DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.1.2.6

Archive of SID

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۸/ ۱۲ / ۱۲

سال هشتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص ص ۱۳- ۲۰

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

بررسی تجربی اثر رسوب آلودگی بر روی پنل‌های فتوولتاییک در فضای باز

معراج رجائی[۱*]، کردستان چلاسی[۲]

۱-استادیار دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران

۲- دانشجوی دپارتمان مهندسی برق دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران

* تهران، ۱۴۳۵۷۶۱۱۳۷، mrajaee@tvu.ac.ir

چکیده

برنامه‌ریزی جهت بهره برداری بهینه از انرژی خورشیدی نیازمند ارزیابی سیستم‌های خورشیدی مخصوصا سیستم‌های فتوولتاییک در شهرهای مختلف کشور می‌باشد. سلول‌های فتوولتاییک تحت تأثیر عواملی از قبیل درجه حرارت بالا، نشست گردوغبار، اتلافات الکتریکی و طوفان‌های شدید می‌باشند. وجود ریز گردها در آسمان ایران باعث رسوب گرد و غبار بر سطح پنل‌های فتوولتاییک می‌شود و راندمان پنل‌های فتوولتاییک را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش به عوامل طبیعی موثر بر عملکرد پنل‌های فتوولتاییک که عبارتند از شدت تابش نور خورشید، دما، رطوبت، جریان باد، برف و گردوغبار اشاره شده است. همچنین جهت تمیز کردن پنل‌های خورشیدی از هر نوع آلودگی، به چند نوع سیستم تمیز کننده خودکار اشاره شده است. آزمایشات تجربی جهت ارزیابی تاثیر گردوغبار بر پارامترهای مهم پنل فتوولتاییک در فضای باز انجام شدند. نشست گردوغبار بر سطح پنل موجب کاهش ۳٪ ولتاژ، ۴۲٪جریان، ۴۶٪ توان و افزایش ۳٪ دما پنل آلوده نسبت به پنل تمیز گردید. مقایسه‌ای بین پنل تمیز با پنل‌های آلوده به گردو غبار و شن و ماسه انجام گرفت . در نتیجه آن، میزان ولتاژ و جریان مربوط به پنل با $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰شن و ماسه به ترتیب۲ ٪ و ۴٪ کاهش بیشتری نسبت به ولتاژ و جریان پنل با $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰گردو غبار داشته است. برای کاهش اثرات آلودگی و افزایش بازده باید پنل‌های فتوولتاییک به طور مرتب با استفاده از سیستم های تمیز کننده که نیاز به آب و نیروی انسانی را به حداقل برساند تمیز شوند.

کلیدواژگان: پنل خورشیدی، گردوغبار، شن، سیستم تمیز کننده.

Experimental study of the effect of pollution deposit on photovoltaic panels in open space

Meraj rajaee[1*], Kourdistan challasi[2]

1- Department of Electrical and computer Engineering , Faculty of Shariaty, Tehran Branch, Technical and vocational University, Tehran

2- Department of Electronic Engineering, Faculty of Shariaty, Tehran

* P.O.B. 1435761137, Tehran, Iran, mrajaee@tvu.ac.ir

Received: 07 October 2019 Accepted: 02 March 2020

Abstract

Planning for optimal utilization of solar energy requires evaluation of solar systems, especially photovoltaic systems in different cities of the country. Photovoltaic cells are affected by factors such as high temperature, dust deposition, electrical losses and severe storms. The presence of dust in the sky of Iran causes dust deposition on the surface of the photovoltaic panels and greatly affects the efficiency of photovoltaic panels. In this study, natural factors affecting the performance of photovoltaic panels such as the intensity of sunlight, temperature, humidity, wind current, snow and dust are mentioned. Also, several types of automatic cleaning systems are mentioned to clean the solar panels from any contamination. Experimental tests were conducted outdoors to evaluate the effect of dust on the important parameters of the photovoltaic panel. Dust deposition on the panel surface caused 3% decrease in voltage, 42% decrease in current, 46% decrease in power and 3% increase in the temperature of the contaminated panel compared to the clean panel. Comparisons between clean panel and panels contaminated with dust and sand were made. As a result, the voltage and current of the panel with 10 $\frac{gr}{m^2}$ of sand decreased 2% and 4% more than the voltage and current of the panel with ۱۰ $\frac{gr}{m^2}$ of dust. Photovoltaic panels should be cleaned regularly using cleaner systems that minimize the need for water and manpower to reduce the effects of pollution and increase the efficiency.

Keywords: Solar Panel, dust, sand, Cleaning System

www.SID.ir

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

Archive of SID

۱- مقدمه

با افزایش تقاضا برای استفاده از یک منبع انرژی پاک و پتانسیل خورشید به‌عنوان یک منبع انرژی رایگان، تبدیل انرژی خورشیدی به عنوان بخشی از مخلوط منابع انرژی تجدید پذیر به طور فزاینده‌ای مهم است.

کشورمان ایران در نواحی پرتابش واقع است، مطالعات نشان می‌دهد استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب است. اما از جهتی موقعیت جغرافیایی ایران به گونه‌ای است که در بیشتر شهرهای کشور، تمرکز نسبتا بالایی از گردوغبار در جو وجود دارد. همچنین بیش از ۳۰٪ از مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه خشک در بر می‌گیرد [۱]. جنوب شرق ایران به عنوان یکی از مناطق اصلی گردوغبار در جهان شناخته می‌شود [۲]. شکل ۱، ریزگردهای موجود در آسمان ایران را نشان می‌دهد.

