

تاریخ دریافت: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۸ بهمن ۱۴۰۱

صفحات الی ۵۵

۷۵

بررسی عوامل موثر در شبیه‌سازی و استقرار بهینه تولید برق فتوولتایک

رضا سعدی

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

reza.saadi@email.kntu.ac.ir

حسین محسنی

استادیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران،
mohseni@kntu.ac.ir

چکیده: فناوری فتوولتایک توانایی تامین برق مصارف مختلف از منبع تجدیدپذیر خورشید را دارد. استقرار و نصب تجهیزات فتوولتایک در مناطق مختلف، تابع نوع آب و هوای شرایط اقلیمی است. مسئله اصلی در توسعه این سیستم‌ها، افزایش بهره وری انرژی و کاهش هزینه‌های تولید برق است. برای دستیابی به این هدف، بهینه‌سازی در چند حیطه و به صورت بین رشته‌ای مورد نیاز است. نظر به گستره مناطق مستعد این حوزه انرژی در کشور، استقرار مناسب صفات خورشیدی فتوولتایک موجب تامین برق صنایع و جهش تولید در مناطق مختلف است. در این تحقیق استان کرمانشاه به عنوان یک منطقه سرد و خشک کوهستانی در دامنه زاگرس مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری انرژی با در نظر گرفتن میزان تابش، بكمک یک کنترل کننده بهینه امکان پذیر است. کنترل کننده می‌تواند از یادگیری عمیق استفاده کند. مهمترین عامل در استقرار تجدیدپذیرها، هزینه سوخت‌های فسیلی است. در ادامه عوامل دیگری هم چون انتشار گاز کربن دی اکسید، صادرات فناوری بالا، معیارهای نظارتی و نهادها و معیارهای اجتماعی نیز از معناداری مناسب برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی فتوولتایک، شبیه‌سازی، یادگیری عمیق، بهره وری انرژی

۱- مقدمه

به پدیده ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های متحرک، برق تولید می کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده ها استفاده کند، سیستم فتوولتائیک گفته می شود. هر چند هزینه استفاده از انرژی خورشیدی بالا به نظر می رسد، اما در سیاست گذاری انرژی، فقط هزینه در نظر گرفته نمی شود، بلکه فواید حاصل از به کار گیری آنها، مانند کاهش آلودگی، پایداری و... نیز مدنظر است (جیا^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). از مصارف و کاربردهای فتوولتائیک می توان از جمله به روشنایی خورشیدی، نیروگاه های فتوولتائیک، مصارف فضانوری، سیستم تغذیه کننده یک واحد مسکونی، ماشین حساب، ساعت و غیره اشاره کرد (سمپایو^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

انرژی فتوولتائیک یک منع انرژی پاک و سبز است و یک روش عالی برای کاهش اثر کربن است. این انرژی مانع تولید گاز گلخانه ای است و به جز نیاز به منع آب تمیز از هیچ منع دیگری استفاده نمی کند (غلامی و همکاران، ۲۰۲۰). از این رو، این و سازگار با محیط زیست است. همچنین هزینه تولید برق پس از تامین پائل های فتوولتائیک فاقد نوسان اقتصادی است. برق سنتی به شدت به سوخت-های فسیلی مانند زغال سنگ و گاز طبیعی متکی است که در آن قیمت انرژی در طول روز تغییر می کند. برق فتوولتائیک استقلال برق از بخش سوخت را افزایش می دهد (لیان^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). انرژی فتوولتائیک فاقد محدودیت سرزمینی بوده و به راحتی قابل دسترسی است. مزارع فتوولتائیک نشان می دهند که چگونه انرژی خورشیدی را می توان در زمین های خشک و بدون استفاده ایجاد کرد. برق باید از طریق شبکه های گسترده از نیروگاه های بزرگ به مصرف کنندگان نهایی منتقل شود. انتقال از راه دور به معنی تلفات بخشی از انرژی است. با توجه به مسافت کم، تولید انرژی فتوولتائیک در پشت بام ها موجب افزایش بهره وری برق است، بنابراین احتمال قطع خدمات کاهش می یابد که این به نوبه خود، امنیت شبکه بیشتری را فراهم می کند (دباستانی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰).

