

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۹

## اثر طوفان گرد و خاک بر عملکرد پنل فتوولتائیک در زاویه‌های استقرار متفاوت

رحمت‌الله محبوب<sup>۱</sup>، کامران خیرعلی‌پور<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

rahmatmahboob1269@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

k.kheiralipour@ilam.ac.ir

**چکیده:** یکی از مشکلات اصلی استفاده از سلول‌های خورشیدی ریزگردها هستند که سبب کاهش بازده آن‌ها می‌شوند. در مقاله حاضر تأثیر ریزگرد و زاویه استقرار پنل فتوولتائیک بر افت عملکرد آن در شهر ایلام بررسی شده است. آزمایش‌ها با استفاده از دو پنل مشابه و در فصل بهار با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ریزگرد از ۰ تا ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع اجرا شد. افت ولتاژ، جریان و توان محاسبه شد و اثر میزان ریزگرد و زاویه پنل بر افت آن‌ها در قالب آزمایش چندعامله بر پایه طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. اثر ریزگرد بر افت ولتاژ، جریان و توان در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و با افزایش میزان ریزگرد، افت آن‌ها افزایش یافت. کمترین افت عملکرد مربوط به ولتاژ بود که بین ۱/۵۳٪ در زاویه ۴/۸ درجه و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع و ۷/۸۴٪ در زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۷۲/۲۸ گرم بر مترمربع متغیر بود. شدت جریان خروجی نسبت به ولتاژ افت بیشتری داشته و بیشترین مقدار آن (۸۷/۱۹٪) در زاویه ۲۶/۱ درجه پنل و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع و کمترین مقدار آن (۲۴/۸٪) در زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع مشاهده شد. بیشترین افت توان (۸۷/۵٪) مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع و کمترین افت آن (۲۶/۵٪) در زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع محاسبه شد. مشخص گردید که زاویه تعیین شده بر اساس موقعیت جغرافیایی (۲۶/۱ درجه) نسبت به دیگر زاویه‌های مورد بررسی دارای افت عملکردی کمتری بوده و بنابراین زاویه مناسب‌تری برای تولید انرژی الکتریکی در صورت وقوع پدیده ریزگردها می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی خورشیدی، پنل فتوولتائیک، افت عملکرد، ریزگرد، ولتاژ، جریان، توان.

## ۱. مقدمه

امروزه توسعه اقتصادی کشورها به شدت به انرژی وابسته است. با توجه به مشکلات سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منابع انرژی، در بیشتر کشورها به‌منظور کاهش اتکا به منابع محدود و سوخت‌های مخرب محیط‌زیست، تلاش‌های فراوانی در استفاده از انرژی خورشیدی و به‌خصوص سامانه‌های فتوولتائیک در حال انجام است و فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله برق خورشیدی، اغلب اولین گزینه برای ارتقا، گسترش و نوسازی زیرساخت‌های انرژی برق در سطح جهان است. با نگاهی به عملکرد کشورهای صنعتی در این زمینه نیز می‌توان دریافت که کشورهای پیشرفته با وجود اینکه معمولاً از ساعات تابش خورشید کمتری برخوردارند، سرمایه‌گذاری‌های کلانی را در این بخش انجام داده‌اند. مقدار انرژی تابشی خورشید در برخی نقاط از جهان روزانه تا ۶/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع هم می‌رسد که این مطلب نشان‌دهنده اهمیت توجه به این منبع در تأمین نیازهای روزمره بشر است [۱].

در حال حاضر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه انرژی خورشیدی به‌علت مزایای فراوان آن نسبت به انواع دیگر انرژی و سوخت‌های فسیلی مورد توجه همگان است. امروزه انرژی خورشیدی به روش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهم‌ترین روش بهره‌برداری از آن تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی برق توسط سلول‌های فتوولتائیک است [۲]. سامانه‌های فتوولتائیک شامل سلول خورشیدی، مبدل و کنترل‌کننده جریان الکتریکی، شارژ کنترل و باتری هستند. جزء اصلی این سامانه، سلول فتوولتائیک است. عملکرد سامانه‌های فتوولتائیک به شدت تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی و روش بهره‌برداری این سامانه‌هاست. در شرایطی که این سامانه‌ها چه به‌لحاظ طراحی و چه به‌لحاظ اجرایی از نظر کیفیت، در شرایط استاندارد نباشند توان خروجی سامانه دارای مقدار مورد انتظار نخواهد بود. شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه نشست ریزگردها و گردوغبار، دما، سرعت باد، جهت باد و رطوبت هوا [۳-۸] اثر منفی بر کارایی سامانه‌های خورشیدی دارند.

اگرچه بر روی طراحی و ساخت پنل‌های خورشیدی به‌منظور افزایش عملکرد و بازده آن‌ها تحقیقات زیادی انجام شده، اما تحقیقات محدودی در زمینه تشخیص نقص در سامانه‌های فتوولتائیک گزارش شده است. نقص در سامانه فتوولتائیک، اگر بموقع تشخیص داده نشود، ممکن است نه‌تنها تولید برق را در نقطه اتصال به شبکه کاهش دهد، بلکه قابلیت استفاده، بازده و توان کلی

سامانه را نیز به خطر بیندازد.

یکی از مسائلی که تأثیر نامطلوبی در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارد، پدیده ریزگردهاست [۹]. نشست ریزگردها اثر منفی بر ضریب عبور و بنابراین عملکرد سامانه‌های فتوولتائیک، به‌خصوص در مناطق خشک دارد [۱۰]. طوفان‌های گرد و خاک عمدتاً در فصول بهار و تابستان و با توالی کمتر در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهند. شاخص‌های وضعیت این پدیده، بیانگر تعداد روزهای گرد و خاک در سال و میزان غلظت این نوع آلاینده است، به‌طوری که این پدیده گاهی با تعداد ۸۰ روز در سال و با بیشترین غلظت حدود ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (میزان غلظت مجاز ۱۷۰ میکروگرم بر مترمکعب است) در خاورمیانه و به‌ویژه مناطق جنوب غرب ایران تاکنون به وقوع پیوسته است [۱۱]. لذا ضرورت دارد تحقیقات گسترده‌ای در خصوص نشست ریزگردها و گردوغبار بر روی سطح سلول‌های خورشیدی صورت گیرد.