شکل ۱ ریز گردهای موجود در آسمان ایران

همین مسئله باعث نشست مقدار زیادی گردوغبار بر سطح پنل‌های فتوولتاییک می‌شود در نتیجه کارآیی پنل خورشیدی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. گرد و غبار با چگالی $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰ می‌تواند حداکثر توان فتوولتاییک را تا حدود ۳۴ ٪ کاهش دهد [۳]. تولید برق در پنل آلوده بعد از ۵۵ روز ۹ ٪ کاهش داشته است [۴]. در شهر بغداد عملکرد پنل‌های فتوولتاییک ناشی از تجمع گرد و غبار روی سطح آن‌ها که تحت شرایط نوردهی طبیعی بودند، کاهش ۶,۲۴٪، ۱۱,۸٪، ۱۸,۷۴٪، روزانه، هفتگی و ماهانه را دارا بوده است [۵]. مطالعه تطبیقی سه سیستم فتوولتاییک یکسان در یک پارک تجاری در لس آنجلس نشان داد که تلفات سیستم سالانه به علت آلودگی گرد و غبار به ۵٪ رسید[۶]. برای کاهش این اثرات، پنل‌های فتوولتاییک باید به صورت دوره‌ای، معمولا با آب تمیز شوند. به خاطر کمبود آب در برخی از جاها، تمیز کردن سخت، چالش برانگیز و متعاقبا پرهزینه است. بنابراین بیشتر تلاش‌ها در این جهت است که از مکانیزم‌های تمیزکننده خودکار استفاده شود، به طوری که نیاز به آب و نیروی انسانی را به حداقل برساند. با استفاده از تمیز کننده الکترواستاتیک با اعمال ولتاژ ۹ v و فرکانس ۱ kHz، از $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰۰ گردوغبار حدود ۷۰ ٪ آلودگی از روی پنل پاک شدند [۷]. روبات ایکوپیا، عملیات تمیز کردن پنل‌های فتوولتاییک را بدون آب انجام می‌دهد، که موجب صرفه جویی در مصرف آب و حذف ۹۹ ٪گرد و غبار می شود [۸].

۲- عوامل طبیعی موثر بر عملکرد پنل‌های فتوولتاییک

۲-۱- شدت تابش نور خورشید

هنگامی که گردوغبار روی سطح پنل‌های فتوولتاییک رسوب می‌کند تأثیر آن بر روی صفحات در سه عامل می‌توان نشان داد. اولین اثر کاهش شدت تابش است. به طور کلی، سطح پنل فتوولتاییک از شیشه محکم ساخته شده است با بیش از ۹۱٪ پراکنش. هنگامی که گردوغبار روی صفحه شیشه‌ای تجمع می‌کند، گردوغبار نور تابشی بر پنل فتوولتاییک را خنثی می‌کند، به طوری که انتقال صفحه شیشه‌ای ضعیف می‌شود و مقدار واقعی از نور خورشید دریافت شده توسط پنل فتوولتاییک کاهش می‌یابد.

۲-۲- دما

تولید نیروی یک سلول خورشیدی به شدت تحت‌تاثیر دمای محیط خود قرار دارد. بیشتر سلول‌های خورشیدی برای کار در دمای استاندارد ۲۵ c^o تنظیم شده‌اند و هر افزایشی در دمای محیط سلول‌های خورشیدی منجر به تجزیه و تحلیل عملکرد سلول می‌شود. دما تاثیر عمده‌ای بر خروجی ولتاژ سلول فتوولتاییک و تاثیر بسیار کمی بر جریان دارد. عملکرد مداوم یک سلول خورشیدی در دمای بالا باعث کاهش کارایی آن و همچنین طول عمر می‌گردد. با این حال دمای پایین‌تر از دمای استاندارد به سلول آسیب نمی‌رساند.

۲-۳- رطوبت

رطوبت بر عملکرد یک سلول فتوولتاییک در دو روش تاثیر می‌گذارد، یکی از آن‌ها تغییر مسیر نور ناشی از قطرات آب موجود در اتمسفر به عنوان ذرات بخار آب است. این امر منجر به تنزل در سطح پذیرش مولفه مستقیم تابش خورشیدی می‌شود که منجر به عملکرد پایین می‌شود. اثر دیگر رطوبت ناشی از حضور ذرات آب در اطراف سلول است. حضور رطوبت بیشتر در نزدیکی سلول برای مدت طولانی می‌تواند باعث آسیب به سلول شود و طول عمر سلول را کاهش دهد.

۲-۴- جریان باد

گردش هوا و جریان باد نقش مهمی در تاثیرگذاری بر عملکرد پنل فتوولتاییک دارد. با افزایش سرعت هوا، دمای محیط اطراف سلول کاهش می‌یابد، که منجر به کارایی بهتر می‌شود. این هم چنین به پاک کردن ذرات گردوغبار رسوب شده در سطح سلول کمک می‌کند. پس از پاک شدن ذرات گردوغبار، فوتون‌های بیشتری می‌توانند به سطح پنل برسند درنتیجه توان بیشتری تولید می‌شود.