اگرچه رشد انرژی های تجدیدپذیری مانند فتوولتائیک، امکان ترکیبی بودن را دارا است اما بهینه سازی در استقرار آنها نظیر مواردی چون طول عمر پایین باتری ها برای تامین مصارف بالا و میزان ذخیره سازی

^۱ Jia

^۲ Sampaio

^۳ Lian

^۴ Debastiani

در طول روز براساس تابعی از تابش ضروری است. همچنین برسی کمیت و کیفیت تابش در ساعت شبانه روز مورد نیاز است تا بتوان توجیه پذیری سیستم را از حیث مقرون به صرفه بودن ارزیابی کرد. براین اساس رویکردی که این تحقیق ارائه می‌دهد، به کارگیری یک ساختار هوشمند به کمک روش‌های یادگیری عمیق است. موضوع اصلی این تحقیق، ارائه یک سیستم هوشمند فتوولتایک در یکی از شهرهای استان کرمانشاه به عنوان مطالعه موردی است.

بسته به هدف بهینه سازی عوامل، ورودی مدل، ترکیب مشخصی از متغیرهای زمان بندی، متغیرهای آب و هوایی و متغیر مقیاس زمانی می‌باشد. متغیرهای زمان بندی مدنظر در مدل یادگیری عمیق عبارتند از ساعات روز (۰-۲۴)، روزهای هفته (۱-۷)، روزهای ماه (۱-۳۰) و شماره ماه (۱-۱۲). مشخص است که بار مصرفی در منطقه‌ای کوهستانی و بالاتر از ارتفاع دریا دارای همبستگی بالایی با متغیرهای زمان بندی می‌باشد. خروجی توان فتوولتایک تابعی از متغیرهای زمان و متغیرهای مرتبط با آب و هوایی می‌باشد. مطالعات قبلی نشان داده اند که شرایط آب و هوایی به ویژه دما، بر روی بار تاثیر دارد. در این مطالعه، متغیرهای آب و هوایی برای پیش‌بینی بار شامل دما، رطوبت و سرعت باد است. به غیر از این متغیرهای آب و هوایی، تابش افقی کل و تابش افقی پراکنده در پیش‌بینی خروجی توان فتوولتایک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه پس از مروری بر پیشینه تحقیق، الگوی تحقیق، مدل شبیه سازی و درنهایت خروجی‌ها ارائه خواهد شد.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

تیتری^۱ و همکاران(۲۰۱۷)، یک کنترل کننده MPPT جدید براساس الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای سیستم‌های فتوولتایک تحت شرایط جزئی را مورد بررسی قرار داده اند. در این تحقیق استفاده از روش جدید به روزرسانی فرمون در الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان جهت کنترل MPPT در سیستم فتوولتایک به عنوان نوآوری ارائه شد. صرفه جویی در زمان محاسبه، قابلیت ردیابی با دقت بالا، نوسان صفر، همگرایی سریع و قدرت بسیار بالا به عنوان نتایج تحقیق به شمار می‌روند.

^۱ Titri

^۲ Maximum power point tracking

الدایر^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، استفاده از ساختار ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی نیز در زمینه کنترل MPPT در سیستم‌های فتوولتائیک را مورد بررسی قرار دادند. طراحی و اجرای مدل MPPT مبتنی بر مدل مرجع شبکه-عصبی فازی تحت عنوان^۲ ANFIS با استفاده از^۳ FPGA برای سیستم فتوولتائیک ارائه شد. نتایج آنها نشان داد که کنترل کننده مدل ANFIS دارای پاسخ دینامیکی کارآمدتر و بهتر نسبت به روش هدایت افزایشی و روش ولتاژ ثابت است.

کیهال^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، یک طرح MPPT بهبود یافته با استفاده از کنترل حالت آبشاری مشتق شده یکپارچه برای سیستم‌های فتوولتائیک تحت تغییرات سریع تابش را ارائه دادند. MPPT پیشنهاد شده به منظور افزایش ردیابی^۵ MPP در تغییر تغییرات ناگهانی تابش طراحی شده است. نتایج حاصل از MPPT پیشنهاد شده نشان دهنده عملکرد پویایی عالی در تغییرات سریع تابش برای حل مشکل نقطه داغ است.

گلروdbاری و ون سارک^۶ (۲۰۲۰)، شبیه سازی تفاوت عملکرد بین سیستم‌های فتوولتائیک دریابی و زمینی ارائه دادند. داده‌های واقعی اندازه گیری شده آب و هوا از دو مکان مختلف، یکی در محوطه دانشگاه اوترخت^۷ و دیگری در دریای شمال، برای شبیه سازی سیستم‌ها استفاده شد. نتایج آنها نشان داد که متوسط انرژی سالانه خروجی در مقایسه با خشکی در دریا ۱۲.۹۶٪ بیشتر است. با این حال، در بعضی از ماه‌ها، این انرژی خروجی نسبی تا ۱۸٪ عملکرد بیشتر در دریا افزایش می‌یابد.

