

# بررسی دقت نرم افزار PVSOL در تخمین میزان تولید انرژی

## خورشیدی با استفاده از داده‌های عملی

محمد بابائی، علی مشمول و حسین ابوترابی زارچی

گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی

دانشگاه فردوسی مشهد

مشهد، ایران

mohammad.babaei@mail.um.ac.ir, alimashmol@gmail.com, abootorabi@um.ac.ir

### ۱. مقدمه

استفاده وسیع از سوخت‌های فسیلی همچون نفت، ذغال‌سنگ و گاز، اثرات گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد. در همین حال، یک تضاد بزرگ بین منابع سوخت فسیلی و تقاضای انرژی در جهان وجود دارد. کمبود انرژی و آلودگی محیط زیست موانع عمده‌ای برای توسعه جوامع شده اند. انرژی خورشیدی یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. هر چند هزینه استفاده از انرژی خورشیدی و سرمایه گذاری اولیه آن بسیار بالاست، ولی امروزه در سیاست گذاری‌ها فقط هزینه سیستم‌های خورشیدی در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه فواید حاصل از بکارگیری آنها مانند کاهش آلودگی محیط زیست و رایگان بودن مصرف پس از سرمایه گذاری اولیه نیز مدنظر قرار می‌گیرد. با توجه به ویژگی‌های سیستم فتوولتائیک، استفاده از انرژی خورشیدی همه گیر شده است. نکات مهم برای مهندسين و سرمایه گذاران، محاسبه دوره بازگشت سرمایه، بهترین نقاط از نظر تولید انرژی خورشیدی، تاثیر پارامترهای مختلف مانند دما، تابش، زاویه پنل و... بر عملکرد سیستم فتوولتائیک می‌باشد. بدین منظور و برای محاسبه و بررسی ساده تر و سریع تر نکات ذکر شده میتوان از نرم افزارهای شبیه سازی استفاده کرد. اما نکته نگران کننده در مورد این نرم افزارها دقت پیش بینی آنها می باشد. در این مقاله نرم افزار PVSOL که قبلا هم در کارهای پژوهشی مختلف از جمله [۱]-[۳] مورد استفاده محققین قرار گرفته، معرفی می‌شود. سپس با توجه به مشخصات سیستم‌های موجود شبیه سازی و با توجه به داده‌های عملی موجود دقت آن بررسی می‌شود. داده‌های مربوط به سه نیروگاه ۵،۲ kW نصب شده در شهر تهران در سه ایستگاه

چکیده — با توجه به مشکلات سوخت‌ها فسیلی، استفاده از انرژی‌های نو بخصوص انرژی خورشیدی و فتوولتائیک بسیار بیشتر از گذشته شده است. بنابراین تحقیقات تحلیل‌های فنی و اقتصادی زیادی به منظور استفاده مفید تر از سیستم‌های فتوولتائیک انجام می‌شود. نکته مهم برای سیستم خورشیدی تخمین انرژی تولیدی به منظور بررسی دوره بازگشت سرمایه واقعی می‌باشد. همچنین بررسی راحت و دقیق تاثیرات پارامترهایی مانند دما، تابش، زاویه نصب و... بر طول عمر، تولید انرژی و راندمان سیستم از جمله نیازهای سیستم فتوولتائیک برای پروژه‌های تحقیقاتی و صنعتی مهم می‌باشد. به منظور سادگی میتوان از نرم افزارهای شبیه ساز، سیستم‌های خورشیدی از جمله PVSOL استفاده کرد. دقت نرم افزار شبیه ساز امری مهم در اعتماد و اتکا به آن برای تحلیل و تحقیق می‌باشد. بنابراین یکی از موارد مهم در مورد نرم افزارها، بررسی دقت پیش بینی نرم افزار، بررسی دلایل خطای مقدار واقعی و پیش بینی شده و تلاش برای بهبود آنها می‌باشد. در این مقاله با استفاده از داده‌های عملی سه سیستم ۵،۲ kW نصب شده در شهر تهران و انتخاب چند ماه بصورت تصادفی دقت نرم افزار PVSOL بررسی شده است. همچنین علل اختلاف مقدار توان تولیدی و توان تولید پیشبینی شده بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی — فتوولتائیک؛ PVSOL؛ انرژی خورشیدی