۲-۵- برف

در مناطقی که برف شدیدی می‌بارد پنل‌ها باید جایی نصب شوند که برف بتوانند به آسانی از روی آن‌ها پارو شود. در سیستم هایی با شیب زیاد، برف به راحتی پارو شده و به پایین می‌لغزد ولی در سیستم هایی با زوایه ۴۵ درجه و یا بیشتر، تنها ۲ یا ۳ روز آفتابی کافی است تا برف آب شود.

۲-۶- گردوغبار

بیشتر پنل‌های خورشیدی در جایی نصب می‌شوند که هیچ مانعی بین پنل خورشیدی و تابش خورشید وجود نداشته باشد، همین مورد راه را برای رسوب گردو غبار حمل شده با باد بر روی پنل فتوولتاییک فراهم می‌کند. گردوغبار را می‌توان ذرات جامد ریز با قطر کمتر از μm ۵۰۰ تعریف کرد. ذرات گرد و غبار ممکن است برروی پنل صاف و یکنواخت باشند و یا با توجه به عوامل مختلف مانند خواص گردوغبار (نوع ماده شیمیایی گردوغبار، مواد زیستی و الکترواستاتیکی، ضخامت، اندازه، شکل و وزن) یا ویژگی‌های محیطی (دما،

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت باد، رطوبت محیط، پوشش گیاهی محلی، ترافیک عابر پیاده، وسایل نقلیه، آلودگی هوا) همچنین ویژگی‌های پنل خورشیدی (زاویه و جهت گیری سیستم فتوولتاییک، بافت سطح پنل فتوولتاییک و ویژگی‌های پوششی) به طور یکسان توزیع نشده باشند[۹].

۳- پاک سازی خودکار ماژول‌های خورشیدی

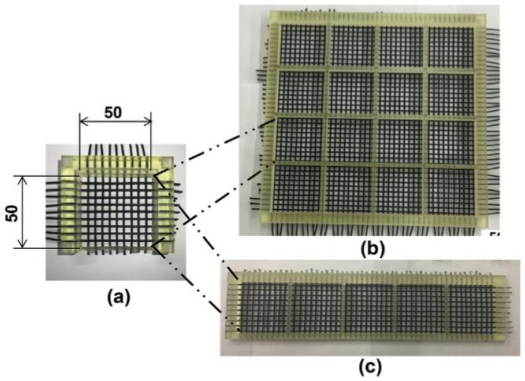
با توجه به اینکه بارندگی نقش قابل توجهی در قابلیت تمیز کردن ماژول‌های خورشیدی دارد، باید گفته شود که اغلب بارندگی‌ها به دلیل وجود انواع خاک سیمانی و چسبناک، کفایت نمی‌کند. با این حال تمیز کردن صفحات خورشیدی همیشه ساده نیست. برای شروع، مساله قابلیت دسترسی وجود دارد. با توجه به این واقعیت که پنل‌های فتوولتاییک اغلب در نواحی خطرناک و دشوار قرار دارند، تمیز کردن آن‌ها به صورت دستی کار دشواری است و زمان زیادی برای ایمنی انجام دادن آن لازم است. راه‌حل منطقی تمیز کردن خودکار و مستقل آن‌ها است. پارامتر الکتریکی پنل خورشیدی نسبت به تراکم گرد و غبار حساس است، بنابراین فراهم کردن مکانیزم تمیز کردن خودکار برای حذف ذرات گرد و غبار از سطح پنل خورشیدی به منظور حصول اطمینان از عملکرد بالا بسیار ضروری است.

۴- سیستم‌های تمیز کننده پنل فتوولتاییک

با توجه به تحقیقات اخیر و آزمایش‌های انجام گرفته در زمینه سیستم-های تمیز کننده پنل فتوولتاییک، روشن است که یک راه حل جهانی برای تمیز کردن گردوخاک وجود ندارد، زیرا مناسب بودن آن بستگی به عوامل مختلف دارد. بنابراین، راه حل بهینه با توجه به عوامل محیطی و دیگر عوامل انتخاب می‌شود[۱۰].

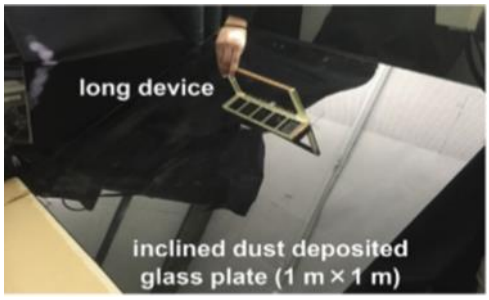
۴-۱- سیستم تمیز کننده الکترو استاتیک

شکل ۲، سیستم تمیز کننده الکترواستاتیک [۱۱] را نشان می‌دهد. در این سیستم، ولتاژ متناوب بالا بین الکترودها روی صفحه موازی تنظیم شده در یک قاب اعمال می‌شود. ذرات گرد و غبار در سطح پنل توسط میدان الکترواستاتیک متناوب در مجاورت الکترودهای صفحه پایین متلاطم می‌شوند و با عبور از الکترود صفحه بالایی به بیرون می‌ریزند. سپس توسط نیروی گرانش پایین می‌افتند. این تجهیزات تنها هنگامی روی پنل فتوولتاییک قرار می‌گیرد که پنل آلوده باشد. سیستم تمیز کننده الکترواستاتیک برای ذرات با ضخامت بیشتر نسبت به ذرات با ضخامت کمتر عملکرد بهتری دارد.