سلیم و همکاران در پژوهشی به تحقیق بر روی یک سیستم فتوولتائیک برای بررسی تأثیر گردوغبار بر تولید میزان انرژی در ازمدت در ریاض و عربستان سعودی پرداختند. آن‌ها در یک دوره زمانی ۸ ماهه، ۳۲٪ کاهش بازده را در تولید انرژی در زاویه پنل ۲۴/۶ گزارش دادند [۱۲]. در تحقیقی تأثیر تجمع ریزگرد بر عملکرد سامانه‌های فتوولتائیک در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره بررسی شده است. محققان گزارش دادند که در طول ۱۹۲ روز، کارایی پنل به‌طور متوسط ۰/۸۶۸٪ در روز کاهش یافته است که معادل ۱۰/۲۸۲ کیلووات ساعت در مترمربع تلفات انرژی بود [۱۳].

تأثیر کثیف بودن شیشه بر ضریب عبور نور آن توسط صایغ و همکاران در کشور کویت مورد بررسی قرار گرفته است. محققان پس از مقایسه صفحه‌های شیشه‌ای تمیز و کثیف در زاویه‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در بازه زمانی ۳۸ روز، کاهش ۱۷ تا ۶۴ درصدی ضریب عبور نور را گزارش دادند [۱۴]. در مطالعه دیگر در مصر توسط حسن و همکاران، مشخص شد که نرخ افت تولید برق توسط پنل خورشیدی در اثر گردوغبار (بدون تمیز کردن صفحات)، در ۳۶ روز اول نصب پنل بیشتر بوده است. در تحقیق آن‌ها افت تولید انرژی پس از یک ماه برابر با ۳۳/۵٪ و پس از شش ماه برابر با ۶۵/۸٪ گزارش شده است [۱۵]. در تحقیقی مشخص شد که مشخصه‌های نوری پنل از جمله انعکاس نور در اثر نشست گردوغبار بر سطح پنل و تشکیل لایه‌هایی با ضخامت متفاوت بر

زاویه‌های مختلف پنل نسبت به سطح افق و میزان مختلف از ریزگرد مورد ارزیابی قرار گرفت تا اثر آن‌ها بر افت عملکرد پنل فتوولتائیک شامل ولتاژ، جریان و توان مشخص گردد. در تحقیق حاضر از تجهیزات مختلفی برای تعیین افت عملکرد پنل فتوولتائیک استفاده شد که در قسمت‌های بعد آمده‌اند. تجهیزات مورد نظر، پس از کالیبره کردن مورد استفاده قرار گرفتند.

## ۱.۲. پنل فتوولتائیک

در انجام پژوهش حاضر از دو دستگاه پنل خورشیدی منوکریستال به‌طور همزمان و با نصب بر روی شاسی با زاویه قابل تغییر نسبت به پرتوهای نور خورشید و سطح زمین استفاده شد. این پنل‌ها ساخت شرکت آریا سولار مدل AS-M100 با توان اسمی ۱۰۰ وات هستند (شکل ۱ و جدول ۲).



شکل (۱): پنل‌های مورد استفاده در آزمایش

جدول (۲): 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
۴	ابعاد	mm <sup>3</sup>	۱۰۴۹×۶۸۲×۳۵
۵	جرم	kg	۸/۸۰
۶	حداکثر جریان	A	۴/۸۹
	حداکثر ولتاژ	V	۲۰/۴۵
۸	ولتاژ مدار کوتاه	A	۵/۱۹
۹	ولتاژ مدار باز	V	۲۵/۰۰
۱۰	حداکثر ولتاژ سامانه	V	۱۰۰۰/۰۰

## ۲.۲. زاویه استقرار پنل

بازده نهایی یک سامانه فتوولتائیک به مؤلفه‌های زیادی وابسته است؛ از جمله یکی از مهم‌ترین آن‌ها تعیین زاویه مناسب پنل با پرتوهای خورشید یا به عبارتی ایجاد زاویه بهینه است که در این آزمایش با استناد به منابع معتبر علمی [۱۷ و ۲۱-۲۲]، نتیجه تحقیقات

روی آن تغییر کرده و در نهایت توان خروجی آن کاهش یافته است [۱۶]. کاهش بازده ۱۴ تا ۳۱٪ نیروگاه فتوولتائیک در ایلام در دوره یک‌ساله در اثر نشست ریزگرد ثبت شده است [۱۷]. در تحقیقی گزارش شده است که نشست گردوغبار به دلیل انکسار نور و کاهش ضریب عبور نور در پنل سبب کاهش شدید افت توان می‌شود [۱۸].

در تحقیق‌های ذکر شده اثر نشست ریزگرد بر توان گزارش شده، اما اثر آن بر جریان و ولتاژ مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین اثر همزمان نشست ریزگرد و زاویه پنل بر توان تولیدی ارزیابی نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت انرژی خورشیدی و استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک از یک طرف، وقوع پدیده ریزگردها در اکثر نقاط جهان و ایران و اثر آن‌ها بر میزان انرژی حاصل از پنل‌های خورشیدی، و اهمیت زاویه پنل خورشیدی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در تولید برق، هدف از پژوهش حاضر بررسی همزمان اثر ریزگردها و زاویه پنل بر افت عملکرد سامانه‌های فتوولتائیک در شرایط تعیین شده است. همچنین افت ولتاژ، جریان، و توان خروجی پنل فتوولتائیک در حالت با ریزگرد و بدون ریزگرد در زاویه‌های متفاوت بررسی شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در ساعت ۱۲ ظهر روزهای ۷، ۸، ۹، ۱۴، و ۱۶ اردیبهشت‌ماه و نیز ۱۱، ۱۲ و ۱۸ خردادماه ۱۳۹۹ در دانشگاه ایلام، ایلام صورت گرفت. شهرستان ایلام بین محدوده ۳۳ درجه، ۲۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه، ۵۱ دقیقه و ۴۸ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه، ۴۱ دقیقه و ۷ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی در شمال غربی استان ایلام قرار گرفته است. مشخصات آب‌وهوایی منطقه مورد تحقیق در بازه ۱۰ ساله در جدول (۱) آمده است [۱۹-۲۰].

