مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۰(۱۴۹-۱۳۵)

بررسی تجربی اثر دما و زدایش گردو غبار و شن بر ماژول‌های فتوولتائیک

معراج رجایی [1*]

mrajaee@tvu.ac.ir

کردستان چلاسی [2]

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۵ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۶**

چکیده

زمینه و هدف: وجود ریز گردها در آسمان ایران باعث رسوب گردوغبار بر سطح پنل‌های فتوولتائیک می‌شود. همچنین در اثر فعالیت معادن شن و ماسه در صورت رعایت نشدن اصول زیست محیطی می تواند آسیب های جدی به طبیعت وارد آورده و آلودگی هوا، آب و خاک را به دنبال داشته باشد، به طوری که در برخی استان‌ها معادن شن منشا ایجاد گرد و غبار معرفی شده‌اند. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر گردوغبار، شن و دما بر راندمان پنل‌های فتوولتائیک می‌باشد.

روش بررسی: برای بررسی تاثیر گردوغبار دو پنل مشابه به مدت یک روز در فضای باز قرار گرفتند. یکی از پنل‌ها مجهز به سیستم تمیز کننده میباشد اما پنل دیگر بدون تمیز کننده است. در اثرگذاری دما، هر دو پنل تمیز اما یکی مجهز به سیستم خنک کننده و پنل دیگر بدون سیستم خنک کننده تنظیم شده است. مقایسه بین اثر گذاری گردوغبار و شن، از چهار پنل مشابه استفاده شده است، یک پنل در وضعیت تمیز قرار دارد اما پنل‌های دیگر هر کدام به گردو غبار و شن آغشته شده‌اند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است، در پی نشست گردوغبار بر سطح پنل میانگین ولتاژها، جریان‌ها، توان‌ها بعد از ۱۳ ساعت بترتیب کاهش ۴٪ ، ۲۱٪، ۲۴٪ و افزایش ۴٪ دما پنل آلوده نسبت به پنل تمیز گردید. پنل بدون سیستم خنک کننده میانگین ولتاژها ، جریان‌ها و توان‌ها در طول یک روز بترتیب کاهش ۳٪ ، ۲۵٪ ، ۲۹٪ نسبت به پنل با سیستم خنک کننده داشته است. میزان ولتاژ و جریان مربوط به پنل‌های الوده به شن کاهش بیشتری نسبت به ولتاژ و جریان پنل‌های الوده به گردوغبار داشته است.

بحث و نتیجه گیری: بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش نشست گردوغبار بر سطح پنل و افزایش دمای پنل، موجب کاهش راندمان پنل فتوولتائیک می‌گردد. همچنین گردو غبار تاثیر بیشتر از شن و ماسه بر پنل فتوولتائیک دارد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، پنل فتوولتائیک، گردوغبار، سیستم تمیز کننده.

۱- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشجو،گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 11, February, 2022

Experimental study of the effect of temperature and removal of dust and sand on photovoltaic modules

Meraj rajaee [1*]
mrajaee@tv.ac.ir
Kourdistan challasi [2]

Admission Date:May 26, 2020 Date Received: October 27, 2019

Abstract

Background and Objective: The presence of dust in the sky of Iran causes dust deposition on the surface of photovoltaic panels and greatly affects the efficiency of them. The purpose of this study is to investigate the effect of dust, sand and temperature on the efficiency of photovoltaic panels.

Material and Methodology: Two similar panels were placed outdoors for 1 days to investigate the impact of dust. One of the panels is equipped with a cleaning system, but the other panel is without a cleaner. In the temperature setting, the control panel was equipped with a cooling system but the experimental panel was set without a cooling system. For investigation the effect of dust and sand, four similar panels were used, the control panel was in the clean condition, but the experimental panels were covered with dust and sand.

Findings: The results of this study indicate that dust deposition on the panel surface after 13 hour caused a decrease of 4% in voltage, 21% in current, 24% in power and an increase of 4% in the temperature of the contaminated panel compared to the clean panel. The panel with the higher temperature has a reduction of 3% in voltage, 25% in current and 29% in power in comparison with the lower temperature panel. In addition, the voltage and current of the sandblasted panel decreased more than the voltage and current of the panel contaminated with dust.

Discussion and Conclusion: According to the results of this study, dust deposition on the panel surface and increasing the panel temperature decrease the photovoltaic panel efficiency. Dust also has more impact on the photovoltaic panel than sand.

Keywords: Solar Energy**,** Photovoltaic Panel, dust, Cleaning System.

1- Assistant professor, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Student in, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

مقدمه

بسیاری از مناطقی که پتانسیل تابشی بالایی برای نصب پنل های فتوولتاییک دارند مناطقی با آب و هوای خشک هستند، پدیده ی گردوغبار در این مناطق به شدت بر عملکرد پنل های فتوولتاییک تاثیر می گذارد. این معضل در اقلیم ایران که مکرر با طوفان های گردوغبار مواجه است بسیار جدی تر است. شکل۱، ریزگردهای موجود در آسمان ایران را نشان می‌دهد.