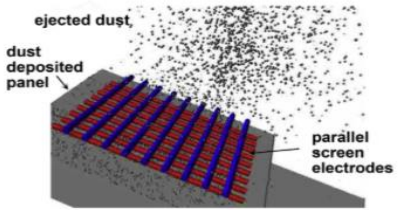
شکل ۲ سیستم تمیز کننده الکترواستاتیک

شکل ۳، سیستم تمیز کننده را که بر روی یک صفحه شیشه‌ای شیب دار دارای گرد و غبار قرار داده شده است را نشان می‌دهد، به طوری که الکترود صفحه پایین در تماس با گرد و غبار رسوب شده قرار دارد.



شکل۳ سیستم تمیز کننده قرار گرفته بر روی شیشه شیب دار

شکل۴، گردوغبار جدا شده از روی پنل فتولتاییک را نشان می‌دهد.



شکل ۴ گردوغبار جدا شده از روی پنل فتوولتاییک

۴-۲- روبات تمیز کننده پنل فتوولتاییک

از جمله روبات‌هایی که برای شستشوی پنل مورد استفاده قرار می‌گیرد. روبات تمیز کننده پنل [۱۲] ، ساخت ایتالیا است. در این روبات، سیستم شستشوی پنل به طور کامل مستقل است، روبات دارای عملکرد دو برنامه ریزی و از طریق یک سنسور باران و با استفاده از جت آب است. این روش، تمیز کردن ثابت و یکنواخت را فراهم می‌کند. این سیستم مدولار، با نظارت ممکن و مدیریت از سایت راه دور است. روبات به هیچ قاب اضافی نیاز ندارند. می‌توان آن را بر روی سیستم‌های زمین، ساختمان‌ها، سقف قله‌دار و یا سقف کم شیب

www.SID.ir

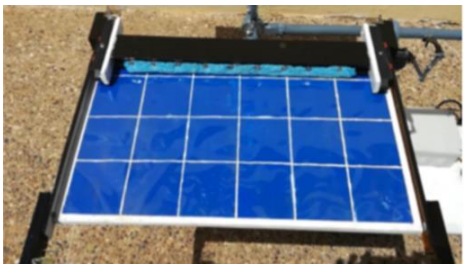
Archive of SID

نصب کرد. برای نظارت مستمر، روبات پیام‌های متنی را به تلفن همراه ارسال می‌کند و امکان کنترل آن به صورت آنلاین وجود دارد. تصویری از این روبات در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵ روبات تمیز کننده پنل فتوولتاییک

۴-۳- قلم مو تمیز کننده پنل فتوولتاییک

شکل ۶، قلم مو تمیز کننده پنل فتوولتاییک [۱۳] را نشان می‌دهد. قلم مو در کل سطح پنل با استفاده از یک راهنمای غلطکی حرکت می‌کند و موجب تمیز شدن سطح پنل از هر نوع آلودگی می‌شود.



شکل ۶ قلم مو تمیز کننده پنل فتوولتاییک

۵- تحقیقات تجربی

آزمایشات فتوولتاییک برای بررسی اثر گرد و غبار، شن و ماسه بر کارایی تولید توان فتوولتاییک تنظیم و انجام شدند.

۵-۱- بررسی اثر گردو غبار بر خروجی پنل فتوولتاییک

برای بررسی تاثیر گردوغباری که به مدت یک ماه به طور طبیعی بر سطح پنل فتوولتاییک رسوب می‌کند، دو پنل مشابه از چهار تیر ماه الی چهار مرداد ماه در فضای باز قرار داده شدند. پارامترهای مرتبط به پنل گروه کنترل و پنل گروه تجربی هر روز از ساعت اولیه صبح (۱۹:۰۰) ~ (۷:۰۰) بررسی و ثبت شده اند سپس در انتها میانگین مقادیری که در یک ساعت ثبت شده اند حساب شدند. دو ماژول نوع پلی کریستال w ۵ ساخت شرکت تابان برای انجام این مرحله از آزمایش انتخاب شدند. مشخصات پنل در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱ مشخصات فنی پنل فتوولتاییک مورد استفاده در آزمایش.

پارامتر الکتریکی عملکرد ماژول فتوولتاییک	
توان ماکزیمم	۵w
ولتاژ ماکزیمم	۱۷,۲v
جریان ماکزیمم	۰,۳۰A
ولتاژ مدار باز	۲۱,۶ v
جریان اتصال کوتاه	۰,۳۱A

شکل ۷، پنل خورشیدی قرار گرفته در معرض گردو غبار در انتهای ازمایش را نشان می‌دهد.

شکل ۷ پنل خورشیدی قرار گرفته در معرض گردو غبار بعد از ۳۰ روز

انتخاب محل مناسب برای انجام آزمایش نیازمند دو شرط ساده است. در زیر به آن‌ها اشاره شده‌است.

- در طول روز هیچ سایه‌ای توسط هیچ وسیله‌ای ایجاد نشود.
- دسترسی آسان برای راه اندازی و ثبت اطلاعات.