جدول (۱): مشخصات آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مقدار
ارتفاع از سطح دریا	m	۱۳۶۰
میزان بارش سالانه	mm	۵۷۲/۴
تبخیر تعرق	mm	۲۱۳۰
میانگین دمای سالانه	°C	۱۶/۸
حداکثر سرعت باد	m/s	۲۵
میانگین رطوبت نسبی	%	۴۰
ساعات آفتابی سالانه	h	۳۰۸۰/۸
شدت تابش	MJ/m <sup>2</sup> day	۱۸/۳۱

نسبت به سطح افق بود [۱۷ و ۲۳] که زاویه، ۳۰ درجه در شرایط طبیعی و با استفاده از داده‌های هواشناسی توسط نرم‌افزار پی وی سیستم شبیه‌سازی شده و عرض جغرافیایی شهر ایلام زاویه‌های ۴/۸ و ۲۶/۱ درجه به استناد پژوهش‌های انجام‌گرفته و با توجه به عرض جغرافیایی شهر ایلام انتخاب شدند [۲۴] (شکل ۲).

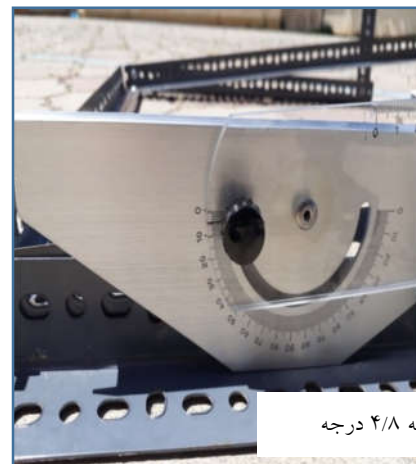
### ۳.۲. نشست ریزگرد بر روی پنل

مناطق مرزی جنوب غرب ایران و به‌ویژه استان ایلام و از جمله مرکز استان، بیشترین مواجهه با پدیده ریزگردها را از نظر تعداد روزهای درگیر و نیز حجم و تراکم گردوغبار در طول سال دارد، به طوری که در سال‌های گذشته حضور ریزگرد به حدود ۸۰ روز در سال و گاهی ۱۰ میلی‌گرم بر مترمکعب رسیده و این در حالی است که حد مجاز آن ۱۷۰ میکروگرم بر مترمکعب [۲۵-۲۷] می‌باشد.

از جمله عوامل مؤثر در نتیجه پژوهش نحوه نشست ریزگرد بر روی سطح پنل است. در راستای بررسی هرچه بهتر اثر ریزگردها بر عملکرد پنل‌های فتوولتائیک در شهر ایلام در فصل بهار، فضا و شرایط ایجاد تحقیق به صورت میدانی شبیه‌سازی شد. بنابراین در تحقیق حاضر با طراحی و ساخت یک جعبه سه‌بعدی مکعبی شکل از جنس پلاستیک شفاف متناسب و نزدیک به شرایط طبیعی، زمینه ایجاد طوفان ریزگرد آماده شد. برای شبیه‌سازی طوفان ریزگرد در آزمایش، از نوعی خاک متناسب با شرایط کمی و کیفی ریزگردهای مرسوم استفاده شد. از آنجا که سطح بالایی جعبه کوچک‌تر از سطح پایینی آن ساخته شد، ریزگرد بر روی جعبه نشست نکرده و تمام آن بر روی پنل نشست نمود. ارتفاع جعبه ۳۰ سانتی‌متر بوده که مقیاسی از ارتفاع طوفان‌های منطقه که حدود ۳۰۰۰ متر است (شکل ۳). یک دستگاه فن مدل FHD-28W-672، ساخت شرکت NEW LIFE آمریکا، بر روی جعبه نصب شد. ریزگرد به‌طور تدریجی بر روی فن ریخته شد تا مشابه حالت طبیعی، در داخل جعبه طوفان ریزگرد ایجاد نماید و به‌مرور بر روی پنل نشست کند.

ریزگرد مورد نظر متناسب با جنس ریزگردهای طبیعی انتخاب شده و در مقادیر وزنی ۱۶۵/۸۶، ۱۱۰/۶۰، ۵۰/۱۰۰ و ۳۰/۱۰۰ گرم بر سطح پنل ۱۰۰ وات مورد استفاده با مساحت ۰/۷ مترمربع مورد آزمایش قرار گرفت. این مقادیر به ترتیب برابر ۲۳۶/۹۴، ۱۵۸/۰۰، ۷۲/۲۸ و ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع هستند. جرم ریزگردها به‌منظور اجرای فرایند آزمایش با استفاده از ترازوی رقمی CITIZEN، سری BS3000A، ساخت شرکت الکترونیک بالانس، با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد (شکل ۴).

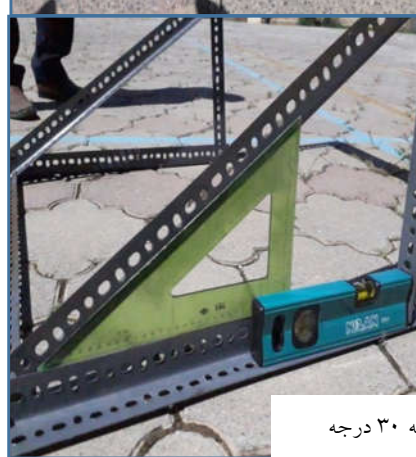
انجام‌شده و با استفاده از داده‌های هواشناسی توسط نرم‌افزار پی وی سیستم<sup>۱</sup> شبیه‌سازی شده و عرض جغرافیایی شهر ایلام زاویه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.