شکل ۱- ریز گردهای موجود در آسمان ایران، اهواز

Figure1. Small dust in the Iranian sky

گرد و غبار با چگالی $۱۰\frac{gr}{m^2}$ می‌تواند حداکثر توان فتوولتائیک را تا حدود ٪۳۴ کاهش دهد(۱). تولید برق در پنل آلوده بعد از ۵۵ روز ٪۹ کاهش داشته است(۲). در قطر میزان تلفات ناشی از تجمع گرد و غبار روی صفحات خورشیدی از طریق انجام ازمایش اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که تحت شرایط نوردهی طبیعی عملکرد فتوولتائیک کاهش روزانه، هفتگی و ماهانه را بترتیب ٪۶,۲۴، ٪۱۱,۸، ٪۱۸,۷۴ دارا بوده است(۳). با گذشت زمان، عملکرد تاسیسات فتوولتائیک در مناطق بیابانی می‌تواند به علت افزایش آلودگی بیش از ۲۰ % کاهش یابد(۴). با استفاده از تمیز کننده الکترواستاتیک با اعمال ولتاژ ۹V و فرکانس ۱ khz برای گردوغبار $\frac{gr}{m^2}$ ۱ حدود ٪۱۰۰ گردوغبار از روی پنل پاک شدند(۵). روبات Ecoppia ، موجب صرفه جویی در مصرف آب و حذف ٪۹۹ گرد و غبار می شود(۶). روبات Gekko solar farm به طور خاص برای تمیز کردن فضاهای خورشیدی گسترده توسعه داده شده است، ظرفیت تمیز کردن تا $۲۰۰۰\ m^2$ در ساعت را دارد(۷).

خصوصیات ذرات گردو غبار

برای درک بهتر نحوه ی تجمع و نشست ذرات گردو غبار بر سطح پنل های فتوولتاییک مشخصه‌های ذرات گردو غبار شامل اندازه ذرات، تحلیل مورفولوژی و ترکیب شیمیایی آن ها نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

اندازه ذرات

در پژوهش های صورت گرفته در این حوزه، برای تعیین اندازه و مورفولوژی توزیع ذرات در بیشتر موارد از روش های نوری، میکروسکوپ الکترونیکی روبشی و میکروسکوپ پروب روبشی بهره گرفته شده است. بررسی پژوهش‌های انجام گرفته نشان میدهد که ذرات ریز تر نسبت به ذرات درشت، تاثیر بیشتری بر عملکرد پنل های فتوولتاییک دارند. در مطالعه‌ای تاثیر نشست خاکستر، سیمان و سه نوع سنگ آهک با قطر ۵، ۱۰، ۵۰، ۶۰ و۸۰ میکرومتر بر عملکرد پنل های فتوولتاییک را تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. ان ها نشان دادند که لایه نشانی با چگالی گردوغبار مساوی ۲۵ $\frac{gr}{m^2}$ اما با قطرهای گوناگون سنگ آهک، ذرات کوچک تر توان خروجی را بیشتر کاهش میدهند. مطالعه آن ها همچنین نشان داد که توان خروجی سامانه فتوولتاییک هنگام لایه نشانی ذرات خاکستر و سیمان به ترتیب، ٪۴۰ و ٪۹۰ و کاهش یافت. همچنین بادهایی با سرعت بالا ذرات درشت را آسان تر و درنتیجه بیشتر جابجا می‌کنند(۸).

تحلیل واکنش های شیمیایی گردوغبار

خصوصیات شیمیایی وکانی شناسی ذرات گردوغبار مشابه خاک منطقه منبع می‌باشد. با این حال، عملکردهای فیزیکی خاک در طول انتشار گرد وغبار می‌تواند خصوصیات شیمیایی گرد وغبار را نسبت به منبع تغییر دهد (۹). مطالعه خواص فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار شهر بیرجند که برخواسته از بیابان‌های اطراف آن مثل دشت لوت می‌باشد نشان داد، ترکیبات محلول Na، K، Mg و Ca که در ذرات گردوغبار به وفور وجود دارد عناصر Caو K بیشترین میزان فلزات محلول در گرد وغبار بوده اند(۱۰). ذرات گردوغبار در اقلیم مرطوب، بخار آب را جذب و یک لایه گل روی پنل می‌نشاند. هنگامی که این لایه تحت حرارت و تابش آفتاب خشک می‌شود، حذف آن از روی پنل دشوتر تر می‌شود. واکنش آب با ذرات گردو غبار به دلیل جذب

موثر مولکول‌های آب توسط خاک به سبب ایجاد ناحیه‌ی عدم تعادل نیرو بین مولکول‌های آب، یون های حل شده و ذرات خاک رخ می‌دهد و به اندازه ذرات گردو غبار بستگی دارد. علاوه بر این گل تشکیل شده در این حالت از منظر شیمیایی فعال است و با سطح در تماس واکنش نشان می‌دهد و تاثیر مهمی بر افزایش نیروی چسبندگی بین گل و سطح تشکیل شده دارد. حل شدن ذرات گردوغبار مانند کلسیت و هالیت، طی واکنش های ۱تا ۳ صورت می‌گیرد. واکنش ۱ نشان دهنده‌ی واکنش هالیت با ملکول های آب است که طی آن کلرید و سدیم به صورت یون های مجزا جدا و در ملکول های آب حل می‌شود. واکنش ۲ نیز، نحوه ی انحلال کربن دی اکسید در آب و تشکیل اسید کربنیک را نشان می‌دهد که در ادامه منجر به انحلال کلسیت در آب (واکنش۳) می‌شود.

$$NaCl + H_2O \rightarrow Na^{+1} + Cl^{-1} + H_2O \quad (۱)$$

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \quad (۲)$$

$$H_2CO_3 + C_aCO_3 \rightarrow Ca^{+2} + 2(HCO_3)^{-1} \quad (۳)$$

دمای سلول

در اکثر سلول‌های سیلیکونی توان خروجی حدود ۰/۵٪ به ازای هر درجه افزایش دما کاهش میابد و در سلول‌های کریستال با راندمان بالا حدود ۰/۳۵٪ و در سلول‌های امورفوس این مقدار بین ۰/۲٪ تا ۰/۳٪ است.

