اثر نشست ریزگردها بر توان سلول‌های فتوولتاییک، مطالعه موردی: شهرستان ایلام

رحمت اله محبوب* و کامران خیرعلی پور

گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران (k.kheiralipor@ilam.ac.ir)

چکیده

انرژی خورشیدی از اصلی‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان می‌باشد که از قرون گذشته توسط جوامع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. مهمترین روش بهره‌برداری از انرژی خورشیدی از نوع حرارتی و نیز تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به انرژی برق توسط تجهیزاتی به نام پنل‌های فتوولتائیک می‌باشد. در حال حاضر استفاده از انرژی خورشیدی به علت مزایای فراوان آن نسبت به دیگر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و سوخت‌های فسیلی مورد توجه می‌باشد. پرتوهای خورشید اصلی‌ترین بخش در کاربردهای انرژی خورشیدی است و هر عاملی که سبب کاهش ضریب عبور نور به پنل‌های خورشیدی یا کاهش آن شود، از جمله نشست ریزگردها، موجب کاهش و حتی قطع عملکرد آن ها می‌گردد. در پژوهش حاضر به بررسی و مقایسه تاثیر مقادیر مختلف وزنی ریزگرد بر افت توان سامانه‌های فتوولتاییک در فصل زمستان، در شهر ایلام، پرداخته شده است. آزمایش‌ها با استفاده از دو پنل مشابه با در نظر گرفتن میزان ریزگرد از ۰ تا ۳۵۰ گرم بر مترمربع اجرا و افت توان محاسبه گردید. اثر میزان ریزگرد با زاویه ثابت ۳۰ درجه پنل بر افت توان آن بر پایه طرح کاملا تصادفی بررسی شد. اثر ریزگرد بر افت توان در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود و با افزایش میزان ریزگرد، افت توان نیز به طور معنی داری افزایش یافت.

کلمات کلیدی:

انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، پنل فتوولتاییک، توان، ریزگرد.

***نویسنده مسئول**

رایانامه: k.kheiralipor@ilam.ac.ir

ضرورت و اهمیت رشته های دانشگاهی مهندسی بیوسیستم

مقدمه

انرژی از نیازهای استراتژیک جهان معاصر می‌باشد. احتیاج انسان به انرژی در مصارف متعدد به خصوص در حوزه صنعتی و تکنولوژی هر روز بیشتر می‌شود. در قرن‌های گذشته سوخت‌های فسیلی به پدیده صنعتی شدن و رشد اقتصادی جوامع کمک بسیار زیادی نموده و امروزه هم سهم عمده‌ای را در تامین انرژی مورد نیاز دنیا را دارند؛ اما به دلیل محدودیت منابع و آلوده نمودن محیط زیست نمی‌توانند آینده روشنی را در تامین انرژی دنیا داشته باشند و واضح است که دیگر این سوخت‌ها نمی‌توانند همانند گذشته در زمینه اقتصاد جهانی پایدار و پویا تاثیرگذار باشند.

تقاضای جهانی برای انرژی همچنان در کشورهای درحال توسعه روبه افزایش است، این رشد وتقاضا و تأثیرات محیطی و اقتصادی آن باعث می‌شود تا وابستگی شدید به سوخت های فسیلی در این جوامع اجتناب ناپذیر شده و دولت‌ها را برآن دارد تا به دنبال گزینه‌های پایدارتری برای پاسخ به نیازهای رو به گسترش انرژی باشند.

با توجه به رشد روز افزون جمعیت برآورد شده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/٤ میلیارد نفر می‌رسد. رشد سریع جمعیت جهان در سال های آینده از یک طرف و پیش‌بینی پایان ذخایر نفت در ۱۰۰ سال آینده از طرف دیگر توجه بیشتر پژوهشگران و دوستداران محیط زیست و روابط سالم بین‌المللی به انرژی‌های تجدیدپذیر جلب کرده است [٥].

تقریباً از چهاردهه قبل تلاش برای پیدا کردن جایگزین‌هایی مناسب منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر قوت گرفت. در حال حاضر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی خورشیدی به علت مزایای فراوان آن نسبت به انواع دیگر انرژی و سوخت‌های فسیلی مورد توجه همگان می‌باشد. امروزه نیز انرژی خورشیدی به روش های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیردکه مهمترین روش بهره‌برداری از آن تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به انرژی برق توسط تجهیزاتی به نام فتوولتائیک می‌باشد [۷].

