشنهاد می‌شود از آزمایش‌های محیطی (بیرونی) استفاده شود.

۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰°C بر مشخصات عملکردی دو نوع پنل خورشیدی (PV) سیلیکونی شامل مونوکریستال و پلی‌کریستال به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق به‌طور خلاصه به شرح زیر بود.

- دما و رطوبت محیط بر همه پارامترهای عملکردی پنل خورشیدی تأثیر داشت. اثر دمای محیط نسبت به رطوبت نسبی بیشتر بود.

- با افزایش دمای هوا ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه پنل برای تمام سطوح رطوبت نسبی کاهش می‌یافت.

- نتایج نشان داد شرایط مختلف محیطی اثر بیشتری بر شدت جریان نسبت به پتانسیل پنل فتوولتائیک داشت.

- به‌طور کلی با افزایش رطوبت نسبی از ۳۰ تا ۴۵ درصد مقادیر متوسط ولتاژ، شدت جریان و توان بیشینه، افزایش کمی یافته و برای رطوبت‌های بالاتر از آن کاهش می‌یافت. با افزایش دما و رطوبت مقدار بخار آب موجود در محفظه آزمون افزایش می‌یابد. این موضوع در انعکاس، شکست و پراکنده شدن تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش شدت نور دریافت‌شده توسط پنل می‌شود.

- برای هر دو نوع پنل در همه سطوح رطوبت نسبی با افزایش دما

## مراجع

- [۱] انصاری، بهاره. «ضرورت توسعه و کاربرد انرژی‌های پایدار در دنیای امروز از منظر زیست‌محیطی»، نشریه اقتصاد انرژی، شماره ۱۵۱ و ۱۵۲، صفحه ۶۴-۶۸، ۱۳۹۱.
- [2] Paudyal, B. R., and Shakya, S. R. "Dust Accumulation Effects on Efficiency of Solar PV Modules for off Grid Purpose: A Case Study of Kathmandu", Solar Energy, 135, pp. 103-110, 2016.
- [3] Torres-Lobera, D., and Valkealahti, S. "Inclusive Dynamic Thermal and Electric Simulation Model of Solar PV Systems under Varying Atmospheric Conditions", Solar Energy, 105, pp. 632-647, 2014.
- [۴] تقوی، م. «کاربرد انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی ساختمان»، دومین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی انرژی خورشیدی، دانشگاه تهران، ۷-۸ شهریور، ۱۳۹۴.
- [5] Ibrahim, A. "Effect of Shadow and Dust on the Performance of Silicon Solar Cell", Journal of Basic and Applied Scientific Research, Vol. 1, No. 3, pp. 222-230, 2011.
- [6] Xu, J., Hu, Z., Jia, X., Huang, L., Huang, X., Wang, L., and Zhu, Y. "A Rapid Annealing Technique for Efficient Perovskite Solar Cells Fabricated in Air Condition under High Humidity", Organic Electronics, 34, pp. 84-90, 2016.
- [7] Bashir, M., Anser, Ali, H. Ali, M. Aysha, M. "An Experimental Investigation of Performance of Photovoltaic Modules in Pakistan", Thermal Science, pp. 1-12, 2013.
- [8] Kazem, H. A., and Chaichan, M. T. "Effect of Humidity on Photovoltaic Performance Based on Experimental Study", International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 10, No. 23, pp. 43572-43577, 2015.
- [9] Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., and Rahim, N. A. "Effects of Various Parameters on PV-Module Power and Efficiency", Energy Conversion and Management, Vol. 103, pp. 348-358, 2015.
- [10] Shan, F., Tang, F., Cao, L., and Fang, G. "Comparative Simulation Analyses on Dynamic Performances of Photovoltaic – Thermal Solar Collectors with Different Configurations", Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp. 778-786,