زاویه ۴/۸ درجه



زاویه ۲۶/۱ درجه



زاویه ۳۰ درجه

شکل (۲): تنظیم زاویه شاسی پنل

با توجه به نقش زاویه پنل بر توان خروجی، شاسی پنل‌ها به‌صورت زاویه گیر ساخته شد. در تحقیق حاضر زاویه‌های استقرار مختلفی با استفاده از زاویه‌سنج مدل گروز و هند مورد بررسی قرار گرفت. این زاویه‌ها شامل ۴/۸، ۲۶/۱، و ۳۰/۰ درجه سطح پنل

خورشیدی است. حداکثر توان خروجی هر آرایه خورشیدی، در هوای صاف و آفتابی در ولتاژی بین ۱۴ تا ۲۵ ولت و مقدار جریان آن وابسته به مساحت پنل در نظر گرفته می‌شود. میزان ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه (حداکثر ولتاژ و جریان تولیدی) پنل شاهد و پنل تحت آزمایش در شرایط ایجاد شده با استفاده از دو دستگاه مولتی‌متر رقمی مدل DT-850 (هر پنل یک مولتی‌متر) در شرایط تعیین شده اندازه‌گیری شد. مولتی‌مترها قابلیت اندازه‌گیری جریان ۰ تا ۱۰ آمپر، اندازه‌گیری ولتاژ ۰ تا ۶۰۰ ولت، اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی از ۰ تا ۴۰ مگا اهم، ظرفیت خازن ۱۰۰ میکروفاراد، بسامد اندازه‌گیری ۱۰ مگاهرتز، اندازه‌گیری دما از ۰ تا ۷۶۰ درجه سلسیوس، قابلیت ارزیابی دیود و قابلیت ارزیابی اتصال کوتاه بودند. بیشینه توان تولیدی پنل‌ها با ضرب ولتاژ در جریان آن‌ها به دست آمد.

برای محاسبه توان خروجی از رابطه زیر استفاده شد:

$$P = VI \quad (1)$$

که  $P$  توان (وات)،  $V$  ولتاژ (ولت) و  $I$  جریان (آمپر) است. افت ولتاژ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$VL = \frac{V_{nd} - V_d}{V_d} \times 100 \quad (2)$$

که  $VL$  افت ولتاژ (درصد)،  $V_{nd}$  ولتاژ در حالت بدون ریزگرد (ولت) و  $V_d$  ولتاژ در حالت ریزگرد (ولت) است. رابطه (۳) برای محاسبه افت جریان مورد استفاده قرار گرفت:

$$IL = \frac{I_{nd} - I_d}{I_d} \times 100 \quad (3)$$

که  $IL$  افت جریان (درصد)،  $I_{nd}$  جریان در حالت بدون ریزگرد (آمپر) و  $I_d$  جریان در حالت ریزگرد (آمپر) است. برای محاسبه افت جریان از رابطه (۴) استفاده شد:

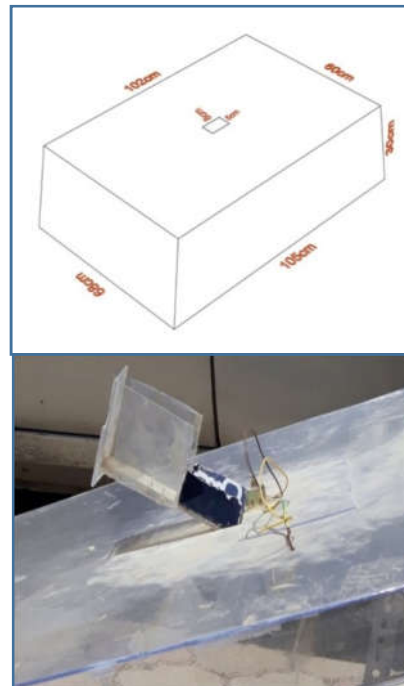
$$PL = \frac{P_{nd} - P_d}{P_d} \times 100 \quad (4)$$

که  $PL$  افت توان (درصد)،  $P_{nd}$  توان در حالت بدون ریزگرد (وات) و  $P_d$  توان در حالت ریزگرد (وات) است.

پس از انجام محاسبات و طبقه‌بندی داده‌های به دست آمده، تجزیه و تحلیل استاتیکی داده‌ها [۲۵] با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از این نرم‌افزار صورت گرفت. نتایج به دست آمده حاصل یک آزمایش چندعامله (زاویه پنل و ریزگرد) بر پایه طرح کاملاً تصادفی بود.

### ۳. نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها برای ارزیابی اثر میزان ریزگرد بر افت ولتاژ، جریان و توان در بخش‌های زیر ارائه شده



شکل (۳): جعبه شفاف همراه با فن برای ایجاد طوفان ریزگرد



شکل (۴): ریزگرد مورد استفاده در آزمایش: توزین ریزگرد (بالا) و ریزگرد نشست کرده روی سطح پنل (پایین)

### ۴.۲. عملکرد پنل

حداکثر توان خروجی از مهم‌ترین معیارهای سنجش پنل‌های

## ۷۷ اثر طوفان گرد و خاک بر عملکرد پنبه فتولتائیک در زاویه‌های استقرار متفاوت

باشد، اختلاف پتانسیل به وجود آمده در نیمه‌های سلول خورشیدی بیشتر خواهد بود [۲۹-۳۰]. از آنجا که نشست گردوغبار بر روی پنبه خورشیدی در جذب فتون‌های خورشیدی ممانعت می‌کند، اختلاف پتانسیل ایجاد شده کاهش می‌یابد.

با توجه به جدول (۴) بیشترین افت ولتاژ مربوط به زاویه ۴/۸ درجه و کمترین افت ولتاژ مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه است؛ این نتیجه نشان می‌دهد که زاویه ۲۶/۱ درجه با وجود نشست ریزگرد، بیشترین مقدار جذب پرتوهای خورشید را داشته و زاویه مناسبی برای نصب پنبه خورشیدی در محل اجرای تحقیق حاضر است.