نبی^۸ و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی مشکلات مردم روستایی اتیوبی در ذخیره سازی انرژی به کمک سیستم فتوولتائیک محرک در دریا بوسیله شناسایی و با استفاده از فرآیندهای سلسله مراتبی تحلیلی وزن دهی پرداختند. آنها با هدف شناسایی بیشترین سطح قابل استفاده برای استفاده از سطح آب در سدهای آبیاری منطقه‌ای آمهارا^۹ برای تولید انرژی الکتریکی بود. قابلیت استفاده از سطح آب برای

^۱ Aldair

^۲ Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems

^۳ Field programmable gate array

^۴ Kihal

^۵ Maximum power point

^۶ Golroodbari, S. Z., & van Sark

^۷ Utrecht University campus

^۸ Nebey

^۹ Amhara

نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی شناور به ترتیب ۶۳.۸۳٪، ۶۱.۰۹٪، و ۵۷.۲۰٪ در سدهای آبیاری آنجرب^۱، Rib^۲ و Koga^۳ تعیین کردند.

Bentouba و همکاران^۴(۲۰۲۱) به بررسی عملکرد و شیوه سازی نیروگاه‌های فتوولتائیک بیست مگاواتی طی دوره زمانی ۲۶ ماهه در منطقه گرم‌سیر جنوب الجزایر با استفاده از نسبت‌های کارایی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که عملکرد نیروگاه به فناوری سلول، تابش و شرایط محیطی بویژه دما رابطه دارد. همچنین انحرافات بین نتایج شبیه‌سازی و داده‌های پایش واقعی در مورد نرم افزار شبیه‌سازی HOMER Pro کمتر بود.

وانگ و همکاران^۵(۲۰۲۲) به بررسی تعیین مناطق مناسب برای نصب نیروگاه خورشیدی در ویتنام با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها^۶(DEA) و روش تصمیم گیری چندمعیاره حاکستری^۷-G(MCDM) پرداختند. در مرحله اول برای انتخاب مکان‌های با کارایی بالاتر از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شد و در مرحله دوم، این مکان‌ها از نظر معیارهای کیفی نظیر عوامل فنی، اقتصادی، محیطی و اجتماعی سیاسی مورد اولویت بندی قرار گرفتند. نتایج پیشنهاد دهنده نواحی داغ در کشور مذکور جهت نصب نیروگاه‌های خورشیدی با هدف صرفه‌جویی در هزینه‌ها و منابع را در آن کشور دارد.

۳- روش شناسی تحقیق

تنظیمات سیستم فتوولتائیک در نواحی مختلف دارای خصوصیات خاص خود است. به صورت کلی، دما، سرعت باد و رطوبت نسبی در مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. تابش روی یک سطح کج برای یک سیستم متحرک با توجه به زاویه شبیه محاسبه می‌شود. علاوه بر این، دما براساس تئوری انتقال گرما و سیستم خنک کننده طبیعی برای سیستم فتوولتائیک تخمین زده می‌شود. نوآوری اصلی این تحقیق، بکارگیری سیستم فتوولتائیک در یک شرایط جوی نایابیدار در منطقه کوهستانی در استان

^۱ Angereb

^۲ Rib

^۳ Koga

^۴ Bentouba, et al.

^۵ Wang et al.

^۶ Data envelopment analysis

^۷ Grey Based Multiple Criteria Decision Making

کرمانشاه است. با توجه به این که آب و هوای شهر انتخابی برای استقرار سیستم بادی-خورشیدی در کوهستان، یک مسئله تامل برانگیز و پرچالش است که به صورت جدول(۱) خواهد بود.

جدول ۱. شرایط آب و هوایی محل مورد مطالعه

فصل	میانگین دما (سانتیگراد)	میانگین دما (سانتیگراد)	میانگین دما (سانتیگراد)	میانگین دمای پایین (سانتیگراد)	میانگین دمای بالا (سانتیگراد)	میانگین دمای پایین (سانتیگراد)	میانگین دمای بالا (سانتیگراد)	میانگین دمای پایین (سانتیگراد)
بهار	۱۵	۱۰.۶	۲۰.۴	۱۵.۶				
تابستان	۱۹	۲۵	۳۳	۲۹				
پاییز	۱۰	۷	۲۴	۱۷				
زمستان	۵	۲	۱۲	۳				