با در نظر داشتن این موارد، محل انجام آزمایش پشت بام ساختمان آموزش واقع در فاز یک دانشکده فنی حرفه‌ای دختران دکتر شریعتی استان تهران نهایی شد. بهترین جهت قرار گیری پنل خورشیدی با توجه به زاویه تابش خورشید در تهران به سمت جنوب است، بنابراین در این آزمایش نیز پنل‌های فتوولتاییک در جهت جنوب نصب شدند. محل انجام آزمایش و تجهیزات مورد استفاده در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۸ تجهیزات و محل انجام آزمایش

در این آزمایش به اندازه گیری و ثبت داده‌های زیر پرداخته شد.

- ولتاژ مدار باز
- جریان اتصال کوتاه
- دمای پنل تمیز و پنل آلوده

www.SID.ir

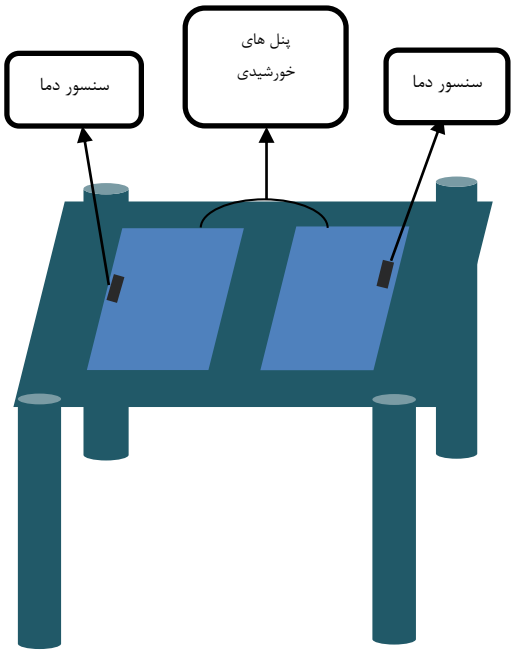
Archive of SID

ولتاژ و جریان به وسیله مولتی متر Ut30c با حداکثر ظرفیت نمایش ۴ رقم و دماها نیز توسط دو سنسور lm35 با دقت °c ۰,۵ در دمای °c ۲۵ اندازه گیری شدند. جدول ۲ مشخصات فنی قطعات مورد استفاده درج شده است.

جدول ۲ مشخصات فنی قطعات مورد استفاده در آزمایش.

شماره	قطعه	نوع	مشخصات فنی	
۱	مولتی متر	Ut30c	ولتاژ dc:	۲۰۰m -۵۰۰ v
			جریان dc:	μ ۲۰۰۰ - ۱۰ A
۲	سنسور دما	Lm35	محدوده دما:	-۵۰ c° -۱۵۰c°
			عملکرد:	۴ v – ۳۰v
۳	نرم افزار	متلب	ورژن:	۲۰۱۳
۴	مقاومت متغیر	-	محدوده تغییر:	۰ - ۵ kΩ

شکل ۹، موقعیت قرار گیری سنسورهای دما بر روی پنل‌ها را نشان می‌دهد. برای اندازه گیری دقیق دما بردهای مربوط به سنسور ها را تا حد امکان با کمترین فاصله از سنسورها قرار داده شدند. تغذیه مدارات سنسور دما توسط پنل فتوولتاییک تامین شدند. در این قسمت از آزمایش گزارش عملکرد سیستم فتوولتاییک به علت رسوب گرد و غبار در مقایسه با یک پنل فتوولتاییک تمیز تحلیل شد، که شامل مقایسه و ثبت پارامترهای مختلف در شکل گرافیکی است.



شکل ۹ موقعیت قرار گیری سنسور دما بر روی پنل

۵-۲- مقایسه اثر گردو غبار، شن و ماسه بر خروجی پنل فتوولتاییک

برای انجام این مرحله از آزمایش چهار ماژول نوع پلی کریستال w ۵۰ و مقاومت متغیر kΩ ۵ انتخاب شدند. مشخصات پنل استفاده شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۳ مشخصات فنی پنل فتوولتاییک مورد استفاده در آزمایش

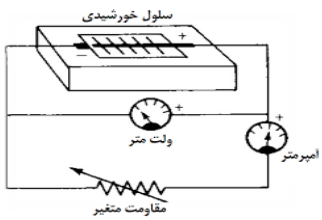
پارامتر الکتریکی عملکرد ماژول فتوولتاییک	
توان ماکزیمم	۴۹,۴ w
ولتاژ ماکزیمم	۱۷,۵ v
جریان ماکزیمم	۲,۹ A
ولتاژ مدار باز	۲۱,۶ v
جریان اتصال کوتاه	۳,۱۸ A

در این بررسی از چهار پنل مشابه استفاده شده است. بر روی سطح پنل‌های گروه تجربی به ترتیب ۱۰ گرم گرد و غبار، ۱۰ گرم شن و ماسه و بر روی پنل چهارم، ۲۰ گرم شن و ماسه پخش شده است. برای نمونه برداری از ذرات گردوغبار، در یک ایستگاه در پشت بام ساختمان آموزش دانشکده دکتر شریعتی یک سطح شیشه‌ای به مدت یک هفته قرار داده شد. سپس گردوغبار جمع آوری شده به روش دستی که از روش‌های غیر فعال است روی سطح پنل فتوولتاییک، به طوری که در تمام سطح یکسان باشد پخش شد.