- 2014.
- [11] Chander, S., Purohit, A., Sharma, A., Arvind, Nehra, S. P., and Dhaka, M. S. "A Study on Photovoltaic Parameters of Mono-Crystalline Silicon Solar Cell with Cell Temperature", *Energy Reports*, Vol. 1, pp. 104-109, 2015.
- [12] Rouholamini, A., Pourgharibshahi, H., Fadaeinedjad, R., and Abdolzadeh, R. "Temperature of a Photovoltaic Module under the Influence of Different Environmental Conditions – Experimental Investigation", *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 37, No. 3, pp. 266-272, 2016.
- [13] Li, X., Prawiradiraja, T. P., and Battul, D. "The Role of Humidity in Energy Output of Solar Panels in Coastal Regions", *GSTF International Journal of Engineering Technology*, Vol. 2, No. 1, pp. 72-76, 2013.
- [14] Touati, F. A., Al-Hitmi, M. A., and Bouchech, H. J. "Study of the Effects of Dust, Relative Humidity, and Temperature on Solar PV Performance in Doha: Comparison between Monocrystalline and Amorphous PVs", *International Journal of Green Energy*, Vol. 10, No. 7, pp. 680-689, 2013.
- [15] Touati, F., Massoud, A., Abu Hamad, J., and Saeed, S. A. "Effects of Environmental and Climatic Conditions on PV Efficiency in Qatar", *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Bilbao (Spain), 20-22 March, 2013.
- [16] Bhattacharya, T., Chakraborty, A. K., and Pal, K. "Effects of Ambient Temperature and Wind Speed on Performance of Monocrystalline Solar Photovoltaic Module in Tripura, India", *Journal of Solar Energy*, Vol. 2014.
- [17] Katkar, A. A., Shinde, N. N., and Patil, P. S. "Performance & Evaluation of Industrial Solar Cell w.r.t. Temperature and Humidity", *International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 69-73, 2011.
- [18] Panjwani, M. K., and Narejo, G. B. "Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (Photovoltaic)", *International Journal of Engineering Research and General Science*, Vol. 2, No. 4, pp. 499-50, 2011.
- [19] Ettah, E. B., Ushie, P. O., Obiefuna, J. N., and Nwachukwu, N. C. "Comparative Study of The Effects of Relative Humidity on Solar Electricity Generation in UYO and Port-Harcourt, Nigeria", *International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research*, Vol. 3, No. 2, pp. 66-70, 2015.
- [20] Mekhilef, S., Saidur, R., and Kamalisarvestani, M. "Effect of Dust, Humidity and Air Velocity on Efficiency of Photovoltaic Cells", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2920-2925, 2012.
- [21] Omubo-Pepple, V. B., Tamunobereton-ari, I., Briggs-Kamara M. A. "Influence of Meteorological Parameters on the Efficiency of Photovoltaic Module in Some Cities in the Niger Delta of Nigeria", *Journal of Asian Scientific Research*, 2013, Vol. 3, No. 1: pp. 107-113, 2013.
- [۲۲] سلطانی، کیوان، و جهانگیر، محمدحسین. «بررسی پارامترهای محیطی مؤثر در بهره‌وری سلول‌های خورشیدی (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)»، دومین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی انرژی خورشیدی، دانشگاه تهران، ۸-۹ شهریور، ۱۳۹۴.
- [۲۳] عامری، علی. «بررسی اثر گرد و غبار مزارع کشاورزی بر عملکرد پنل‌های خورشیدی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، ۱۳۹۵.
- [24] Kohraku, S., and Kurokawa, K. "A Fundamental Experiment for Discrete-Wavelength LED Solar Simulator", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, No. 18, pp. 3364-3370, 2006.
- [25] Epia. "Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019", *Solar Power Europe (SPE)*. Formerly Known As Epia – European Photovoltaic Industry Association, 2015.
- [26] Pidwirny, M., "Atmospheric Effects on Incoming Solar Radiation", *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>, 2018.
- [27] Ndiaye, A., Kébé, C. M. F., Ndiaye, P. A., Charki, A., Kobi A., and Sambou V. "Impact of Dust on the Photovoltaic (PV) Modules Characteristics after an Exposition Year in Sahelian Environment: the Case of Senegal", *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 8, No. 21, pp. 1166-1173, 2013.
- [28] Ettah, E. B., Udoimuk, A. B., Obiefuna, J. N., and Opara, F. E. "The Effect of Relative Humidity on the

*Efficiency of Solar Panels in Calabar, Nigeria.*  
*Universal*", Journal of Management and Social  
Sciences, Vol. 2, No. 3, pp. 8-11, 2012.