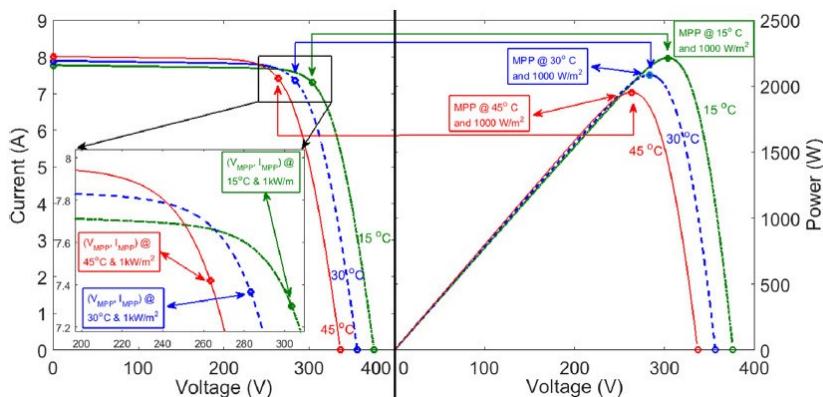
مأخذ: داده‌های هواشناسی

ضرورت و نوآوری انجام این تحقیق را می‌توان با مرور تحقیقات گذشته تبیین کرد. رویکرد پیشنهادی این تحقیق، علاوه بر لحاظ تغییرات اقلیمی و آب و هوایی در کارایی سیستم فتوولتایک سعی در بررسی تجهیزات فتوولتایک و مطالعه شرایط اقلیمی و آب و هوایی منطقه مورد مطالعه را دارد. در این راستا ساختار سیستم فتوولتایک در ناحیه کوهستانی، با به کارگیری یک سیستم کنترلی مبتنی بر یادگیری عمیق^۱ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این مقاله ساختار ترکیبی از AC/DC را برای بهره وری انرژی و تابش در منطقه کوهستانی ارائه می‌دهد تا کمترین خطا و بهترین مصرف انرژی را در یک میکروگرید فتوولتایک به همراه داشته باشد. کنترل کننده MPPT ولتاژ تولید شده در پنل خورشیدی را در زمان واقعی تشخیص داده و بالاترین مقدار ولتاژ و جریان را نشان می‌دهد که با VI نشان داده می‌شود. ردیابی حداکثر نقطه توان یا MPPT اجازه می‌دهد که سیستم فتوولتایک، باتری را با حداکثر کارایی شارژ کند. این یک جز بسیار مهم در سیستم‌های فتوولتایک است که کار هماهنگی پنل‌های خورشیدی، باتری‌ها و بار را انجام می‌دهد. ردیابی حداکثر نقطه توان یک سیستم الکتریکی است که پانل فتوولتایک را قادر می‌سازد با تنظیم حالت کار کرد مازول الکتریکی قدرت بیشتری تولید کند. برای شارژ باتری ولتاژ خروجی پانل خورشیدی باید از ولتاژ فعلی باتری بالاتر باشد. اگر ولتاژ پنل خورشیدی پایین تر از ولتاژ

^۱ Deep Learning

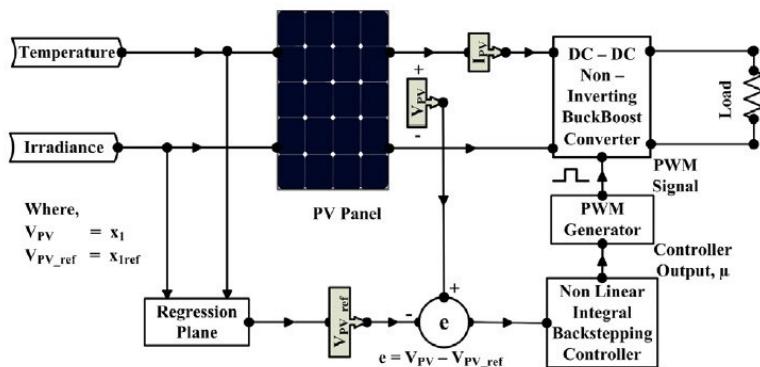
باتری باشد، جریان خروجی نزدیک به صفر خواهد بود. بنابراین به دلایل اینمی، پانل خورشیدی در هنگام تولید دارای ولتاژ پیک (V_{pp}) حدود ۱۷ ولت است که در دمای استاندارد ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم می‌شود. هنگامی که آب و هوا بسیار گرم است، ولتاژ V_{pp} پانل خورشیدی به حدود ۱۵ ولت کاهش پیدا می‌کند، اما در هوای سرد، ولتاژ پیل سوختی V_{pp} انرژی خورشیدی می‌تواند به ۱۸ ولت برسد که T_{PV} را مدنظر قرار می‌دهد. کنترل کننده MPPT حداکثر نقطه قدرت را در پنل خورشیدی در زمان واقعی برای حداکثر کارایی پانل خورشیدی را نشان می‌دهد. ولتاژ بالاتر، قدرت بیشتر را می‌توان از طریق حداکثر رديابی قدرت خروجی و در نتیجه بهبود بهره وری شارژ مشاهده کرد. در تئوری، سیستم انرژی خورشیدی با استفاده از کنترل کننده MPPT، بهره وری را ۵۰٪ بیشتر نسبت به سنتی افزایش می‌دهد. منحنی ویژگی‌های مژول‌های سیستم فتوولتاییک در شکل (۱) نمایش داده شده است.