در شکل ۱۰، پنل استفاده شده در این مرحله از آزمایش نشان داده شده است.

شکل۱۰ پنل استفاده شده برای مقایسه اثر گردو غبار، شن و ماسه بر خروجی پنل فتوولتاییک

شکل ۱۱ نحوه قرار گیری ولت متر و آمپر متر در مدار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ نحوه قرار گیری ولت متر و آمپر متر در مدار

www.SID.ir

Archive of SID

۶- نتایج آزمایش تجربی

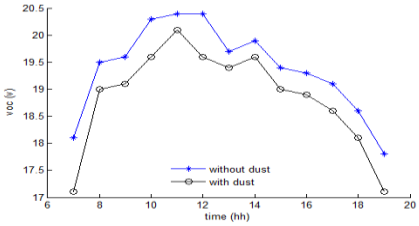
۶-۱- مقایسه دو پنل تمیز و آلوده با گردو غبار

مقادیر ولتاژ مدار باز و شدت جریان اتصال کوتاه متناظر با آن توسط واحد اندازه گیری ثبت گردید و منحنی مشخصه جریان و ولتاژ رسم شدند و با استفاده از رابطه (۱) منحنی توان متناظر با ولتاژ و جریان رسم شد.

$$p = v_{oc} \times I_{sc} \qquad (۱)$$

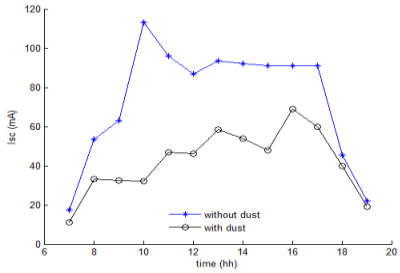
در شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تاثیر گرد و غبار بر ولتاژ، جریان، توان و دمای پنل فتوولتاییک بعد از یک ماه به طور آشکارا نشان داده شده است. با توجه به این که اندازه گیری مقادیر از ساعت اولیه صبح (۷:۰۰) ~ (۱۹:۰۰) ادامه داشته است، در ساعات اولیه به دلیل شدت تابش کم نور خورشید، خروجی پنل دارای مقدار کمی می‌باشد با گذشت زمان و افزایش شدت تابش نور خورشید میزان مقادیر نیز افزایش می‌یابد این روند ادامه می‌یابد تا انتهای روز که دوباره شدت تابش نور خورشید به دلیل غروب آفتاب کم می‌شود، مجدد با افت مقادیر روبرو هستیم. شدت تابش خورشیدی که به سلول می‌رسد بیشتر جریان (I) را کنترل می‌نماید، در حالی که افزایش دمای سلول فتوولتاییک از طرف دیگر ولتاژ آن (V) را کاهش می‌دهد.

شکل ۱۲، تاثیر گردوغبار بر ولتاژ پنل فتوولتاییک را نشان می‌دهد. تجمع گردوغبار بر سطح پنل فتوولتاییک باعث کاهش ۳ ٪ ولتاژ پنل آلوده نسبت به پنل تمیز شده است.



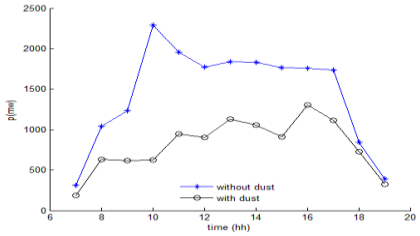
شکل۱۲ تاثیر گردوغبار بر ولتاژ مدار باز
(پنل تمیز – پنل آلوده)

شکل ۱۳، تاثیر گردوغبار بر جریان اتصال کوتاه پنل فتوولتاییک را نشان می‌دهد. رسوب گردوغبار بر سطح پنل فتوولتاییک باعث کاهش۴۲ ٪ جریان پنل آلوده نسبت به پنل تمیز شده است.



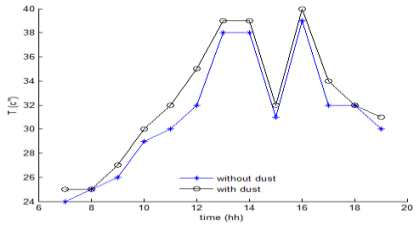
شکل ۱۳ تاثیر گردوغبار بر جریان اتصال کوتاه
(پنل تمیز – پنل آلوده)

شکل ۱۴، تاثیر گردوغبار بر توان پنل فتوولتاییک را نشان می‌دهد. وجود گردوغبار موجب کاهش توان پنل به میزان ۴۶ ٪ نسبت به پنل آلوده شده است.



شکل ۱۴ نمودار توان (پنل تمیز – پنل آلوده)

شکل ۱۵، تاثیر گردو غبار بر دمای پنل فتوولتاییک را نشان می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد که رسوب گردو غبار باعث افزایش۳ ٪ دمای پنل آلوده نسبت به دمای پنل تمیز شده است.

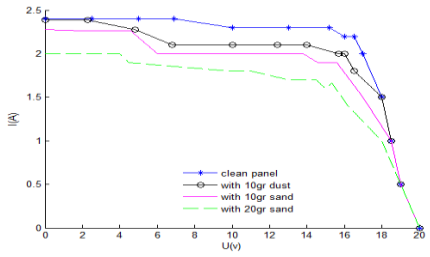


شکل ۱۵ تاثیر گردو غبار بر دمای پنل

۶-۲- مقایسه پنل تمیز با پنل های آلوده به گردو غبار، شن و ماسه

شکل ۱۶، نتیجه مقایسه پنل تمیز با پنل‌های الوده به گرد و غبار، شن و ماسه به صورت نمودار جریان - ولتاژ را نشان می‌دهد.