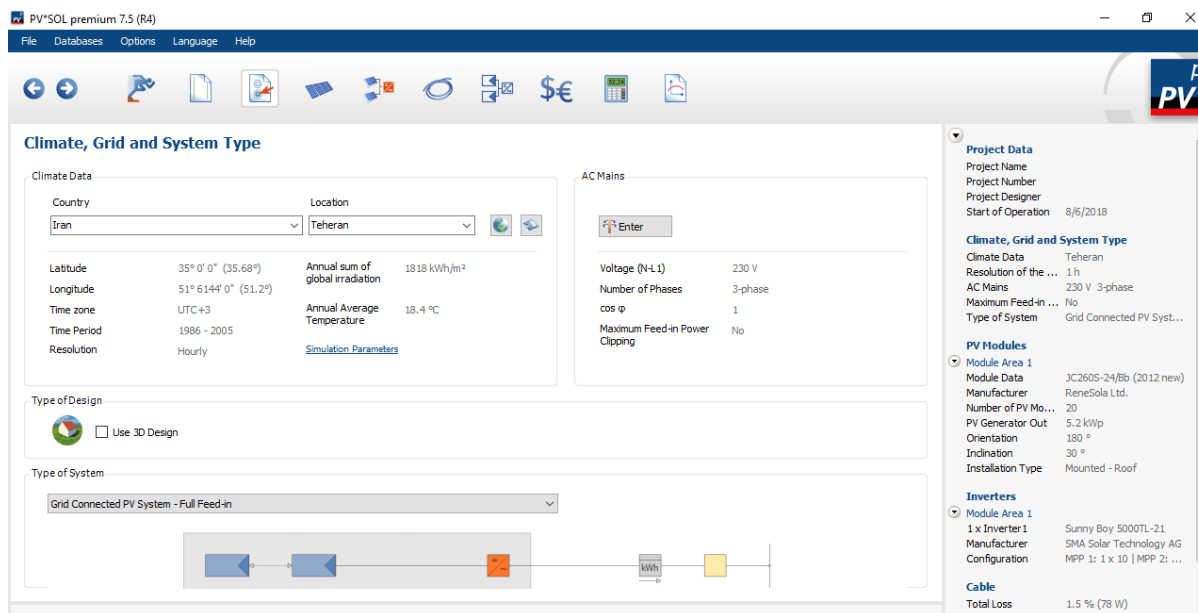
صدها پیکربندی استاندارد و نمونه وجود دارد. پیکربندی‌هایی که توسط شرکت‌های بزرگ دنیا در این زمینه استفاده میشوند و میتوان تنها با ظرفیتهای بخشهای مختلف، سیستم مورد نظر را برای شبیهسازی ایجاد کرد. جدا از امکان استفاده از پیکربندیهای آماده، نرم افزار PVSOL با دارا بودن بانک اطلاعاتی قدرتمند و بهروز از تجهیزاتی چون پنل خورشیدی، اینورتر و باتری امکان ساخت و شبیه سازی پیکربندیهای خاص و مورد نظر را نیز فراهم نموده است. این نرم افزار قابلیت شبیه سازی یک سیستم PV با حداکثر ۱۰۰۰۰ ماژول را دارا میباشد. در این نرم افزار حتی امکان شبیه سازی دقیقه ای برای هر تعداد ماژول و جهتگیری امکان پذیر بوده و امکان ترکیب سیستمها با اینورترهای مختلف نیز وجود دارد. در نهایت امکان انجام آنالیزهای اقتصادی نیز برای سیستم طراحی شده فراهم گردیده است. نرم افزار PVSOL دارای قابلیت‌های زیر می‌باشد:

- ایجاد ساختمان ها و اشیا بر اساس نقشه
- امکان شبیه سازی به صورت دو بعدی
- محاسبه و کنترل مقدار انرژی تولیدی توسط سیستم
- اندازه گیری عمر باتری و بهره وری اقتصادی
- شبیه سازی سیستم های خورشیدی تا دو مگاوات در حالت D3
- محدود کردن ناحیه و سایه اشیا بر روی سقف و یا نمای ساختمان

افسریه، قدس و تهرانپارس می‌باشد. محاسبه دقت نرم افزارهای شبیه سازی سیستم‌های فتولتائیک در گذشته برای نقاط مختلف جهان نیز انجام شده است [۴]-[۷].