قرار گرفتن طولانی مدت در معرض حرارت محیط ممکن است سبب تدریجی توان خروجی و تضعیف دائمی و زود هنگام پنل شود. بطور کلی منظور از دمای سلول دمای درونی اتصالات PN است. دمای سلول از سرعت بالا و تشعشعات خورشیدی، رطوبت و مشخصات صفحه خورشیدی تاثیر می‌پذیرد. در طراحی سامانه خورشیدی "ضریب دمای سلول" در محاسبه‌ی جبرانسازی دما در تشعشعات خورشیدی و همچنین دماهای محیطی استفاده می‌شود.

$$T_{CELL} = T_{AMB} + (T_{RISE} * E) \quad (۴)$$

T_{CELL} دمای سلول بر حسب درجه سانتی‌گراد

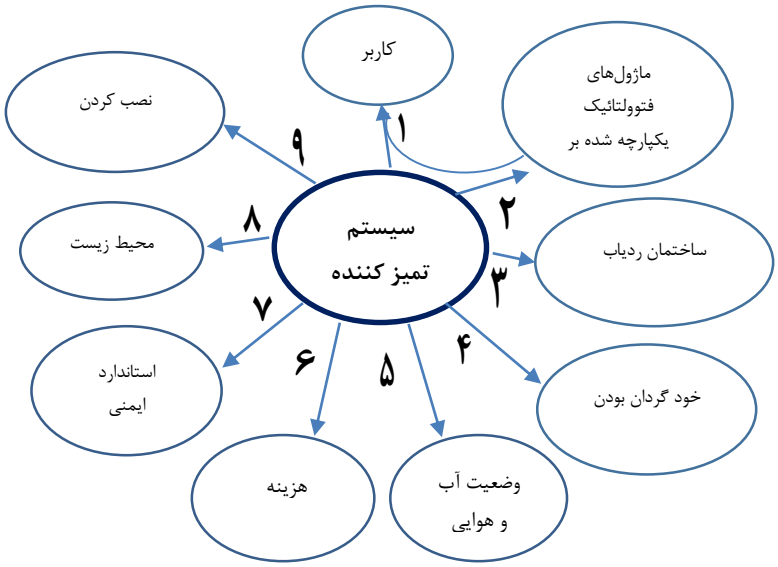
T_{AMB} دمای محیط

T_{RISE} ضریب افزایش دما

E تشعشعات خورشیدی بر حسب کیلو وات

ویژگی سیستم های تمیز کننده پنل 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. راه‌حل منطقی تمیز کردن خودکار و مستقل آن‌ها است. بنابراین، راه حل بهینه با توجه به عوامل محیطی و دیگر عوامل انتخاب می‌شود(۱۱). شکل۲ یک نمایش گرافیکی از ویژگی‌های است که هر سیستم تمیز کننده پنل خورشیدی باید داشته باشد(۱۲).



شکل ۲- نمودار ویژگی‌های سیستم تمیز کننده

Figure2. Diagram of the cleaning system properties.

۱- مجاز بودن کاربر برای تمیز کردن تمام سطح پنل فتوولتائیک.

۲- حفاظت از ماژول‌های فتوولتائیک

۳- هماهنگ با ساختمان ردیاب

۴- مستقل بودن

۵- تطبیق داده با شرایط آب و هوایی

۶- ارزان تر بودن

۷- رعایت استانداردهای ایمنی

۸- عدم آسیب رساندن به محیط زیست

۹- آسان بودن برای مونتاژ

روش بررسی

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

بررسی اثر گرد و غبار بر خروجی پنل فتوولتائیک

برای بررسی تاثیر گرد و غباری که به طور طبیعی بر سطح پنل فتوولتائیک رسوب می‌کند، دو پنل مشابه چهارم تیر ماه در فضای باز قرار داده شدند. پارامترهای مرتبط به دو پنل از ساعت اولیه صبح (۷:۰۰) ~ (۱۹:۰۰) بررسی و ثبت شده اند، سپس در انتها مقادیر روی نمودار نشان داده شدند. همچنین در این قسمت از ازمایش یک فن ۰,۱۵۰A ، ۲۲v نیز به عنوان سیستم تمیزکننده برای زدایش گردو غبار و آلودگی استفاده شد. 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 فتوولتائیک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. The technical specifications of the photovoltaic panel used in testing.