ولتاژ پنل آلوده به $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰گردوغبار، $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰شن و ماسه و $\frac{gr}{m^2}$ ۲۰شن و ماسه در برابر ولتاژ پنل تمیز هر کدام به ترتیب ۳ ٪، ۵ ٪ و ۷ ٪ کاهش داشته است. همچنین جریان نیز به ترتیب۹ ٪، ۱۳٪ و ۲۴٪ کاهش داشته است. هنگامی که تراکم گرد و غبار از مقدار معینی بیشتر شود، ولتاژ و جریان پایدار خواهند شد، یعنی اثر گردوغبار بر این دو پارامتر به حداکثر رسیده است. همچنین نشان می دهد که گرد و غبار بیشترین تاثیر را در عملکرد خروجی فتوولتاییک در مرحله اولیه تجمع آلودگی دارد.

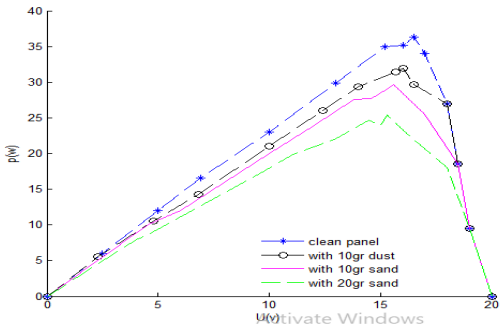


شکل۱۶ مقایسه نمودار ولتاژ - جریان
(پنل تمیز با پنل‌های الوده به گردو غبار و شن)

شکل ۱۷، نتیجه مقایسه پنل تمیز با پنل‌های الوده به گردو غبار، شن و ماسه به صورت نمودار توان - ولتاژ را نشان می‌دهد. با افزایش تراکم گرد و غبار ، شن و ماسه بالاترین نقطه توان به تدریج به سمت چپ حرکت می‌کند، یعنی ولتاژ خروجی و مقدار حداکثر توان خروجی فتوولتاییک به تدریج کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۷ مقایسه نمودار ولتاژ - توان
(پنل تمیز با پنل‌های الوده به گردو غبار و شن)

درصد کاهش توان پنل‌ها نیز با توجه به توان ماکزیمم خروجی در حالت بدون آلودگی و توان ماکزیمم خروجی هر کدام از پنل‌های آلوده با توجه به رابطه ۲ و عامل پر کننده هر کدام از پنل‌ها نیز طبق رابطه ۳ به دست آمدند. همچنین جهت اندازه گیری بازده تبدیل از رابطه ۴ استفاده شد که در آن شدت تابش خورشید، از میزان توان تابشی اعلام شده از طرف سازمان هوا شناسی در چهار مرداد، ساعت ۱۵:۰۰ که برابر با $(\frac{w}{m^2})$ ۵۵۶ استفاده شده است.

$$\Delta p = \frac{p_c - p_D}{p_c} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

$$ff = \frac{p_{max}}{v_{oc} \times I_{sc}} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

$$\eta = \frac{Voc\ Isc}{Ps\ \mathcal{A}} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

مقادیر به دست آمده از درصد کاهش توان و عامل پر کننده و بازده تبدیل در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۳ مقادیر به دست آمده از درصد کاهش توان، عامل پر کننده و بازده تبدیل

میزان آلودگی	درصد کاهش توان پنل‌های آلوده نسبت به پنل تمیز (٪)	عامل پرکننده (٪)	بازده تبدیل (٪)	دما
بدون آلودگی	-	۷۵	۱۹,۲	۱۸,۵۵
۱۰ گرم گردوغبار	۱۱,۸۴	۶۸	۱۹,۱	۱۸,۶۰
۱۰ گرم شن‌وماسه	۱۸,۳۴	۶۵	۱۸,۲	۱۸,۸۰
۲۰ گرم شن‌وماسه	۳۰,۰۵	۶۳	۱۶	۱۸,۸۹

۷ - نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا عوامل محیطی موثر بر عملکرد پنل فتوولتاییک اشاره شده است. جهت تمیز کردن پنل‌های فتوولتاییک چند نوع سیستم تمیز کننده اشاره شده است. سپس با انجام ازمایشات تجربی تاثیر گردوغبار بر خروجی پنل خورشیدی به صورت رسم نمودار گرافیکی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقایسه‌ای از تاثیر گردو غبار، شن و ماسه بر پنل فتوولتاییک انجام گرفت.