## ۲. معرفی نرم افزار PVSOL

برای تخمین انرژی تولیدی یک سیستم فتولتائیک نیاز به اطلاعاتی از قبیل میزان تابش، زاویه تابش، تعداد پنل‌ها و... می‌باشد. علاوه بر این اطلاعات الگوریتم‌های برای تخمین مقدار تابش در طول زمان و تاثیر عواملی مانند تاثیر سایه بر روی سیستم لازم است. به همین منظور نرم افزارهای مختلفی بدین منظور استفاده می‌شود؛ از جمله آن‌ها نرم افزار PVSOL می‌باشد. نرم افزار PVSOL جهت مدلسازی و تحلیل سیستمهای برق خورشیدی جدا از شبکه و متصل به شبکه استفاده می‌شود. نرم افزار PVSOL توسط گروه Valentín Energy Software ارائه شده است. این نرم افزار امروزه بسیار پر کاربرد در میان کارشناسان طراحی، نصب و راه اندازی تأسیسات برق خورشیدی می‌باشد. در گذشته سیستمهای برق خورشیدی از توجیه اقتصادی پایینی برخوردار بود. ولی روز به روز با کاهش قیمت تجهیزاتی چون پنلهای خورشیدی و افزایش راندمان آنها توجیه اقتصادی این سیستمها افزایش مییابد و قطعا با محدودیتهای منابع سوختهای فسیلی و پیامدهای زیست محیطی ناشی از آنها، استفاده از انرژی پاک خورشیدی جهت تولید برق افزایش گسترده تری خواهد یافت. در نرم افزار PVSOL امکان استفاده از



شکل ۱ نمایشی از نرم افزار PVSOL

جدول ۲ پیش بینی میانگین روزانه تولید به ازای یک کیلو وات برای

شهر تهران

ردیف	ماه	پیش بینی میانگین تولید روزانه (کیلووات ساعت) به ازای هر کیلووات
۱	فروردین	۴/۵۹
۲	اردیبهشت	۴/۷۷
۳	خرداد	۵/۰۵
۴	تیر	۴/۹۲
۵	مرداد	۵/۰۰
۶	شهریور	۴/۹۳
۷	مهر	۴/۲۶
۸	آبان	۳/۹۱
۹	آذر	۳/۳۵
۱۰	دی	۳/۶۳
۱۱	بهمن	۳/۸۴
۱۲	اسفند	۴/۱۸

افزار به منظور تخمین تولید انرژی، بررسی دوره بازگشت سرمایه و مقایسه تولید در شرایط مختلف محیطی و جغرافیایی، امری مهم و مورد نیاز است. در بخش‌های بعدی نتایج شبیه سازی برای شهر تهران گزارش شده اند. داده های حاصل از شبیه سازی با داده‌های واقعی مقایسه شده اند. مقدار خطای نرم افزار و دلایل وجود خطا بررسی شده است.

### ۳. نتایج شبیه سازی

سیستم با مشخصات داده شده در جدول ۱ شبیه سازی شده است و نتایج آن با داده‌های عملی موجود که مربوط به سیستمی با مشخصات جدول ۱ می‌باشد؛ مقایسه شده است. جدول ۲ میانگین انرژی تولیدی روزانه یک سیستم یک کیلووات را در ماه های مختلف در شهر تهران نشان می‌دهد. جدول ۲ پیش بینی بیشترین تولید انرژی در ماه‌های خرداد و مرداد برای شهری با آب و هوای تهران اتفاق می‌افتد. همچنین پیش بینی نسان می‌دهد

- دارای انواع مختلف صفحه های خورشیدی

- امکان پوشش مدل با بیشترین تعداد صفحه های خورشیدی

- بهینه سازی خودکار و دستی تنظیمات ماژول

- ایجاد تکسچر برای اشیای سه بعدی

- نمایش سایه ها با انیمیشن

- نمایش مدل و سیستم های تعبیه شده از جهات گوناگون

- ایجاد و نمایش کابل کشی های AC و DC

- نمایش اطلاعات ناحیه مورد نظر

پس از معرفی مختصر نرم افزار و ویژگی‌ها آن در این بخش، در بخش

بعدی به صورت مختصر نحوه شبیه سازی و اطلاعات لازم برای شبیه

سازی توضیح داده می‌شود.