جدول (۴): مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی بر افت ولتاژ

ردیف	زاویه (°)	میزان ریزگرد (g.m <sup>-2</sup> )	افت ولتاژ (%)
۱		۲۳۶/۹۴	۵/۱۱ <sup>b</sup>
۲		۱۵۸/۰۰	۴/۳۹ <sup>c</sup>
۳	۳۰/۰	۷۲/۲۸	۱/۹۴ <sup>fg</sup>
۴		۴۲/۸۵	۲/۴۶ <sup>fg</sup>
۵		۲۳۶/۹۴	۲/۴۳ <sup>ef</sup>
۶	۲۶/۱	۱۵۸/۰۰	۳/۳۳ <sup>d</sup>
۷		۷۲/۲۸	۱/۵۳ <sup>g</sup>
۸		۴۲/۸۵	۲/۳۵ <sup>ef</sup>
۹		۲۳۶/۹۴	۷/۸۴ <sup>a*</sup>
۱۰	۴/۸	۱۵۸/۰۰	۵/۱۲ <sup>b</sup>
۱۱		۷۲/۲۸	۲/۴۶ <sup>ef</sup>
۱۲		۴۲/۸۵	۲/۸۵ <sup>de</sup>

\* حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

## ۲.۳. افت جریان

نتایج تجزیه واریانس تأثیر ریزگرد و زاویه پنبه به‌عنوان عامل اصلی و اثر متقابل آن‌ها بر افت جریان در جدول (۵) آمده است. همان‌طور که در جدول (۵) مشخص است، اثر زاویه، ریزگرد و اثر متقابل آن‌ها بر افت جریان در فصل بهار در سطح احتمال ۱٪ (<0/0001) معنی‌دار است. در سلول خورشیدی هرچه میدان الکتریکی قوی‌تری ایجاد شود، جریان الکتریکی بیشتری برقرار می‌شود. لازمه میدان الکتریکی قوی، جذب بیشتر فتون‌ها از پرتو خورشید توسط پنبه‌های فتولتائیک است. معنی‌دار شدن اثر ریزگرد بر افت جریان ناشی از ممانعت آن در دریافت فتون‌های خورشیدی به سطح پنبه و بنابراین سبب کاهش انرژی تولیدی است.

است. در این قسمت مقادیر ریزگرد بر روی سطح پنبه فتولتائیک شامل ۰/۰۰، ۴۲/۸۵، ۷۲/۲۸، ۱۵۸/۰۰، و ۲۳۶/۹۴ g.m<sup>-2</sup> و تحت زاویه‌های ۳۰، ۲۶/۱ و ۴/۸ درجه نسبت به خط افق مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر برای هر میزان ریزگرد مورد آزمایش سه تکرار صورت گرفت. هرچند در موقع اجرای آزمایش‌ها هوا صاف بود، از آنجا که دو پنبه بدون ریزگرد (شاهد) و با ریزگرد در کنار هم استفاده شده‌اند و برای محاسبه افت عملکرد مقادیر ولتاژ، جریان و توان آن‌ها از هم کم شده است، اثر تغییرات جوی احتمالی حذف شده است.

## ۱.۳. افت ولتاژ

نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های اصلی ریزگرد و زاویه پنبه و اثر متقابل آن‌ها بر افت ولتاژ در جدول (۳) آمده است. همان‌طور که در جدول (۳) آمده است اثر زاویه، ریزگرد و اثر متقابل آن‌ها بر افت ولتاژ در فصل بهار در سطح احتمال ۱٪ (<0/0001) معنی‌دار است. نتایج مشخص کرد که علاوه بر اثر مقادیر مشخص ریزگرد و زاویه پنبه بر مقدار ولتاژ خروجی که در همه مقادیر مورد آزمایش معنی‌دار بوده و سبب افت گردیده، اثرات زاویه پنبه و ریزگرد با هم نیز به‌صورت متقابل قابل توجه بوده‌اند.

جدول (۳): تجزیه واریانس اثرات ریزگرد و زاویه پنبه بر افت ولتاژ

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	F
زاویه	۲	۲۲/۳۶۳۸	۸۷/۲۵*
ریزگرد	۴	۱۴۶/۲۴۲۶	۲۸۵/۲۹*
زاویه × ریزگرد	۸	۲۸/۵۲۷۶	۲۷/۸۳*
خطا	۳۰	۳/۸۴۴۶	
کل	۴۴	۲۰۰/۹۷۸۶	

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

مقایسه میانگین تیمارها در بررسی افت ولتاژ در جدول (۴) آمده است. با توجه به جدول (۴) کمترین افت ولتاژ برابر ۱/۵۳٪ و مربوط به میزان ریزگرد ۷۲/۲۸ گرم بر مترمربع و بیشترین افت ولتاژ برابر ۷/۸۴٪ مربوط به میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع بوده است. در سلول‌های خورشیدی با اتصال نیمه‌هادی نوع N و P و انتقال الکترون، یون‌های مثبت و منفی به وجود آمده و این یون‌ها تشکیل میدان الکتریکی می‌دهند. فتون‌های نور خورشید با اثر بر روی این میدان سبب جابه‌جایی الکترون‌ها و ایجاد اختلاف پتانسیل می‌شوند. اگر انرژی فتون‌ها بیشتر از انرژی میدان الکتریکی و الکترون‌های موجود در سلول خورشیدی باشد، اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود و هرچه مقدار جذب فتون‌های پرتو خورشید بیشتر



جدول (۵): نتایج تجزیه واریانس اثر ریزگرد بر افت جریان

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	F
زاویه	۲	۴۶/۶۲۷۸	۱۸۴/۱۴*
ریزگرد	۴	۴۸۲۳۲/۸۰۳۹	۹۵۲۳۷/۵*
زاویه × ریزگرد	۸	۱۹۲/۹۸۴۴	۱۹۰/۵۳*
خطا	۳۰	۳/۷۹۸۳	
کل	۴۴	۴۸۴۷۶/۲۱۴۵	

\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪

نتایج مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۶) آمده است. با توجه به مندرجات جدول (۶) بیشترین افت جریان در زاویه ۲۶/۱ درجه پنل و برابر ۸۷/۱۹٪ با میزان ریزگرد ۱۶۵/۸۶ گرم بر مترمربع بوده است. همچنین کمترین افت جریان برابر ۲۴/۸٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع بوده است.