پارامتر های الکتریکی عملکرد ماژول فتوولتائیک	
پارامتر ها	**مقادیر**
توان ماکزیمم	w۵
ولتاژ پیک ماکزیمم	V۲/۱۷
جریان پیک ماکزیمم	A ۳۰/۰
ولتاژ مدار باز	V ۶/۲۱
جریان اتصال کوتاه	A۳۱/۰

شکل ۳، پنل تمیز و پنل آلوده در انتهای آزمایش نشان می‌دهد.

شکل۳- پنل تمیز و پنل آلوده در انتهای روز

Figure 3. Clean panel and contaminated panel at the end of the experiment

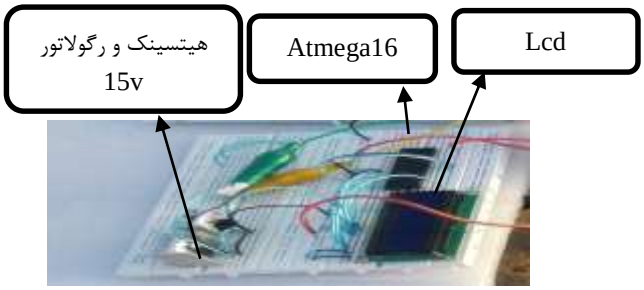
محل انجام آزمایش پشت بام ساختمان آموزش واقع در فاز یک دانشکده فنی حرفه‌ای دختران دکتر شریعتی استان تهران نهایی شد. بهترین جهت قرار گیری پنل خورشیدی با توجه به زاویه تابش خورشید در تهران به سمت جنوب است، بنابر این در این آزمایش نیز پنل‌های فتوولتائیک در جهت جنوب نصب شدند.

محل انجام آزمایش و تجهیزات مورد استفاده در شکل ۴ نشان داده شده است.

شکل۴- تجهیزات و محل انجام آزمایش

Figure 4. Test equipment and location

شکل ۵، اجزاء هر برد نشان داده شده است.



شکل ۵- اجزاء برد سنسور اندازه گیری دما

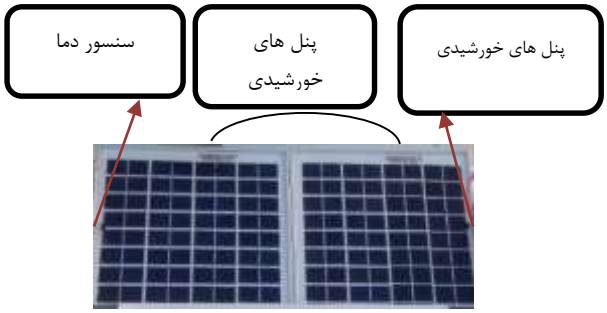
Figure 5. Components of temperature sensor

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

- ولتاژ مدار باز
- جریان اتصال کوتاه
- دمای پنل مجهز به سیستم تمیز کننده، پنل بدون سیستم تمیز کننده

ولتاژ و جریان به وسیله مولتی متر Ut30c با حداکثر ظرفیت نمایش ۴ رقم و دماها نیز توسط دو سنسور lm35 با دقت ۰,۵ c° در دمای ۲۵ c° اندازه گیری شدند.

شکل ۶، موقعیت قرار گیری سنسورهای دما بر روی پنل‌ها را نشان می‌دهد. تغذیه مدارات سنسور دما توسط پنل فتوولتائیک تامین شدند.

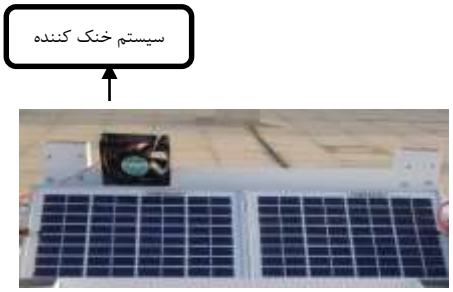


شکل۶ – موقعیت قرار گیری سنسور دما بر روی پنل

Figure 6. Position of the temperature sensor on the panel

بررسی اثر دما و گردوغبار بر خروجی پنل فتوولتائیک

تجهیزات مورد نیاز برای انجام این مرحله از آزمایش در شکل ۷ نشان داده شده است. در این مرحله از آزمایش مجددا پنل‌های فتوولتائیک ۵ W در پنجم تیر ماه در معرض نور خورشید قرار داده شدند. پارامترهای مرتبط به دو پنل از ساعت اولیه صبح (۷:۰۰) ~ (۱۹:۰۰) بررسی و ثبت شده اند. همچنین از یک فن ۲۲v ، ۰,۱۵۰A نیز به عنوان سیستم خنک کننده استفاده شد. دو پنل فتوولتائیک، تمیز و در شرایط یکسان بودند با این تفاوت که یکی از پنل‌ها مجهز به سیستم خنک کننده بود که اما پنل دیگر بدون سیستم خنک کننده تنظیم شد.