### ۲.۱. تصاویری از محیط نرم افزار و نحوه ی شبیه سازی

در این قسمت مختصراً در مورد اطلاعات لازم برای شبیه سازی یک سیستم فتوولتائیک با نرم افزار PVSOL، توضیح داده شده است. برای شبیه سازی به اطلاعاتی شامل محل نصب، زاویه نصب، جهت نصب، تعداد پنل ها، نوع پنل ها، اینورتر استفاده شده، نحوه تزریق انرژی (جدا از شبکه، متصل به شبکه)، چینش پنل‌ها (اتصال سری و موازی پنل‌ها) اطلاعات مربوط به کابل‌ها مانند تلفات هدایتی کابل و... نیاز است. شکل ۱ نمایی از نحوه ی شبیه سازی با این نرم افزار نشان می‌دهد. اطلاعات خروجی نرم افزار شامل اطلاعاتی از قبیل انرژی تولیدی در ماه‌ها و فصول مختلف؛ تابش دریافتی مختلف، محاسبه دوره بازگشت سرمایه با توجه به هزینه های موجود و... می‌باشد. بنابراین با توجه به ویژگی‌های نرم افزار موجود بررسی دقت نرم

جدول ۱- مشخصات سیستم مورد مطالعه

پارامتر	توضیحات
اینورتر	1 * 5.2 kW(SMA, Sunny Boy 5000TL-21)
پنل خورشیدی	20*260 W (ReneSola Ltd, JC260S-24/Bb (2012 new))
زاویه نصب	30°
جهت نصب	جنوب
تلفات هدایتی	1.5%

اختلاف مقدار تولیدی و میزان پیش بینی شده انرژی تولیدی در ایستگاه های مختلف می پردازد. همانطور که از جداول و نمودار ها مشخص است میزان انرژی ثبت شده توسط سیستم مانیتورینگ در این سه ایستگاه با مقدار انرژی پیش بینی شده تفاوت دارد که بطور مجموع برای ۲۰ ماه در این سه ایستگاه نسبت انرژی تولیدی به مقدار پیش بینی شده برابر ۰٫۹۳۹ می باشد که این به منزله تولید کمتر نسبت به پیش بینی است. در بخش بعدی به بررسی علل تفاوت مقدار تولیدی و مقدار پیش بینی شده پرداخته می شود.

## ۵. بررسی علل تفاوت مقدار انرژی تولیدی و

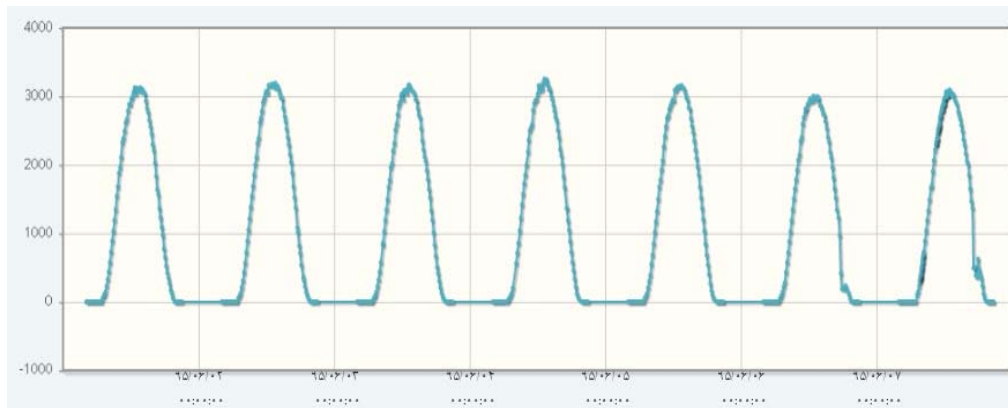
### مقدار پیش بینی شده

یکی از مهم ترین دلایل این اختلاف این است که نرم افزار PVSOL اطلاعات مربوط به دما و تابش را بر اساس داده های موجود از سال های قبل ناسا در شبیه سازی اثر می دهد (۲۰۰۵-۱۹۸۰) در حالیکه پدیده هایی مانند ریزگرد ها از پدیده هایی هستند که به تازگی به مشکل آلودگی هوای تهران افزوده اند و هر چه هوا آلوده تر باشد میزان تابش دریافتی پنل ها نیز به همان