هرچه میزان ریزگرد بر روی سطح پنل بیشتر شده، افت جریان نیز افزایش یافته است. افزایش افت جریان نشان‌دهنده کاهش دریافت انرژی خورشیدی توسط پنل به علت افزایش میزان نشست ریزگرد بر سطح آن است.

### ۳.۳. افت توان

نتایج تجزیه واریانس اثر نشست ریزگرد و زاویه پنل و اثر متقابل آن‌ها بر افت توان در جدول (۷) آمده است. همان‌طور که در جدول (۷) مشخص است، اثر زاویه، ریزگرد و اثر متقابل آن‌ها بر افت توان در سطح احتمال ۱٪ ( $< 0.001$ ) معنی دار است. نتایج مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۸) آمده است.

با توجه به جدول (۸)، بیشترین افت توان برابر ۸۷/۵٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع بوده است. بعد از آن با اختلاف ۰/۱۶٪ کمتر افت توان مربوط به زاویه ۳۰ درجه با همان مقدار ریزگرد بوده و کمترین افت توان برابر ۲۶/۵٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع بوده است.

در مجموع با محاسبه متوسط همه مقادیر ریزگرد در زاویه ۲۶/۱ درجه کمترین مقدار افت توان نسبت به زاویه‌های دیگر حاصل شده است. افت توان در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است [۱۶ و ۱۸].

جدول (۶): نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی بر افت جریان

ردیف	زاویه (°)	میزان ریزگرد ( $\text{g.m}^{-2}$ )	افت جریان (%)
۱		۲۳۶/۹۴	۸۶/۶۵ <sup>b</sup>
۲	۳۰/۰	۱۵۸/۰۰	۷۸/۹۱ <sup>c</sup>
۳		۷۲/۲۸	۳۶/۶۴ <sup>fg</sup>
۴		۴۲/۸۵	۲۶/۱۷ <sup>fg</sup>
۵		۲۳۶/۹۴	۸۷/۱۹ <sup>ef</sup>
۶	۲۶/۱	۱۵۸/۰۰	۷۸/۴۶ <sup>d</sup>
۷		۷۲/۲۸	۲۸/۱۱ <sup>g</sup>
۸		۴۲/۸۵	۲۴/۸ <sup>ef</sup>
۹		۲۳۶/۹۴	۸۵/۹۵ <sup>a*</sup>
۱۰	۴/۸	۱۵۸/۰۰	۷۸/۱۶ <sup>b</sup>
۱۱		۷۲/۲۸	۴۰/۲۵ <sup>ef</sup>
۱۲		۴۲/۸۵	۲۶/۶۵ <sup>de</sup>

\* حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است.

جدول (۷): نتایج تجزیه واریانس اثر ریزگرد بر افت توان

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	F
زاویه	۲	۵۹/۴۹۶۱	۱۴۸/۷۱*
ریزگرد	۴	۴۸۴۵۲/۷۱۳۹	۶۰۵۵۵/۰*
زاویه × ریزگرد	۸	۱۹۰/۹۸۹۴	۱۱۹/۳۵*
خطا	۳۰	۶/۰۰۱	
کل	۴۴	۴۸۷۰۹/۲۰۰۶	

\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪

تحقیقات مشابه صورت گرفته در بازه زمانی ۱ تا ۶ ماهه و تنها با یک عامل اثر ریزگرد آن‌هم بدون در نظر گرفتن مقدار ریزگرد بوده، و با بررسی مشخص شد تاکنون هیچ پژوهشی به‌طور همزمان عامل مقدار زاویه استقرار و مقدار ریزگرد را بررسی نکرده است. در تحقیقی در عربستان در دوره ۶ ماهه تا ۷۵٪ [۱۲] و در مصر در همین بازه زمانی ۶۰/۸٪ [۱۳] و در استان ایلام در ماه‌های تیر و مرداد ۳۱٪ در شرایط معمولی محیطی [۱۷] افت عملکرد ثبت شده است. در پژوهش حاضر با اجرای آزمایش‌های مربوط بیشترین مقدار ریزگرد (۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع) تا ۸۷٪ و با کمترین مقدار (۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع) ۴۱٪ افت عملکرد به دست آمده که با توجه به تأثیر عوامل محیطی در زمان طولانی بر میزان نشست ریزگرد نسبت به آزمایش میزان مشخص ریزگرد در یک زمان معین و ساعت مشخص می‌توان استنباط کرد که نتیجه این تحقیق با پژوهش‌های قبلی در یک راستا می‌باشد.

## ۷۹ اثر طوفان گرد و خاک بر عملکرد پنبه فتولتائیک در زاویه‌های استقرار متفاوت

بود. آنچه بیشتر تابع مقدار وزنی و تراکم ریزگرد رسوب‌شده بر سطح پنبه است، شدت جریان خروجی بود که بیشترین افت آن در زاویه ۲۶/۱ درجه پنبه و برابر ۸۷/۱۹٪ با میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع و کمترین افت جریان برابر ۲۴/۸٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع بود.

بیشترین افت توان برابر ۸۷/۵٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع بوده است. بعد از آن با اختلاف ۰/۱۶٪ کمتر افت توان مربوط به زاویه ۳۰ درجه با همان مقدار ریزگرد بوده و کمترین افت توان برابر ۲۶/۵٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۴۲/۸۵ گرم بر مترمربع بوده است. مقایسه درصد افت توان پنبه در زاویه‌های انتخابی مختلف بود که در آن مشخص شد زاویه ۲۶/۱ درجه نسبت به دیگر زاویه‌های مورد آزمایش کاهش عملکرد کمتری داشته و به عبارتی دیگر زاویه مناسب‌تری برای تولید انرژی الکتریکی حتی در صورت وقوع پدیده ریزگرد می‌باشد.