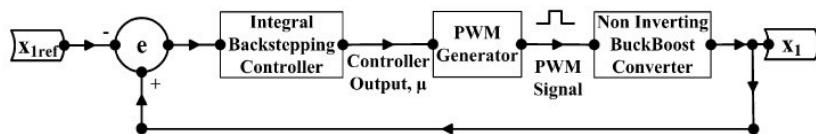
شکل ۱. ویژگی‌های مژول‌های سیستم فتوولتاییک (ارسلان و همکاران، ۲۰۱۸)

سیستم پیشنهادی در این تحقیق برای بخش کنترل، از ارسلان و همکاران (۲۰۱۸) اقتباس شده است. در این تحقیق، درجه حرارت و رویداد تابش در مژول فتوولتاییک لحاظ می‌شود و این اطلاعات را به بلوک صفحه رگرسیون ارائه می‌دهد که در شکل (۲) نشان داده شده است. سطح رگرسیون از رابطه ولتاژ نقطه توان حداکثر V_{MPP} و تابش-دما {Radiance, Temperature} برای ایجاد ولتاژ پیک ولتاژ مرجع V_{PVref} استفاده می‌کند که توسط کننده کنترل غیرخطی پیشنهاد شده قابل رديابی است.

کنترل کننده با استفاده از مدل ریاضی مبدل Buckboost غیر معکوس مشتق شده و یک سیگنال خروجی μ را تولید می‌کند که نسبت وظیفه سیگنال PWM را به سوئیچ‌های مبدل را کنترل می‌کند. یک سیستم حلقه بسته نیز وجود دارد که به صورت شکل (۳) است.



شکل ۲. روش کنترل پیشنهادی (ارسلان و همکاران، ۲۰۱۸)



شکل ۳. کنترل حلقه بسته (ارسلان و همکاران، ۲۰۱۸)

با $x_1 = V_{PV} = x_1(x_1: \text{the first state of the converter})$ یک سیگنال مقایسه می‌شود که برای کنترل یکپارچه مدل پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق جهت بهره‌وری آگاه از انرژی و تابش عرضه می‌شود. این کنترل کننده به تولید ورودی کنترل μ می‌پردازد که پهنه‌ای سیگنال PWM را کنترل می‌کند و مبدل را برای ردیابی ولتاژ مرجع هدایت می‌کند. هر گونه تغییر در درجه حرارت و یا تابش، مرجع جدید منحصر به فرد تولید خواهد کرد. در واقع، هر مجموعه‌ای از مقادیر منحصر به فرد دما و تابش به تولید یک مرجع منحصر به فرد خواهد پرداخت. از این‌رو، کارکرد مازول فتوولتایک در این ولتاژ مرجع اطمینان حاصل خواهد کرد که حداکثر توان

^۱ Pulse Width Modulation

توسط سیستم تولید می‌شود. نمودار ویژگی‌های سیستم فتوولتاییک برای هر مقدار خاص دما و تابش تغییر می‌کند. یک تغییر جزئی در هر یک از آن‌ها منجر به ایجاد یک منحنی جدید می‌شود و از اینرو MPP را تغییر می‌دهد، همانطور که در شکل (۱) نشان داده است. برای هر سطح دما و تابش، ولتاژ پیک قدرت V_{MPP} یا V_{PVR} را می‌توان به صورت رابطه (۱) محاسبه کرد.