که ماه های آذر و دی احتمالاً به دلیل تابش کمتر، کمترین مقدار تولید انرژی را خواهند داشت.

## ۴. بررسی دقت نرم افزار PVSOL

در این بخش به بررسی داده های حاصل از مانیتورینگ سه ایستگاه ۵٫۲ کیلو وات قدس، افسریه و تهرانپارس که در شهر تهران واقع شده اند می پردازیم. به عنوان نمونه چند ماه از داده های اندازه گیری شده برای بررسی خطای مقدار پیش بینی شده و مقدار تولیدی انتخاب شده است. داده ها از سایت [solardata.net](http://solardata.net) که محصول شرکت سولار باد انرژی است گرفته شده است. این سایت که امکان مشاهده نمودار ها و پارامتر های مختلف ایستگاه های متصل را می دهد شامل قسمت های مختلفی می باشد. دو قسمت اصلی آن پایش و گزارش می باشد که در قسمت پایش امکان مشاهده به صورت نمودار و مشاهده مشخصات ایستگاه و تولید آنلاین آن وجود دارد و در قسمت گزارش هم امکان گزارش گیری از ایستگاه ها طی بازه های مختلف زمانی با امکان تعیین فواصل نمونه گیری وجود دارد. شکل ۲ نمونه ای از داده های سیستم مانیتورینگ ذکر شده را نشان می دهد. جداول ۳-۵ به بررسی



شکل ۲ نمونه ای از داده های خروجی سیستم مانیتورینگ

جدول ۳ مقایسه مقادیر تولیدی و پیش بینی شده - ایستگاه افسریه

ماه	پیش بینی تولید (kWh)	ایستگاه افسریه (kWh)	نسبت تولید انرژی ایستگاه افسریه نسبت به پیش بینی (%)	تفاوت مقداری انرژی تولیدی نسبت به پیش بینی (kWh)
اذر ۹۴	523	465	0.8891	-58
دی ۹۴	566	505	0.8922	-61
بهمن ۹۴	599	635	1.0601	36
اسفند ۹۴	652	687	1.0536	35
فروردین ۹۵	740	734	0.9918	-6
اردیبهشت ۹۵	769	846	1.1001	77
خرداد ۹۵	814	858	1.0540	44
مجموع	4663	4730	1.0058	67

جدول ۴ مقایسه مقادیر تولیدی و پیش بینی شده ایستگاه - تهرانپارس

ماه	پیش بینی تولید (kWh)	ایستگاه تهرانپارس (kWh)	نسبت تولید انرژی ایستگاه تهرانپارس نسبت به پیش بینی (%)	تفاوت مقداری انرژی تولیدی نسبت به پیش بینی (kWh)
اذر ۹۴	523	414	0.7915	-109
دی ۹۴	566	453	0.8003	-113
بهمن ۹۴	599	590	0.9849	-9
اسفند ۹۴	652	688	1.0552	36
فروردین ۹۵	740	701	0.9472	-39
اردیبهشت ۹۵	769	843	1.0962	74
خرداد ۹۵	814	810	0.9950	-4
مجموع	4663	4499	0.9529	-164

جدول ۵ مقایسه مقادیر تولیدی و پیش بینی شده - ایستگاه قدس

ماه	پیش بینی تولید (kWh)	ایستگاه قدس (kWh)	نسبت تولید انرژی ایستگاه قدس نسبت به پیش بینی (%)	تفاوت مقداری انرژی تولیدی نسبت به پیش بینی (kWh)
دی ۹۴	566	361	0.6378	-205
بهمن ۹۴	599	469	0.7829	-130
اسفند ۹۴	652	546	0.8374	-106
اردیبهشت ۹۵	769	726	0.9440	-43
خرداد ۹۵	814	786	0.9656	-28
تیر ۹۵	793	717	0.9041	-76
مجموع	4193	3605	0.9041	-588