شکل ۷- تجهیزات مورد استفاده برای انجام آزمایشات اثر گذاری دما

Figure 7. Equipment used for conducting temperature impact tests

مقایسه اثر گردو غبار، شن و ماسه بر خروجی پنل فتوولتائیک

برای انجام این مرحله از آزمایش در پنجم تیر چهار ماژول نوع پلی کریستال۵۰w و مقاومت متغیر ۵ kΩ انتخاب شدند. مشخصات فنی پنل استفاده شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات فنی پنل فتوولتائیک مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Technical characteristics of the photovoltaic panel used in testing

پارامتر الکتریکی عملکرد ماژول فتوولتائیک	
پارامترها	**مقادیر**
توان ماکزیمم	w۴/۴۹
ولتاژ ماکزیمم	V۵/۱۷
جریان ماکزیمم	A۹/۲
ولتاژ مدار باز	V۶/۲۱
جریان اتصال کوتاه	A۱۸/۳

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. همچنین شن و ماسه نیز از معادن شن و ماسه شهریار جمع اوری شد. سپس گردوغبار، شن وماسه جمع آوری شده به روش دستی که از روش‌های غیر فعال است روی سطح پنل فتوولتائیک، به طوری که در تمام سطح یکسان باشد پخش شد. شکل ۸، پنل‌های استفاده شده در این مرحله از آزمایش نشان داده شده است.

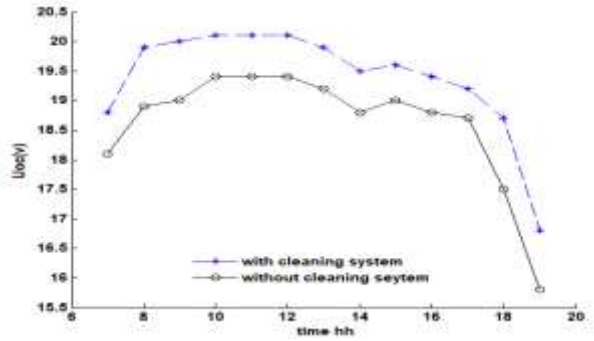
شکل ۸- پنل های استفاده شده برای مقایسه اثر گردوغبار، شن بر خروجی پنل فتوولتائیک

Figure 8. panels used to compare dust effect, sand on photovoltaic panel output

یافته ها

مقایسه پنل مجهز به سیستم تمیز کننده با پنل بدون سیستم تمیز کننده

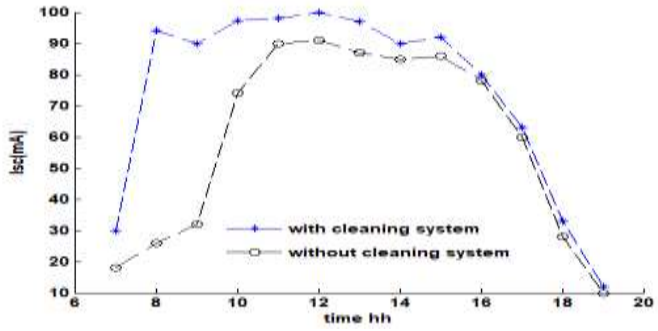
در شکل ۹، ۱۰، ۱۱و ۱۲ بترتیب تاثیر گرد و غبار رسوب شده بر پنل فتوولتائیک در چهارم تیر بر ولتاژ پنل، جریان پنل، توان و دمای پنل فتوولتائیک به طور آشکارا نشان داده شده است. در تمام نمودار های مقایسه پنل بدون سیستم تمیز کننده با پنل مجهز به سیستم تمیز کننده برای مشخص کردن میزان کاهش میانگین نمودار پنل تمیز و آلوده گرفته شد سپس میزان درصد کاهش حساب گردید. شکل ۹، تاثیر گردوغبار بر ولتاژ پنل فتوولتائیک را نشان می‌دهد. تجمع گردوغبار بر سطح پنل فتوولتائیک باعث کاهش ۴ ٪ ولتاژ پنل بدون سیستم تمیز کننده به پنل مجهز به سیستم تمیز کننده است.



شکل ۹- تاثیر گردوغبار بر ولتاژ بر حسب زمان(پنل مجهز به سیستم تمیز کننده– پنل بدون سیستم تمیز کننده)

Figure 9. Influence of dust on voltage over time (with cleaning system panel - without cleaning system panel)

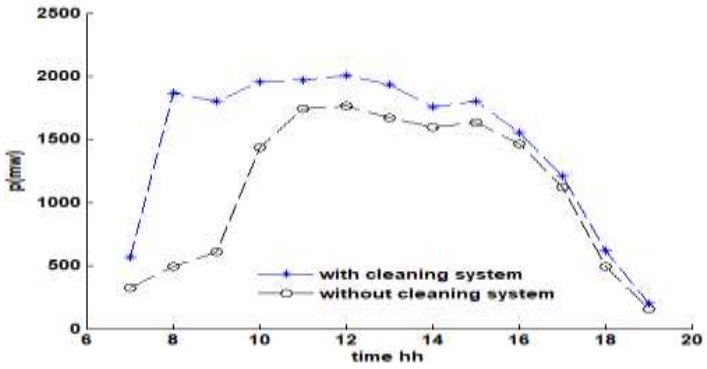
شکل ۱۰، تاثیر گردوغبار بر جریان پنل فتوولتائیک را نشان می-
دهد. رسوب گردوغبار بر سطح پنل فتوولتائیک باعث کاهش۲۱
٪ جریان پنل آلوده نسبت به پنل تمیز شده است.