پرتوهای نور خورشید بزرگترین منبع انرژی تجدیدپذیر روی کره زمین است و اگر فقط یک درصد از صحراهای جهان به عنوان نیروگاه خورشیدی استفاده شوند، همین مقدار برای تولید برق سالانه همه کشورها کافی خواهد بود. کشور ایران در منطقه‌ای با میزان بالایی از جذب انرژی خورشیدی قرار گرفته است؛ لذا استفاده از سامانه‌های خورشیدی می‌تواند جایگاه ویژه‌ای را در بین انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور به خود اختصاص دهد [٤].

پرتوهای خورشید اصلی‌ترین بخش در کاربردهای انرژی خورشیدی است. بنابراین هر عاملی که مانع رسیدن نور به سامانه‌های استفاده کننده انرژی خورشیدی شود و سبب کاهش ضریب عبور نور گردد قطعاً بازده این سامانه‌ها را کاهش خواهد داد [٦]. یکی از مهم‌ترین عوامل کاهنده ضریب عبور نور در سامانه‌های خورشیدی نشست گرد و غبار و ریزگردها بر روی صفحه آن ها می‌باشد.

مطالعه در این مورد، به خصوص در کشور ایران و استان‌های غربی و به طور خاص استان ایلام و مرکز استان که مکرر در طول سال شاهد پدیده ریزگردها می‌باشد محدود بوده و کافی نمی‌باشد، لذا ضرورت پژوهش در این خصوص کاملا روشن و واضح است. سلیم و همکاران یک نیروگاه کوچک خورشیدی جهت تعیین تاثیر گرد و خاک بر میزان افت توان در بلند مدت، در یک مزرعه خورشیدی در نزدیکی شهر ریاض عربستان سعودی با زاویه شیب ثابت ۲٤/٦° نسبت به افق انتخاب کردند. میزان کاهش انرژی تولید شده ماهانه در مقایسه با یک سامانه مشابه که روزانه تمیز

گردیده در پایان ماه هشتم ۳۲٪ گزارش شده است [۱۰]. الشبکشی و حسین در یک تحقیق آزمایشگاهی پنل‌های خورشیدی را در مسیر انواع متفاوتی از گرد و غبار و آلودگی قرار دادند و در شرایط مختلف بازده آن‌ها را اندازه‌گیری کردند. آن‌ها گزارش دادند که تاثیر ریزگرد بر روی پنل‌های خورشیدی علاوه بر مدت زمان به عوامل دیگر مانند جنس، اندازه ذات و میزان سرعت وزش باد، تاثیر فراوانی بر روی تراکم نشست ریزگرد و انرژی خروجی صفحات خورشیدی دارند [۹].

نظر به اهمیت انرژی خورشیدی و بهره گیری از پنل‌های خورشیدی از یک طرف، وقوع پدیده ریزگردها در کشور و استان ایلام و اثر آن‌ها بر میزان بازده انرژی حاصل از پنل‌های خورشیدی، ضرورت پژوهش در این خصوص را نشان می‌دهد؛ لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر ریزگردها بر افت توان پنل‌های فتوولتاییک در شرایط تعیین شده می باشد.