$$V_{MPP} = 332 - 1.34 \times T - 0.00964 \times I + T_{Pv} \quad (1)$$

با توجه به رابطه (۱)، T دما و I تابش است. کنترل کننده پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق برای بخش فتوولتاییک ارائه می‌شود. وظیفه اصلی الگوریتم کنترلی مبتنی بر یادگیری عمیق این است که مشتق شده از قدرت خروجی فتوولتاییک با توجه به ولتاژ عملکرد آن که dP/dV است را پیدا کند. حداکثر توان فتوولتاییک هنگامی که فتوولتاییک نزدیک به صفر باشد، به دست می‌آید. کنترل کننده dP/dV را بر اساس اندازه گیری توان و ولتاژ خروجی فتوولتاییک افزایش می‌دهد. اگر dP/dV به طور فزاینده صفر نباشد، کنترل کننده می‌تواند به تنظیم نقطه ولتاژ فتوولتاییک به صورت نقطه ای تا زمانی که dP/dV نزدیک به صفر است و در آن آرایه فتوولتاییک به حداکثر توان خود برسد، پردازد. مزیت اصلی این الگوریتم در روش P&O فرایند ریدیابی قدرت سریع آن است. با این حال، این ناکارآمد بودن بی ثباتی ممکن است به دلیل استفاده از الگوریتم مشتق شده باشد. علاوه بر این، روش تمایز در سطوح پایین انسداد امری دشوار است و نتایج آن ممکن است کافی نباشد. از آن جایی که فتوولتاییک آرایه نشان دهنده یک ویژگی غیر خطی فعلی ولتاژ یا ولتاژ قدرت است، نقطه حداکثر توان یا MPP آن با دما تغییر می‌کند که این مسئله در ناحیه مورد مطالعه این تحقیق یعنی در ناحیه کوهستانی نیز وجود دارد. بعضی از الگوریتم‌ها مانند منطق فازی یا کنترل شبکه‌های عصبی مصنوعی و تطبیقی در طبیعت، کنترل فتوولتاییک را تطبیق داده‌اند. سیستم استنتاج منطق فازی، تابع‌ها را به صورت یک مدل جعبه سیاه^۱ مدنظر قرار می‌دهد و نیازی به اطلاعات دقیق در مورد سیستم فتوولتاییک ندارد. پس از بررسی رابطه بین ولتاژ حداکثر و مدار باز یا انزوا و درجه حرارت، کنترل مبتنی بر یادگیری عمیق می‌تواند نقطه حداکثر توان یا MPP را در خط پیگیری کند. به منظور ارزیابی عملکرد کنترل کننده مبتنی بر یادگیری عمیق، یک مژاول PV با حداکثر توان ۱۲۷۳ وات پیک، و جریان اتصال کوتاه

^۱ Black Box

$A = 25.44 \text{ SCC}^1$ و ولتاژ مدار باز $V_{OC} = 1000 \text{ V} / \text{m}^2$ در استاندارد اشعه ($G = 1000 \text{ W} / \text{m}^2$) و درجه حرارت (NOCT) شرایط آزمایش ۲۵ درجه سانتیگراد با افزایش چرخه افزایش (C₁=C₂=۲۰۰۰ Mf, L=۱۰ Mh) مدنظر قرار می‌گیرد. ورودی‌های کنترل کننده برای بخش یادگیری عمیق به صورت $E = \frac{V}{I}$ با dE هستند. تغییر در توزیع چرخه کار dD خروجی است. بهینه سازی با یادگیری عمیق یک تکنیک جستجوی انتباق پذیر است که شامل تولید، ارزیابی سیستماتیک و پالایش راه حل بالقوه تا زمانی که معیار متوقف شدن برآورده شود.

ساختار مورد نظر این تحقیق به عنوان یک رویکرد بهینه در یادگیری عمیق، شبکه عصبی حافظه کوتاه مدت طولانی مبتنی بر پولینگ هرمی فضایی آتروس (ASPP) است که به صورت LSTM-ASPP خواهد بود. لذا بررسی دو شبکه عصبی عمیق، لازمه کار است. با استفاده از لایه‌های پیچش و پولینگ در یادگیری عمیق به نام LSTM-ASPP، روند آموزش جهت تولد نسل‌های بعدی در یک در تکرار مشخص انجام می‌شود. مراحل اجرای یادگیری عمیق جهت بهبود کنترل کننده برای MPPT در سیستم فتوولتاییک به صورت گام‌های ذیل است:

- ✓ مرحله ۱: تعدادی از مازول‌های متصل، مدل انزوا و درجه حرارت برای هر مازول را مدنظر قرار می‌گیرد. در واقع خروجی سیستم فتوولتاییک، ورودی الگوریتم یادگیری عمیق خواهد بود.
- ✓ مرحله ۲: تعریف تابع هدف و شناسایی پارامترها.
- ✓ مرحله ۳: ایجاد نمونه.
- ✓ مرحله ۴: جمع آوری داده‌ها و ارزیابی با تابع هدف.
- ✓ مرحله ۵: بررسی همگرائی (اگر شرایط برآورده کننده باشد، توقف و در غیر این صورت سایر مراحل).
- ✓ مرحله ۶: با استفاده از لایه‌های پیچش و پولینگ در یادگیری عمیق، روند آموزش جهت تولد نسل‌های بعدی در یک در تکرار مشخص انجام می‌شود.