شکل۱۰- تاثیر گردوغبار بر جریان بر حسب زمان(پنل تمیز – پنل آلوده)

Figure10. Influence of dust on current over time (with cleaning system panel - without cleaning system panel))

شکل ۱۱، تاثیر گردوغبار بر توان پنل فتوولتائیک را نشان می-
دهد. وجود گردوغبار موجب کاهش توان پنل به میزان ۲۵ ٪
نسبت به پنل آلوده شده است.



شکل ۱۱- نمودار توان بر حسب زمان(پنل تمیز – پنل آلوده)

Figure11. Power diagram in terms of time (with cleaning system panel - without cleaning system panel)

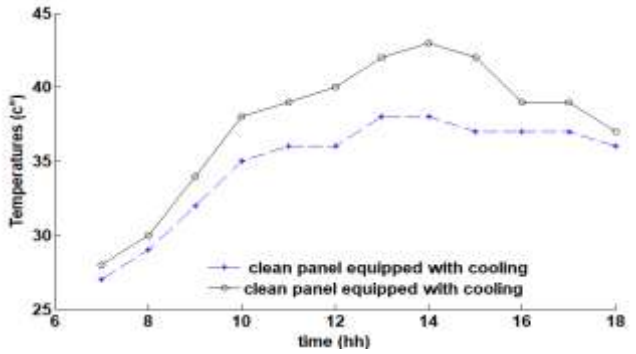
شکل ۱۲، تاثیر گردو غبار بر دمای پنل‌های فتوولتائیک نشان می دهد. نمودار نشان می دهد که رسوب گردو غبار باعث افزایش۴ ٪ دمای پنل آلوده نسبت به دمای پنل تمیز شده است. در ساعت ۷ صبح پنل ها دارای کمترین دما می‌باشند و با هم برابر اند، در ساعت ۸ صبح دمای پنل تمیز ۲۸ درجه سانتی گراد و دمای پنل آلوده ۲۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

شکل ۱۲- تاثیر گردو غبار بر دمای پنل

Figure12. Effect of dust on panel temperature with cleaning system panel - without cleaning system panel)

مقایسه پنل مجهز به سیستم خنک کننده با پنل بدون سیستم خنک کننده

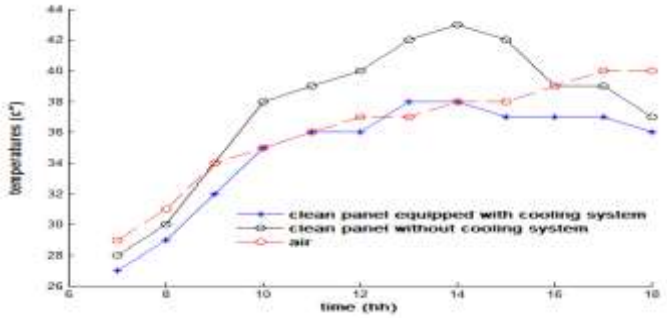
شکل۱۳، تاثیر سیستم خنک کننده بر دمای پنل را نشان می-دهد. پنل مجهز به سیستم خنک کننده دمای کمتری حدود۸ ٪ نسبت به پنل بدون سیستم خنک کننده داشته است.



شکل۱۳- مقایسه دمای دو پنل(پنل تمیز با خنک کننده – پنل تمیز بدون خنک کننده)

Figure13. Comparison of the temperature of the two panels (panel with cooling - panel without cooling)

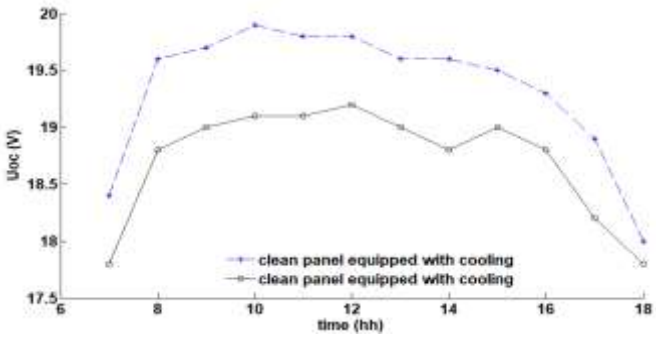
شکل ۱۴، تفاوت دمای دو پنل با دمای هوا را نشان می‌دهد.



شکل۱۴- نمودار دما(پنل تمیز با سیستم خنک کننده- پنل تمیز بدون سیستم خنک کننده- هوا)

Figure 14. temperature diagram (clean panel with cooling system - clean panel without cooling system- air)

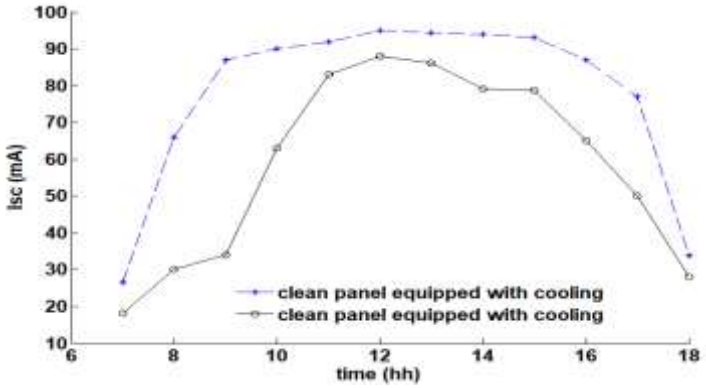
شکل ۱۵، تاثیر دما بر ولتاژ خروجی پنل فتوولتائیک را نشان می‌دهد. پنل با دمای بالاتر دارای ولتاژ کمتر حدود ۳ ٪ نسبت به پنل با دمای کمتر می‌باشد.