نتایج این تحقیق ضرورت پاک‌سازی سطح پنبه‌های خورشیدی را به‌خصوص در زمان وقوع پدیده ریزگرد آشکار می‌سازد. بنابراین اجرای تحقیقاتی به‌منظور تعیین زمان پاک‌سازی پنبه‌ها، طراحی، پیاده‌سازی، به‌کارگیری و ارزیابی سامانه‌های پاک‌کننده‌ها، و همچنین استفاده از انواع نانو پوشش‌ها جهت افزایش بازدهی پنبه‌ها ضروری است.

با افزایش میزان ریزگرد، ولتاژ، جریان و در نهایت توان خروجی پنبه، به دلیل کاهش دریافت فتون‌های خورشیدی، کاهش یافته است. این نتایج ضرورت پاک‌سازی سطح پنبه‌های خورشیدی به‌خصوص در زمان وقوع پدیده ریزگرد را آشکار می‌سازد. یکی دیگر از راه‌های کاهش اثر ریزگردها، استفاده از نانو پوشش‌هاست و بنابراین می‌توان از این طریق در حفظ عملکرد پنبه‌های خورشیدی گام برداشت [۲۸].

جدول (۸): نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی بر افت توان

ردیف	زاویه (°)	میزان ریزگرد (g.m <sup>-2</sup> )	افت توان (%)
۱		۲۳۶/۹۴	۸۷/۳۴ <sup>b</sup>
۲		۱۵۸/۰۰	۷۹/۸۴ <sup>c</sup>
۳	۳۰/۰	۷۲/۲۸	۳۷/۸۷ <sup>fg</sup>
۴		۴۲/۸۵	۲۷/۷۲ <sup>fg</sup>
۵		۲۳۶/۹۴	۸۷/۵ <sup>ef</sup>
۶		۱۵۸/۰۰	۷۹/۱۷۷ <sup>d</sup>
۷	۲۶/۱	۷۲/۲۸	۲۹/۲ <sup>g</sup>
۸		۴۲/۸۵	۲۶/۵۷ <sup>ef</sup>
۹		۲۳۶/۹۴	۸۷/۰۵ <sup>a*</sup>
۱۰		۱۵۸/۰۰	۷۹/۳۶ <sup>b</sup>
۱۱	۴/۸	۷۲/۲۸	۴۱/۷۲ <sup>ef</sup>
۱۲		۴۲/۸۵	۲۷/۷۷ <sup>de</sup>

\* حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

## ۴. نتیجه‌گیری

اثر زاویه پنبه و نشست مقادیر مشخص ریزگرد بر افت عملکرد پنبه خورشیدی مونوکریستال با مساحت سطح ۰/۷ مترمربع به‌صورت تحقیق میدانی مورد بررسی قرار گرفت. افت ولتاژ، جریان و توان خروجی پنبه مورد آزمایش در مقایسه با پنبه شاهد با همان مشخصات در برابر مقادیر وزنی ریزگرد و زاویه پنبه معنی‌دار بود. در مقادیر وزنی زیاد صرف‌نظر از زاویه پنبه، توان خروجی پنبه مورد آزمایش بیش از ۸۷٪ افت پیدا نموده به‌طوری که می‌توان گفت پنبه در مقادیر بالای ریزگرد تقریباً کارایی نداشت.

در زمان نشست ریزگرد بر سطح پنبه خورشیدی اختلاف پتانسیل یا ولتاژ کمترین تأثیرپذیری را داشت به‌طوری که بیشترین افت ولتاژ برابر ۷/۸۴٪ مربوط به زاویه ۴/۸ درجه و میزان ریزگرد ۲۳۶/۹۴ گرم بر مترمربع بوده و کمترین افت ولتاژ برابر ۱/۵۳٪ و مربوط به زاویه ۲۶/۱ درجه و میزان ریزگرد ۷۲/۲۸ گرم بر مترمربع

## فهرست علائم

علامت	واحد	توضیح
I	آمپر	جریان
I <sub>d</sub>	آمپر	جریان در حالت ریزگرد
IL	درصد	افت جریان
I <sub>nd</sub>	آمپر	جریان در حالت بدون ریزگرد
P	وات	توان
P <sub>d</sub>	ولت	توان در حالت ریزگرد
PL	درصد	افت توان
P <sub>nd</sub>	وات	توان در حالت بدون ریزگرد
V	ولت	ولتاژ
V <sub>d</sub>	ولت	ولتاژ در حالت بدون ریزگرد
VL	درصد	افت ولتاژ
V <sub>nd</sub>	ولت	ولتاژ در حالت بدون ریزگرد