مواد و روش ها

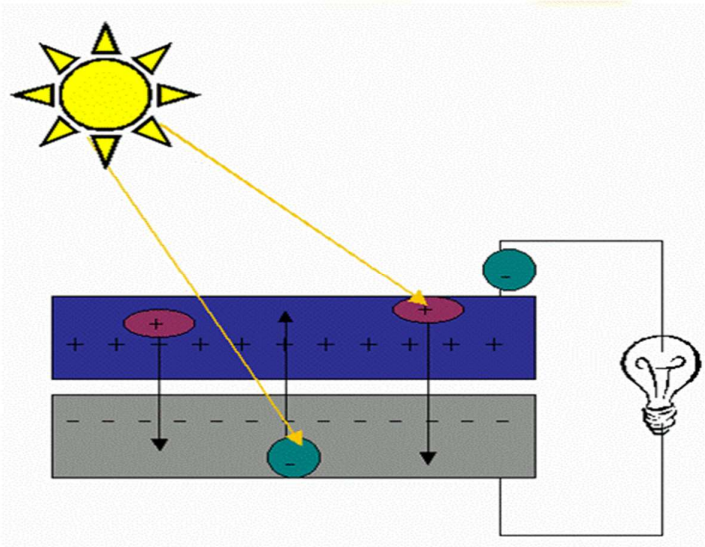
تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۸ و در شهر ایلام، مرکز استان ایلام، صورت گرفته است. شهرستان ایلام با مساحت ۲۱۲۸۰٤/٦۷ هکتار شامل ۱۰/٦۲ درصد از مساحت استان است که بین ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و ٤۵ درجه و ٤۱ دقیقه تا ٤٦ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی در شمال غربی استان قرار گرفته است. شهر ایلام در حصاری از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی استقرار یافته که دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با میانگین بارش سالیانه ۵/٦۱۹ میلی‌متر و متوسط دمای مطلق آن بین ۱۳/٦- تا ٤۱/۲ درجه سلسیوس متغیر است. رطوبت نسبی بین ۱۹ تا ٦۱ درصد از گرم‌ترین تا سردترین فصل سال در نوسان است. آمار ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که ماه ژانویه (دی-بهمن) به عنوان سردترین ماه و ژوئیه (تیر-مرداد) به عنوان گرمترین ماه سال می‌باشد. دمای ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی از فروردین تا تیرماه سیر صعودی داشته و بعد به تدریج سیر نزولی پیدا می کند.

با توجه به موقعیت شهر ایلام و هم مرز بودن با کشور عراق، این شهر هر ساله با حجم زیادی از ریزگردها مواجه می‌شود (شکل ۱) که برابر پژوهش‌های صورت گرفته متوسط میزان درگیری شهر ایلام با ریزگرد در طول سال بیش از ۷۰ روز در دهه اخیر بوده است. میزان حجمی غلظت ریزگردهای ورودی به شهر در بعضی از فصول تا ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر متر مکعب هم رسیده است در صورتی که حداکثر میزان مجاز غلظت ریزگرد ۱۷۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد.

۳

شکل ۱. وقوع ریزگرد در شهر ایلام [۵].

در واقع قسمت اصلی سامانه‌های خورشیدی تولید برق را پنل و ماژول‌ها تشکیل می‌دهند. سلول‌های فتوولتائیک با جذب اشعه خورشید و با ایجاد اختلاف فشار الکتریکی در نیمه هادی‌ها برق تولید می‌کنند (شکل ۲).



شکل ۲. طرح‌واره تولید انرژی برق در سلول خورشیدی [۱].

سلول های خورشیدی به دو دسته عمده، سلول های سیلیکون کریستالی و سلول‌های فیلم نازک یا تین فیلم تقسیم می‌شوند. جنس بیشتر انواع سلول خورشیدی رایج در سطح تولید تجاری، سیلیکون می‌باشد که برای افزایش کارایی و بازدهی، مواد دیگری از طریق فرآیند تغلیظ بدان افزوده می‌گردد. ولتاژی که یک سلول در برابر شدت نور تولید می‌کند در حدود نیم ولت و جریان اتصال کوتاه آن می‌تواند از محدوده میلی‌آمپر تا چندین آمپر متغیر باشد. حداکثر توان تولیدی یک سلول برابر حاصل ضرب ولتاژ مدار باز در جریان اتصال کوتاه می‌باشد که با این حساب توان تولیدی نامی سلول مشخص می‌شود. یکی از عواملی که در توان تولیدی سلول تاثیر گذار است، اندازه سطح سلول می‌باشد و هر چه مساحت سلول بیشتر باشد، توان تولیدی نیز بیشتر خواهد بود. توان تولیدی علاوه بر مقدار سطح پنل به شدت نور و عدم وجود موانع جذب آن نیز بستگی دارد و با افزایش شدت نور، توان تولیدی افزایش می‌یابد [۳].

در اجرای پژوهش حاضر از دو دستگاه پنل خورشیدی ۱۰۰ وات منوکریستال به طور همزمان و با نصب بر روی استراکچر با زاویه قابل تغییر نسبت به پرتوهای نور خورشید استفاده گردید (شکل ۳).

شکل ۳. پنل های مورد استفاده در آزمایش.