شکل ۱۵- مقایسه نمودار ولتاژ (پنل با خنک کننده – پنل بدون خنک کننده)

Figure 15. Comparison of voltage diagrams (panel with cooling - panel without cooling)

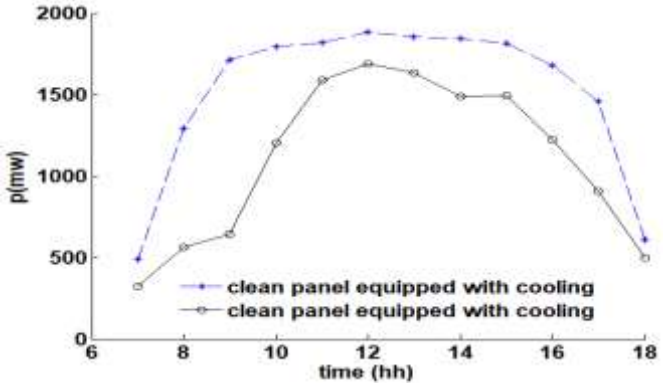
شکل ۱۶، تاثیر دما بر جریان خروجی پنل فتوولتائیک را نشان می‌دهد. پنل با دمای بالاتر دارای جریان کمتر حدود ۲۵ ٪ نسبت به پنل با دمای کمتر می‌باشد.



شکل ۱۶- مقایسه نمودار جریان (پنل با خنک کننده – پنل بدون خنک کننده)

Figure16. Comparison of current diagrams (panel with cooling - panel without cooling)

شـــکل ۱۷، تاثیر دما بر توان پنل را نشـــان می‌دهد. پنل بدون سیستم خنک کننده دارای افت توان حدود ۲۹ ٪ نسبت به پنل مجهز به سیستم خنک کننده می‌باشد.

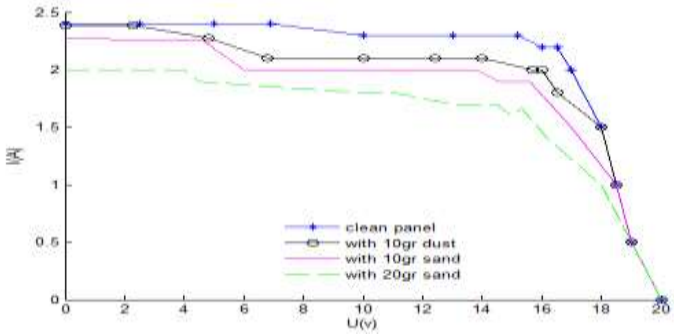


شکل۱۷- مقایسه نمودار توان (پنل مجهز به خنک کننده – پنل بدون خنک کننده)

Figure 17. Comparison of power diagrams (clean panel with cooling - clean panel without cooling)

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

با افزایش تراکم آلودگی ولتاژ و جریان پنل خورشیدی کاهش بیشتری می‌یابند تا جایی که تراکم آلودگی از حد معینی بیشتر می‌شود، که در این صورت میزان ولتاژ و جریان پایدار خواهند شد، یعنی اثر گردوغبار بر روی ولتاژ و جریان به حداکثر رسیده است. همچنین این قضیه نشان گر آن است که آلودگی بیشترین تاثیر را در عملکرد خروجی فتوولتائیک در مرحله اولیه تجمع آلودگی دارد. شکل ۱۸، نتیجه مقایسه پنل تمیز با پنل‌های الوده به گرد و غبار، شن و ماسه به صورت نمودار جریان - ولتاژ را نشان می‌دهد. جهت محاسبه میزان کاهش جریان و ولتاژ در مقایسه پنل تمیز با پنل های آلوده به گرد و غبار و شن با استفاده از ماکزیمم هر کدام از مقادیر میزان درصد کاهش حساب گردید. ولتاژ ماکزیمم 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 ماکزیمم پنل تمیز هر کدام بترتیب ۳ ٪، ۵ ٪ و ۷ ٪ کاهش داشته است. همچنین جریان ماکزیمم نیز به ترتیب۹ ٪، ۱۳٪ و ۲۴٪ کاهش داشته است.

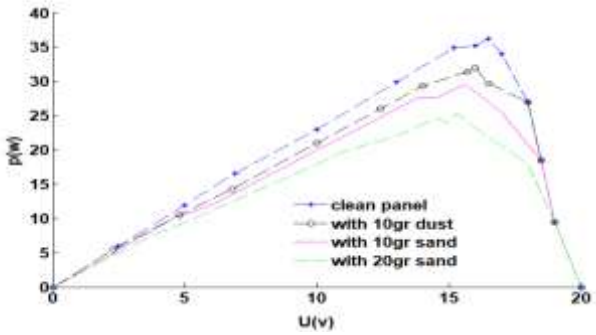


شکل۱۸- مقایسه پنل تمیز با پنل‌های الوده به گردو غبار و شن

Figure18. Comparison of clean panel with dirt panel contaminated with dust and sand.

شکل۱۹، 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.