- [1] Ramezani, M. and Hadion, S., "Global and regional study of solar energy potential", 2<sup>nd</sup> National Conference on Wind and Solar Energy, 21 February, Tehran, Iran, 2013
- [2] Sepehri, F., "The link between architecture and technology using clean energy", 5<sup>th</sup> International Conference on Research in Science and Technology, November 15, London, England, 2016.
- [3] Hosseini, S.A., Mashallah kermani, A. and Arabhosseini, A., "Effects of Ambient Air Temperature and Relative Humidity on the Performance of Photovoltaic (PV) Panels", Energy Engineering & Management. Vol. 8, pp. 54-65, 2018
- [4] Jiang, Y. and Lu, L., "A study of dust accumulating process on solar photovoltaic modules with different surface temperatures", Energy Procedia, Vol. 75, pp. 337-342, 2015.
- [5] Sulaiman, S.A., Singh, A.K., Mior Mokhtar, M.M. and Bou-Rabee, M.A., "Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels", Energy Procedia, Vol. 50, pp. 50-56, 2014.
- [6] Ameri, A., Mashallah Kermani, A., Zarafshan, P., Kouravand, S. and Khashhechi, M., "The Effect of Air Pollution on Photovoltaic Solar Panels Performance", Energy Engineering and Management. Vol. 8, pp. 50-57, 2018.
- [7] Farzadmehr, M., "Investigating the reduction factors of the power quality and efficiency of photovoltaic power plants connected to distribution networks", M.Sc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2017.
- [8] Mashallah kermani, A., Hosseini, S.A. and Arabhosseini, A., "Experimental study the effect of dew formation on the performance of solar cells", Iranian Journal of Biosystems Engineering. Vol. 49, pp. 49-59, 2018.
- [9] Kheiralipour, K., Al-Ansari, N. and Sissakian, V.K., "Dust determination methods and instrumentations", 2<sup>nd</sup> International Conference on Dust. 25-27 April, Ilam, Iran, 2018.
- [10] Gholami, A., "Experimental study of the effect of dust settling on the glass transmission coefficient in solar applications and the corrective effect of nano-coating on that", M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 2016.
- [11] Erfanzadeh, R., "Comparison of the occurrence and trend of dust in Ilam and Dehloran cities", 2<sup>nd</sup> International Geoscience Congress. 22-24 February, Tehran, Iran, 2016.
- [12] Salim, A., Huraib F., Eugenio, N., PV power, study of system options and optimization. 8<sup>th</sup> European PV Solar Energy Conference. 5-9 August, Florence, Italy, 1988.
- [13] Hammad, B., Al-Abed, M., Al-Ghandoor, A., Al-Sardeah, A. and Al-Bashir, A., "Modeling and analysis of dust and temperature effects on photovoltaic systems' performance and optimal cleaning frequency: Jordan case study", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 2218-2234, 2018.
- [14] Sayigh, A.A.M., Al-Jandal, S. and Ahmed, H., "Dust effect on solar flat surfaces devices in Kuwait", Proceedings of the Workshop on the Physics of Non-Conventional Energy Sources and Materials Science for Energy, 2-20 September, Miramare-Trieste, Italy, 1985.
- [15] Hassan, A.H., Rahoma, U.A., Elminir, H.K. and Fathy, A.M., "Effect of airborne dust concentration on the performance of PV modules", Journal of the Astronomical Society of Egypt, Vol. 13, No. 1, pp. 24-38, 2005.
- [16] Moutinho, H.R., Jiang, C.S., To, B., Perkins, C., Muller, M., Al-Jassim, M.M. and Simpson, L., "Adhesion mechanisms on solar glass: Effects of relative humidity, surface roughness, and particle shape and size", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 172, pp. 145-153, 2017.
- [17] Azizi, A.H., Rashidi, M.J. and Seyedi, M., "Evaluation of the effect of dust on the performance of photovoltaic power plant modules, case study: Ilam city", 2<sup>nd</sup> International Conference on Dust, 25-27 April, Ilam, Iran, 2018.
- [18] Gholami, A., Eslami, S., Tajik, A., Ameri, M., Gavagsaz Ghoachani, R. and Zandi, M., "A review of the effect of dust on the performance of photovoltaic panels", Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity, Vol. 8, No. 1, pp. 93-10, 2019.
- [19] Meteorological Organization of Ilam Province, 2019. <http://www.ilammet.ir>,
- [20] Seidkhani, T. "Estimation of solar radiation potential in Ilam city", M.Sc. Thesis, Ilam University, Ilam, Iran, 1399.
- [21] Anonymous, A Guide to Photovoltaic (PV) System Design and Installation. Report No. 667. Management and Planning Organization, Islamic Republic of Iran, 2014. [http://www.satba.gov.ir/suna\\_content/media/image/2015/09/3922\\_orig.pdf](http://www.satba.gov.ir/suna_content/media/image/2015/09/3922_orig.pdf). (In Persian).
- [22] Rahimi, A.R., Karbalaee Daree, A.R. and Karbalaee, M.R., "Optimal slope and azimuth analysis for photovoltaic panels based on solar radiation in Kashan", Applied Research in Geographical Sciences, Vol. 18, pp. 59-74, 2018.
- [23] Golkar, M.A.A. and Modaresi, J., "Determining the angle of the fixed solar panels to receive the maximum radiation in energy distribution networks in different cities in Iran", 17<sup>th</sup> National Conference of Electricity Distribution Networks. 30 April, Tehran, 2012.
- [23] Golkar, M.A.A. and Modaresi, J., "Determining the angle of the fixed solar panels to receive the maximum radiation in energy distribution networks in different cities in Iran", 17<sup>th</sup> National Conference of Electricity Distribution Networks. 30 April, Tehran, 2012.
- [24] Norouzi, M. and Kazemi Kargar, H., "Photovoltaic Panels, Introduction, Foundation and Design", 1<sup>st</sup> Ed. Ketab Arad and Kakheshan Danes Publication. Tehran, Iran, 2019.
- [25] Ahmadi, G., "Monitoring of dust phenomena in west of Iran using statistical methods and processing of satellite images", M.Sc. Thesis. University of Tabriz, Iran, 2011.
- [26] Roushani Nia, F., Naji, H., Bazgir, M. and Naderi, M., "Effect of simulated dust storm on some bio-chemical features of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.)", Environmental Erosion Research Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 59-73, 2018.

- [27] Sadrian, M.R., Mohammadkhan, S., Mashadi, N., Dashtkian, K. 2013. Zoning of dust in Ilam City. 3<sup>rd</sup> Conference of Dust Storm. 15 January, Yazd.
- [28] Heybtian, H., Experimental study of the effect of nanocoatings on dust deposition on solar panels and their efficiency. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 2017.
- [29] Hochbaum, A.I. and Yang, P., "*Semiconductor Nanowires for Energy Conversion*", Chemical Reviews, Vol. 110, pp. 527-546, 2010.
- [30] Mims III, F.M, "*Solar Cell Projects*", Radio Shack Engineer's Mini Notebook, First Printing, USA, 1999.