¹ Short circuit current

² Open circuit voltage

✓ مرحله ۷: تکامل نسل جدید و برگشت به مرحله ۳.

در این مدل، سه نرون با چهار زیر لایه برای هر کدام لحاظ می‌شود که نرون‌های E، CE و dD هر نرون از مجموعه ای از خروجی‌های سیستم فتوولتاییک تشکیل شده است. در این تحقیق سعی بر آن است که تا توابع بهینه با استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق پیدا شود و این کار با مراحل زیر انجام می‌شود:

انتخاب معیار بهینه سازی: در این کار از معیار درجه دوم استفاده می‌شود تا به حداقل برسد که به صورت استفاده از رابطه (۲) می‌باشد که این انتخاب برای بهبود زمان پاسخ و کاهش نوسانات انجام شده است.

$$J = \int e^t dt \quad , \quad e = P_{max} - P \quad (2)$$

۲. ایجاد نرون‌ها در لایه ورودی:

نرون‌ها شامل مجموعه ای از ورودی‌ها در لایه ورودی است که هر نرون از سه بخش در لایه‌های آموزش و آمون تشکیل شده است که به صورت ذیل می‌باشد:

✓ نرون‌های E، CE و dD، هر نرون از مجموعه ای از خروجی‌های سیستم فتوولتاییک تشکیل شده است.

✓ برای نرون E، خروجی‌های سیستم فتوولتاییک عبارتند از C¹، C²، C³، C⁴.

✓ برای نرون CE خروجی‌های سیستم فتوولتاییک عبارتند از C¹'، C²', C³', C⁴'.

✓ برای نرون dD خروجی‌های سیستم فتوولتاییک عبارتند از C¹''، C²''، C³''، C⁴''.

طیفی از تغییرات C¹، C²، C³، C⁴ که فضای جستجو است، تعریف شده است؛ که بین [۰.۹۹۰۰۱] متفاوت است. ارتباطات بین Ci، C'i، C''i و Z_i به صورت رابطه (۳) است.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = (C4 + C3). -0..32 \\ x_r = C3..032 \\ x_r = C1..032 \\ x_f = (C_1 + C_r). 0..32 \\ y_1 = (C4 + C3). -100 \\ y_r = C3. -100 \\ y_r = C1. 100 \\ y_f = (C1 + C2). 100 \\ z_1 = (C'4 + C'3). -0..32 \\ z_r = C'^3. -0..32 \\ z_r = C''1..032 \\ z_f = (C1 + C2). 0..32 \end{array} \right. \quad (3)$$

برای پیدا کردن راه حل فردی (فرد بهینه)، هر نرون محدود به جستجوی مقادیر خروجی‌های سیستم فتوولتاییک که ناشناخته هستند، محدود می‌کند. برای رسیدن به مقدار بهینه سراسری، یک جمعیت بزرگ جمعیت برابر ۱۰۰ نرون در نظر گرفته می‌شود. سپس عملگرهای الگوریتم عمیق طبق توضیحات پایه اعمال می‌گردند. معیار توقف باید مدنظر قرار بگیرد. معیار توقف زمانی است که حداقل تعداد نسل به ۵۰ می‌رسد. کارایی و تاثیر الگوریتم با استفاده از معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{\int_{t1}^{t2} P dt}{\int_{t1}^{t2} P_{max} dt} \quad (4)$$

طبق رابطه (۴)، $t1$ و $t2$ آغازگر با طلوع خورشید و زمان خاموش شدن سیستم یا غروب خورشید است و همین طور راه افتادن بهره وری انرژی با سیستم بادی است، P قدرت کارایی ردیف است، و P_{max} حداقل قدرت نظری فتوولتاییک است.

۴- شبیه سازی و یافته ها

شبیه سازی در محیط نرم افزار متلب و با استفاده از Simulink ساخته شده است. پارامترهای سیستم پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق و تبدیل کننده‌ها در جدول (۲) لیست شده‌اند. همچنین در جدول (۳)، پارامترهای آرایه فتوولتاییک مورد استفاده در تحقیق مدنظر قرار گرفته‌اند. شکل (۴) روند سیستم فتوولتاییک برای شناسایی عوامل هوشمند و فناوری تاثیرگذار در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر جهت بهره وری آگاه از انرژی و تابش را نشان می‌دهد.