- میانگین ولتاژ مدار باز پنل تمیز در ساعت هفت صبح به دلیل شدت تابش کم نور خورشید، دارای مقدار۱۸,۱۷ بوده و با گذشت زمان و افزایش شدت تابش نور خورشید در ساعت دوازده میانگین ولتاژ مدار باز به مقدار ۲۰,۴ V افزایش یافته است.
- گردوغبار بر سطح پنل موجب افزایش دمای پنل می شود که به نوبه خود باعث کاهش چشم گیر پارامترهای خروجی می‌گردد.
- گرد و غبار و شن و ماسه تاثیر بیشتری در جریان اتصال کوتاه و تاثیر کمتر بر ولتاژ مدار باز پنل خورشیدی دارد به طوری که در پنل آلوده پس از یک ماه جریان ۳۹٪ و در پنل آغشته به $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰شن و ماسه ۸ ٪ کاهش بیشتری نسبت به ولتاژ داشته است.
- درصد کاهش بازده تبدیل پنل آلوده به، $\frac{gr}{m2}$ ۱۰گردوغبار، $\frac{gr}{m2}$ ۱۰شن و ماسه، $\frac{gr}{m2}$ ۲۰شن و ماسه نسبت به پنل تمیز، به ترتیب ۰,۵۲٪ ، ۰,۵٪، ۱۶٪ و درصد کاهش عامل پر کننده نیز ۹٪ ، ۱۳٪ ، ۱۶٪ بوده است.
- پنل آلوده به $\frac{g}{m^2}$ ۱۰ شن و ماسه افزایش دمای بیشتری نسبت به پنل آلوده به $\frac{g}{m^2}$ ۱۰ گرده غبار داشته است به طوری که پنل آغشته به شن و ماسه دارای دمای ۱۸,۸۰ c° و پنل آغشته به گردوغبار دارای دمای ۱۸,۶۰ c° بوده است.

۸- فهرست علائم

I_{SC}	جریان اتصال کوتاه (A)
V_{OC}	ولتاژ مدار باز (v)
p_{max}	توان ماکزیمم (w)
P_D	توان ماکزیمم پنل آلوده (w)
P_C	توان ماکزیمم پنل تمیز (w)
ff	عامل پرکننده
R	مقاومت (Ω)
F	فرکانس (hz)
ρ	چگالی $(\frac{gr}{m^2})$
Δp	درصد کاهش توان
T	دما (c°)
P_s	توان تابش خورشید $(\frac{w}{m^2})$
A	مساحت سطح پنل
η	بازده تبدیل

۹- مراجع

[1] Modarres, R , "*Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran*", *Journal of Arid Environments*, July 2008, 2008, vol.72, pp.1329-42.

[2] Yaping, S., KarlHeinz, W., Adrian, C., Huang, J., Lin, Z., & McTainsh, G, "*An emerging core theme in Earth system science*", *Aeolian Research*, March 2011, vol.2, pp.181-204.

[3] yingya chen, yanfeng liu, zhijun tian, yu Dong, yong zhou, xiaowen wang, Dengjia wang," *Experimental Study on the Effect of Dust Deposition on Photovoltaic Panels*", *Publication of Energy Procedia* ,February 2019, val. 158, pp 483–489.

[4] Vinay Gupta, Prateek Raj, Ankit Yadav, Peeyush Garg , Farhan Nizam," *Investigate the Effect of Dust Deposition on the Performance of Solar PV Module using LABVIEW based Data Logger*", *IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering(ICPCSI)*, Chennai, India ,21-22 Sept. 2017, pp 742-747.

[5] M. Saidan, A.G. Albaali, E. Alasis, J.K. Kaldellis, "*Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment*" , *Renewable Energy*, val.92, july 2016, pp499-505.

[6] Miller J, Jackson J, " *Impact of Soiling and Pollution on PV Generation Performance"*, *Technical Memorandum by Sandia National Laboratories, San José Solar America*; October, 2009.

www.SID.ir

Archive of SID

[7] Hiroyuki Kawamotoa,∗, Bing Guob," *Improvement of an electrostatic cleaning system for removal of dust from solar panels*", *Journal of Electrostatics*, February 2018 , vol.91, Pages 28-33.

[8] *Ecoppia : le nettoyage sans eau des panneaux solaires via des robots… à énergie solaire - L'Atelier BNP Paribas*". Available:https://atelier.bnpparibas/smartcity/article/ecoppia-nettoyage-eaupanneauxsolaires-viarobots-energie-solaire. Accessed 29 Marsh 2018.

[9] Monto Mani, and Rohit Pillai, "*Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations*", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), 3124 3131.

[۱۰] م. محمدی زاده، "*رفع اثر مخرب گرد و غبار از روی سلول های فوتوولتاییک در نیروگاه های خورشیدی نصب شده در شهرها و روستاهای بیابانی*"، *اولین کنگره بین المللی پژوهشهای علوم میان رشته ای در شهرسازی* و معماری، تبریز، ایران، اردیبهشت ۱۳۹۶.

[11] Hiroyuki Kawamotoa, "*Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels"*, *Journal of Electrostatics, vol.*98 . March 2019, Pages 11-16.

[12] Patil P.A., Bagi J.S., Wagh M. M , "*A Review on Cleaning Mechanism of Solar Photovoltaic Panel"* , International Conference *on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing ICECDS,* Chennai, India, 1-2 Aug. 2017, pp.250-256.

[13] Abdelilah Said1, Soukaina Medaghri Alaoui1, Youssef Rouas1, Gauthier Dambrine2, Etienne Menard2, Jay Boardman2 and Abdelfettah Barhdadi1*," Innovative Low Cost Cleaning Technique for PV Modules on Solar Tracker*", *6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 5-8 December. 2018, Rabat, Morocco.

www.SID.ir