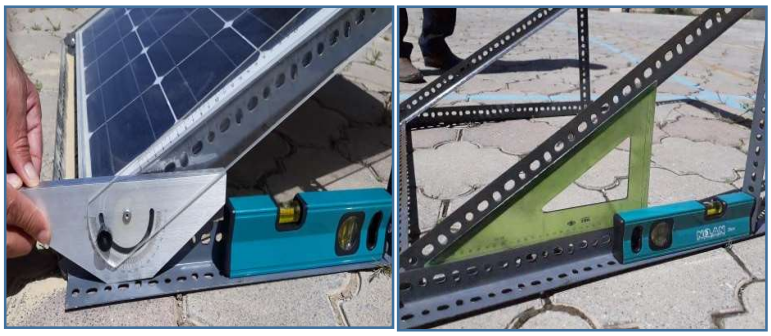
این پنل‌ها ساخت شرکت آریا سولار مدل AS-M100 با توان اسمی ۱۰۰ وات، ابعاد ۳۵*۶۸۲*۱۰۴۹ میلی‌متر مربع و وزن ۸/۸ کیلوگرم می‌باشند. دمای کارکرد استاندارد این پنل‌ها ۲۵ درجه سلسیوس بوده و میزان جذب تابش پرتوهای خورشید در آن در شرایط استاندارد ۱۰۰۰ وات بر متر مربع است. مقدار جریان خروجی این پنل ٤/٨٩ آمپر ساعت و مقدار ولتاژ آن برابر ۲۰/٤٥ ولت می‌باشد. جریان اتصال کوتاه تعیین شده آن برابر ۵/۱۹ آمپر و مقدار ولتاژ مدار باز آن ۲۵ ولت است. جدول (۱) مشخصات فنی پنل مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات فنی پنل‌های مورد استفاده در آزمایش.

ردیف	ویژگی	واحد	مقدار
۱	مدل	-	AS-M100
۲	فناوری سلول	-	Monocrystalline
۳	توان نسبی	W	۱۰۰/۰۰
٤	ابعاد	mm^3	۱۰٤۹×٦۸۲×۳۵
۵	جرم	kg	۸/۸۰
٦	حداکثر جریان	A	٤/۸۹
۷	حداکثر ولتاژ	V	۲۰/٤۵
۸	ولتاژ مدار کوتاه	A	۵/۱۹
۹	ولتاژ مدار باز	V	۲۵/۰۰
۱۰	حداکثر ولتاژ سامانه	V	۱۰۰۰/۰۰

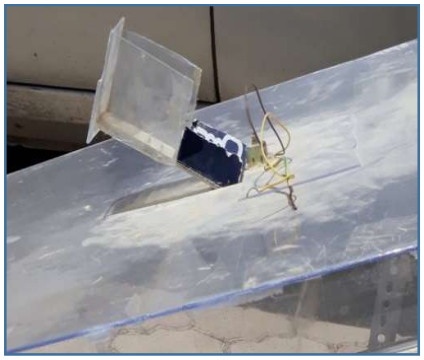
نشست ریزگرد بر روی سطح سلول‌های خورشیدی به مکان نصب، زاویه شیب پنل خورشیدی، شرایط آب و هوایی، مدت زمان قرار گرفتن پنل در معرض ریزگردها، خواص گرد و غبار، و عامل‌های دیگر محیطی مانند دمای محیط، باد و بارش باران وابسته است [۸].

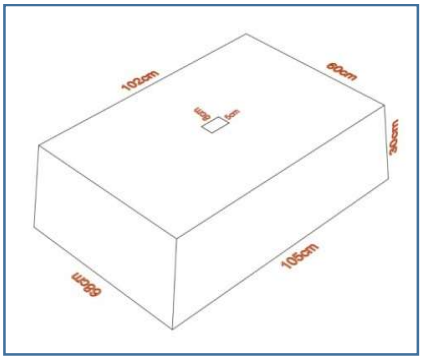
یکی از مهمترین عوامل موثر بر بازده پنل خورشیدی، زاویه پنل نسبت به سطح افق است به این خاطر باید زاویه بهینه پنل تعیین گردد. در این آزمایش، زاویه ۳۰/۰ درجه با استفاده از داده‌های هواشناسی و نیز با توجه به عرض جغرافیایی شهر ایلام انتخاب گردید (شکل ٤).