شکل۱۹- مقایسه نمودار ولتاژ - توان(پنل تمیز با پنل‌های الوده به گردو غبار و شن)

Figure 19.Comparison of voltage - power diagram (clean panel with dirt panel contaminated with dust and sand.)

درصد کاهش توان پنل‌ها نیز با توجه به توان ماکزیمم خروجی در حالت بدون آلودگی و توان ماکزیمم خروجی هر کدام از پنل-های آلوده با توجه به رابطه ۵ و عامل پر کننده هر کدام از پنل‌ها نیز طبق رابطه ۶ به دست آمدند. همچنین جهت اندازه گیری بازده تبدیل از رابطه ۷ 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.

$$\Delta p = \frac{p_c - p_D}{p_c} \times 100 \quad (۵)$$

$$ff = \frac{p_{max}}{v_{oc} \times I_{sc}} \times 100 \quad (۶)$$

$$\eta = \frac{Voc\ Isc}{Ps\ \mathcal{A}} \times 100 \quad (۷)$$

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

جدول ۳- مقادیر به دست آمده از درصد کاهش توان و عامل پر کنندگی و بازده تبدیل

Table3. The values obtained from the percentage of power loss and filling factor and conversion efficiency

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

بحث و نتیجه گیری

- استفاده از فن به عنوان سیستم تمیز کننده و خنک کننده باعث افزایش راندمان خروجی می شود ولی با توجه به مصرف انرژی و نیاز به مکان نصب قابل اجرا نمی باشد.

- گردوغبار بر سطح پنل موجب افزایش دمای پنل می‌شود، در پنل آلوده به گردو غبار دما ۴٪ نسبت به پنل تمیز افزایش داسته است.
- به جز آلودگی که موجب کاهش خروجی پنل های فتوولتائیک می شود دما هم تاثیر قابل توجهی بر خروجی پنل دارد، پنل مجهز به سیستم خنک کننده در مقایسه پنل بدون سیستم خنک کننده توان ۲۹٪ کاهش داشته است.
- گرد و غبار تاثیر بیشتری در جریان اتصال کوتاه و تاثیر کمتری بر ولتاژ مدار باز پنل خورشیدی دارد همانطور که مشاهده کردیم در پنل آلوده به گرد و غبار در مقایسه با پنل تمیز پس از یک ماه جریان ۲۱٪ و ولتاژ ۴٪ دارای کاهش بوده‌اند.
- میزان ولتاژ و جریان مربوط به پنل با شن و ماسه کاهش بیشتری نسبت به ولتاژ و جریان پنل با گردو غبار داشته است به طوری که ولتاژ پنل آلوده به $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰گردوغبار، $\frac{gr}{m^2}$ ۱۰شن در برابر ولتاژ پنل تمیز هر کدام بترتیب ۳ ٪ و ۵ ٪ کاهش داشته است. همچنین جریان نیز به ترتیب۹ ٪ و ۱۳٪ کاهش داشته است.

Reference

1. yingya chen, yanfeng liu, zhijun tian, yu Dong, yong zhou, xiaowen wang, Dengjia wang., 2019, Experimental Study on the Effect of Dust Deposition on Photovoltaic Panels, Publication of Energy Procedia , vol. 158, pp 483–489.
2. Vinay Gupta, Prateek Raj, Ankit Yadav, Peeyush Garg , Farhan Nizam., 2017,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 , pp 742-747.
3. K. K. Ilse., 2018, Comprehensive analysis of soiling and cementation processes on PV modules in Qatar, Solar Energy Materials Solar Cells, vol. 186, pp. 309-323.
4. B. Laarabi, O. May Tzuc, D. Dahlioui, A. Bassam, M. Flota-Bañuelos, and A. Barhdadi., 2017, Artificial neural network modeling and sensitivity analysis for soiling effects on photovoltaic panels in Morocco, Superlattices.
5. Hiroyuki Kawamotoa., 2019, Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels Hiroyuki Kawamoto, Journal of Electrostatics, vol.98, pp 11–16.
6. Xu L, Li S, Jiang J, Liu T, Wu H, Wang J, Li X., 2020, The influence of dust deposition on the temperature of soiling photovoltaic glass under lighting and windy conditions. Solar Energy
7. El-shobokshy,MS.and Hussein, F.M.”Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cell”, sol. Energy, 51 pp.505-511-December1993.
8. Meraj Rajaee, Mina Jalali, Analysis and implementation of the solar tree by determining the optimal angle in Shiraz-Iran., 2021, Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering (JCARME).
9. Horieh sadat mosavi, Alireza por khbaz., 2017, Origin of dust particles by studying their physical and chemical properties in Birjand city, Journal of Environmental Geology, April 2017, Vol. 38, No. (In Persian)
10. Mostafa mohamadi zadeh., 2019, Elimination of the destructive effect of dust on photovoltaic cells in solar

power plants installed in desert cities and villages", First International Congress of interdisciplinary Studies in Town and Architecture, Tabriz, Iran. (In Persian)

11. Thorat ML, Walimbe R, Patil A, Kulkarni D, Thorat S., 2019, Implementation of automatic solar tracking and cleaning system.
12. Sherman R.., 2019, Carbon Dioxide Snow Cleaning Applications. In: Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques. Elsevier; p. 97–115