- معیوب بودن یک یا چند پنل یا اتصالات آن و عدم تطابق با سایر پنل‌های موجود در مجموعه یا قطع بودن یکی از رشته‌های متصل به ورودی اینورتر
- وجود ریزگرد ها

نسبت کاهش می یابد و تغییرات آب و هوایی تاثیر زیادی روی تولید پنل دارد. در مجموع عواملی که باعث این اختلاف شده اند در زیر آورده شده اند:

- عدم دقت مقدار مجموع شدت تابش سالانه بدست آمده از ماهواره‌های هواشناسی ناسا

## ۶. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از داده‌های واقعی سه سیستم ۵,۲ kW به بررسی دقت پیش بینی نرم افزار PVSOL پرداخته شد. سیستم‌های نصب شده در شهر تهران و در سه ایستگاه افسریه، نهرانپارس و قدس قرار دارند. با انتخاب چند ماه بصورت تصادفی دقت نرم افزار PVSOL مورد بررسی قرار گرفت. دلایل خطای مقدار پیش بینی شده با مقدار واقعی بررسی شد. نتایج نشان از دقت نسبتاً بالای پیش بینی انجام شده توسط نرم افزار PVSOL دارد. علاوه بر این اگر راهکارها و نکات ذکر شده برای بهبود عملکرد سیستم و نرم افزار انجام شوند؛ تفاوت مقدار انرژی تولیدی و مقدار پیش بینی شد کمتر خواهد شد. بنابراین این نرم افزار می‌تواند در بررسی‌های مختلفی که در مورد سیستم‌های فتوولتائیک انجام می‌پذیرد استفاده شود.

- عدم دقت در جهت‌گیری پنل‌ها نسبت به آزمون
- صفر (دقیقاً رو به جنوب باشد) و زاویه پنل‌ها نسبت
- تفاوت میزان تلفات ناشی از گرد و غبار نسبت به مقدار واقعی
- تفاوت دمای سلول‌ها نسبت به مقدار واقعی
- مغایرت تلفات اینورتر با مقدار عملی
- وجود سایه‌اندازی جزئی یا کلی بر روی پنل‌ها
- در نظر گرفته نشدن روزهای ابری
- تفاوت در مقدار تلفات ناشی از کابل‌کشی نسبت به مقدار عملی
- قطع برق و خاموش شدن سیستم

## منابع

- [1] R. Sharma and L. Gidwani, "Grid connected solar PV system design and calculation by using PV SOL premium simulation tool for campus hostels of RTU Kota," Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2017. 2017.
- [2] "Building integrated Photovoltaic Retrofitting in office buildings," Energy Procedia, vol. 115. pp. 239–252, 2017.
- [۳] اژدرزاده لنج آبادی، ندا و آبتین عطایی، ۱۳۹۴، بررسی اثر دما بر تولید نیروگاههای فتوولتائیک با استفاده از نرم افزار PVSOL در دو منطقه آب و هوایی متفاوت، نخستین همایش ملی انرژی ساختمان و شهر، ساری، موسسه پژوهشی شبستان
- [4] P. J. Axaopoulos, E. D. Fylladitakis, and K. Gkarakis, "Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations," International Journal of Energy and Environmental Engineering, vol. 5, no. 1. pp. 1–8, 2014.
- [5] L. Boughamrane, M. Boulaid, A. Tihane, A. Sdaq, K. Bouabid, and A. Ihlal, "Comparative analysis of measured and simulated performance of the Moroccan first MV grid connected photovoltaic power plant ofassa, southern Morocco," Journal of Materials and Environmental Science, vol. 7, no. 12. pp. 4682–4691, 2016.
- [6] D. Okello, E. E. van Dyk, and F. J. Vorster, "Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa," Energy Conversion and Management, vol. 100. pp. 10–15, 2015.
- [7] N. Umar, B. Bora, C. Banerjee, and B. S. Panwar, "Comparison of different PV power simulation softwares : case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant," vol. 7, no. 7. pp. 11–24, 2018.