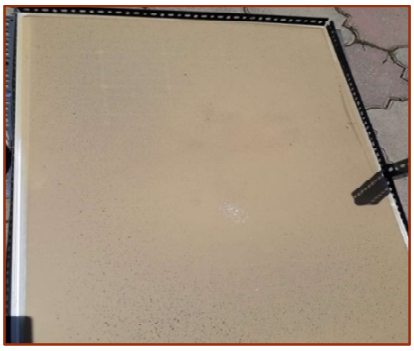


شکل ٤. تنظیم زاویه شاسی پنل.

در زمستان ۱۳۹۸ فضا و شرایط انجام آزمایش به صورت میدانی شبیه‌سازی گردید تا اثر واقعی نشست ریزگردها بر بازده سلول‌های خورشیدی مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش در فضای باز صورت گرفته است (شکل ٥). یک جعبه مکعبی از جنس پلاستیک برای ایجاد شرایط مناسب آزمایشگاهی نشست ریزگرد بر روی سطح پنل ساخته شد. در این آزمایش با استفاده از نوعی خاک متناسب با شرایط کمی و کیفی ریزگردهای مرسوم، طوفان ریزگرد با استفاده از مکعبی با طول ۱۰۵، عرض ٦٨ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و نصب یک دستگاه فن (مدل FHD-28W-672، شرکت NEW LIFE، آمریکا)، به صورت تدریجی مقادیر وزنی مشخص ریزگرد انتخابی به داخل مکعب ریخته شد و توسط فن طوفان گرد و خاک مشابه پدیده طبیعی ایجاد گردید و به مرور بر روی پنل نشست کرد.







شکل ۵. مکعب شفاف همراه با فن جهت ایجاد طوفان ریزگرد.

خاک مورد استفاده در تحقیق حاضر از بیابان‌های شهرستان دهلران که شبیه‌ترین نوع از نظر ساختار با ریزگردهای متداول منطقه است، با مقدار وزنی معین در هر مرحله با استناد به داده‌های هواشناسی در شهر ایلام استفاده شد. جرم ریزگردها به منظور اجرای فرآیند آزمایش با استفاده از ترازوی رقمی CITIZEN، سری BS3000، شرکت الکترونیک بالانس، با دقت ۰/۱ گرم، اندازه گیری شد (شکل ٦).

شکل ٦. توزین ریزگرد مورد استفاده در آزمایش با استفاده از ترازوی رقمی.

با استفاده از ریزگرد مورد نظر که متناسب با جنس ریزگردهای طبیعی است، مقادیر وزنی ۳۵۰/۰۰، ١٦٥/٨٦، ١١٠/٦٠، ٦٠ /۵۰ گرم بر سطح پنل ۱۰۰ وات مورد استفاده با مساحت ۰/۷ متر مربع (جدول ۲) توزین شد. این مقادیر برای سطح یک متر‌بع به ترتیب برابر ۵۰۰/۰۰، ٢٣٦/٩٤، ١٥٨/٠٠، ٧٢/٢٨ گرم بر مترمربع می‌باشد.

حداکثر توان خروجی از مهمترین معیارهای سنجش پنل‌های خورشیدی است. حداکثر توان خروجی هر آرایهٔ خورشیدی، در هوای صاف و آفتابی در ولتاژی بین ١٤ الی ۲۵ ولت و مقدار جریان آن وابسته به مساحت پنل در نظر گرفته می‌شود. در تحقیق حاضر، میزان ولتاژ مدار باز و میزان جریان اتصال کوتاه (حداکثر ولتاژ و جریان تولیدی) و در نهایت بیشینه توان تولیدی پنل شاهد و پنل تحت آزمایش در شرایط ایجاد شده با استفاده از دو دستگاه مولتی متر رقمی مدل DT-850 در شرایط تعیین شده اندازه گیری شد (شکل ۷).

شکل ۷. اندازه‌گیری ولتاژ و جریان با استفاده از مولتی‌متر.

پس از انجام آزمایش و ثبت اطلاعات به دست آمده، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از این نرم‌افزار و آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. از آن جا که فقط یک عامل (ریزگرد) در زمستان بررسی شد، داده‌های به دست آمده در این فصل به صورت یک آزمایش ساده بر پایه طرح کاملا تصادفی تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

امروزه استفاده از سلول‌های فتوولتاییک با توجه به مطالبی که در فصل‌های قبل بیان شد، ضرورتی روشن است و لذا بررسی تاثیرپذیری این سلول‌ها از نشست ریزگردها بر روی آن‌ها توجیه علمی و اقتصادی دارد. در این بخش نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل داده‌ها به منظور بررسی اثر ریزگردها بر افت توان پنل فتوولتاییک و نیز نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها آمده است. میزان ریزگرد بر روی سطح پنل فتوولتاییک شامل ۰/۰۰، ۷۲/۲۸، ۱۵۸/۰۰، ۲۳۶/۹۴ و ۵۰۰/۰۰ g/m^2 گرم بر متر مربع تحت زاویه ۳۰/۰ درجه نسبت به سطح افق مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج تجزیه واریانس اثر ریزگرد بر افت توان در فصل زمستان در جدول (۲) آمده است. با مراجعه به نتایج جدول، نشست ریزگرد بر سطح سبب افت توان در فصل زمستان گردیده و در سطح احتمال ۱٪ (<۰/۰۰۰۱) معنی دار می‌باشد. جهت بررسی نتایج بیشتر، مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۳) آمده است.

با توجه به جدول (۳)، همه تیمارهای ریزگرد که سبب افت توان شده‌اند با همدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. بیشترین مقدار ریزگرد مورد آزمایش برابر با ۵۰۰/۰۰ g/m^2 بود که منجر به بیشترین افت توان برابر با ۹۵٪ شد. با کاهش میزان ریزگرد بر روی سطح پنل فتوولتاییک، میزان افت توان نیز کاهش یافت و در حالت بدون ریزگرد افت توان مشاهده نشد. با توجه به اینکه مقدار توان خروجی پنل تابعی از شدت جریان و ولتاژ تولیدی آن است؛ لذا درصد توان سامانه خورشیدی با افزایش تراکم ریزگرد بر سطح پنل به دلیل کاهش شدت جریان و ولتاژ، افت کرده و به نسبت میزان نشست ریزگرد درصد افت توان افزایش می‌یابد. دلیل کاهش توان خروجی پنل خورشیدی، کاهش دریافت پرتوهای نور با افزایش میزان نشست ریزگرد بر سطح پنل می‌باشد.

بر اساس مقدار انرژی تابشی و نیز مقدار انرژی جذب شده توسط آرایه، بازدهی آرایه‌ای از سلول‌های خورشیدی با زاویه ثابت و شرایط آب و هوای معمولی در حدود ۷۵٪ قابل قبول است. با استفاده از ردیاب می‌توان به بازده

حدود ۹۰ تا ٪۹۵ هم رسید. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، ریزگرد می تواند سبب کاهش بازده پنل گردد چرا که میزان توان خروجی را کاهش می‌دهد. بنابراین جهت جلوگیری از افت توان و بازده پنل‌های خورشیدی در اثر ریزگردها، ضروری است، به خصوص در زمان وقوع پدیده ریزگرد، سطح پنل‌ها با استفاده از روش‌های مناسب پاک‌سازی شوند.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر ریزگرد بر افت توان در فصل زمستان.

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Pr > F
ریزگرد	٤	۱۹۱۳۲/۲۹	٤۷۸۳/۰۷	۲۰۳۸۷/۵۰	<۰/۰۰۰۱
خطا	۱۰	۲/۳۵	۰/۲۳		
کل	۱٤	۱۹۱۳٤/٦۳			

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارهای ریزگرد در فصل زمستان.

ردیف	میزان ریزگرد (g/m^2)	افت توان (٪)
۱	۵۰۰/۰۰	۹۵/۰۰ a*
۲	۲۳٦/۹٤	۸۸/۱۷ b
۳	۱۵۸/۰۰	۸۰/۰۸ c
٤	۷۲/۲۸	٤۱/۰۵ d
۵	۰/۰۰	۰/۰۰ e

* حروف غیرمشابه نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٪۵ می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که جهت حصول حداکثر توان برقی از سلول‌های خورشیدی، باید پنل‌ها پس از نشست میزان خاصی از ریزگردها بر سطح آن‌ها پاک‌سازی گردد. همچنین استفاده از پوشش‌های نانو می‌تواند جهت جلوگیری یا کاهش نشست گرد و غبار بر سطح پنل موثر باشد که نیاز است در آینده مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر نشست مقادیر مشخص ریزگرد بر افت عملکردی پنل خورشیدی مونوکریستال به صورت تحقیق میدانی مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی درصد افت توان در فصل زمستان و تحت زاویه ۳۰ درجه و مقادیر وزنی ریزگرد متعدد بر واحد سطح، در مقادیر وزنی زیاد ، توان خروجی پنل مورد آزمایش افت شدیدی پیدا کرد، به طوری که در زمان نشست مقدار حداکثر ریزگرد ۵۰۰/۰۰ گرم بر مترمربع نسبت به پنل شاهد (بدون ریزگرد) تقریباً کارایی نداشت و توان خروجی پنل بیش از ۹۵ درصد کاهش داشت. در مقادیر وزنی دیگر به نسبت افت توان قابل توجه و معنی‌دار بود.

مراجع:

۱. **برق نیوز، ۱۳۹۸. مکانیزم عملکرد سلول خورشیدی، برق نیوز، پایگاه اطلاع رسانی صنعت برق ایران.** www.bargnews.com.

۲. **برنا، ۱۳۹۵. خبرگزاری برنا، گرد و غبار استان ایلام را فرا گرفت.** www.borna.news

۳. **جمشیدی بدربانی، م. ۱۳۹۵. کاربرد سلول های خورشیدی و نسل های آینده آن، دومین کنفرانس بین‌المللی انرژی و داده‌ها، کرمانشاه، ۱۲ خردادماه.**

٤. **صابری‌فر، ر. ۱۳۹۸. پتانسیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در خوراسان جنوبی. نشریه اقتصاد انرژی، ۱۳۱-۱۳۲: ٤٣-٤٧.**

٥. **دفتر مرجع جمعیت جهانی، ۲۰۱۹. گزارش سالانه انرژی.** www.prb.org.

٦. **غلامی، ا. ۱۳۹۵. بررسی تجربی اثر نشست گرد و غبار بر ضریب عبور شیشه در کاربردهای خورشیدی و اثر اصلاحی نانو پوشش بر آن، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی اصفهان.**

۷. **مانا، ۱۳۹۷. آینده انرژی جهان. مانا، شبکه اطلاع رسانی مستقل جامعه دریایی.** Mana.ir.

۸. **محمدی زاده، م. ۱۳۹٦. رفع اثر مخرب گرد و غبار از روی سلول های فوتوولتاییک در نیروگاه های خورشیدی نصب شده در شهرها و روستاهای بیابانی، اولین کنگره بین‌المللی پژوهش‌های علوم میان رشته‌ای در رشته معماری و شهرسازی، ۲۰ اردیبهشت ماه.**

9. El-Shobokshy, M.S., Hussein, F.M. 1993. Effect of the dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells. Solar Energy, 51, 505.
10. Salim, A., Huraib, F., Eugenio, N. 1988. PV power study of system options and optimization. 8th European PV Solar Energy Conference, Florence, Italy.

The effect of dust settling on the power of photovoltaic cells, a case study: Ilam Township

Rahmatollah Mahboub and Kamran Kheiralipour*

Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran (k.kheiralipor@ilam.ac.ir)

Abstract:

The solar energy is one of the main renewable energy sources in the world which it has been used for centuries by different communities. The main utilization methods of solar energy are thermal types and direct transformation of sunlight to electricity by equipment called photovoltaic panels. Currently, the use of solar energy is considered due to its many advantages over other types of renewable energy and fossil fuels. The sun's rays are the main component of solar energy applications and any factor that reduces the light transmittance to solar panels, including the deposition of dusts, cause to reduce or even interrupts their performance. In the present study, the effect of different amounts of dusts on the power loss of photovoltaic systems has been investigated and compared in Ilam, winter 2020. The experiments were cunducted using two similar panels, taking into account the amount of fine dust from 0 to 350 $g.m^{-2}$ and the power loss was calculated. The effect of dust at a constant angle of 30 degrees on the power loss of the panel was studied based on a completely randomized design. The effect of dust on the power loss was significant at the level of 1% probability level and the power loss significantly increased with increasing the amount of dust.

Key words: Renewable Energies, Solar energy, Photovoltaic panel, Power, Dust.

*Corresponding author
E-mail: k.kheiralipor@ilam.ac.ir