جدول ۲. پارامترهای سیستم پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق و تبدیل کننده‌ها

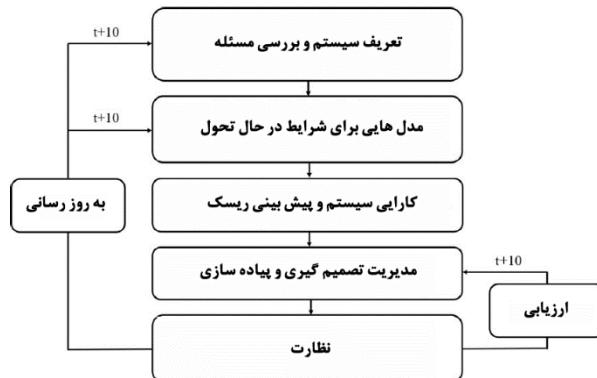
پارامتر	مقدار
k_1	۲۸۷۰.۱۸
k_2	۱۵۵۱.۶۵
k	۱۵۱۰
C_{In1} خازن ورودی یا	$67\mu f$
L القاگر یا	$11mH$
C_{Out1} خازن خروجی یا	$480\mu F$
R بار مقاومت یا	20Ω
فرکانس سوئیچینگ یا	$100kHz$

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. پارامترهای آرایه فتوولتایک و ساختار تبدیل کننده توان الکترونیکی در آن

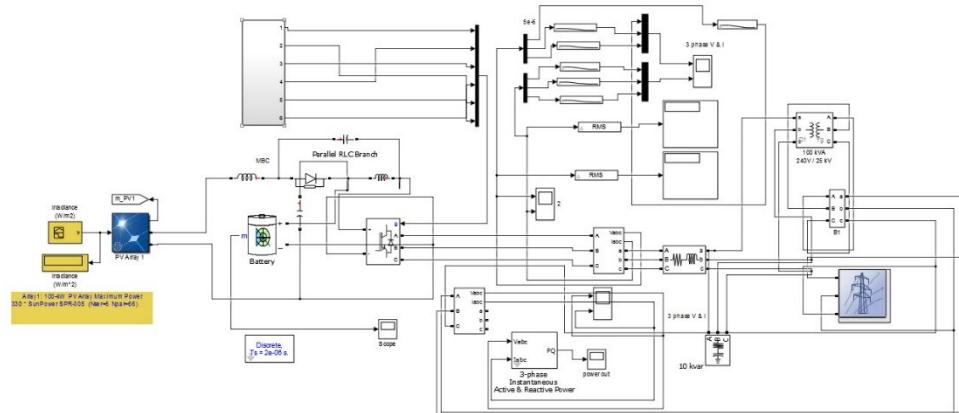
پارامتر	مقدار
ماژول فتوولتایک برای هر رشته	۱۰
رشته‌های متصل موازی	۱
تعداد سلول‌ها برای هر ماژول	۶۰
ولتاژ مدار باز	$363V$
جریان مدار کوتاه	$7.84A$
ولتاژ MPP	$290V$
جریان MPP	$7.35A$
حداکثر توان در هر ماژول	$213.15W$

مأخذ: یافته‌های تحقیق



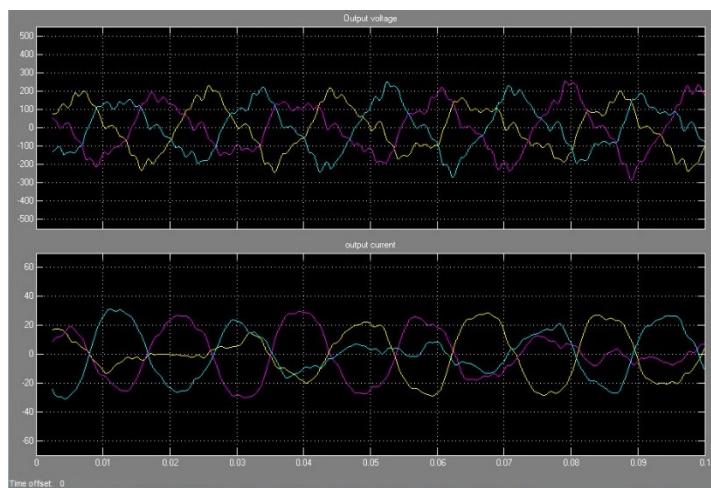
شکل ۴. فرایند شناسایی عوامل هوشمند و فناوری تاثیرگذار

نیاز است تا مدل اصلی سیستم در محیط سیمولینک به صورت کامل مشخص گردد که به صورت شکل(۵) است.

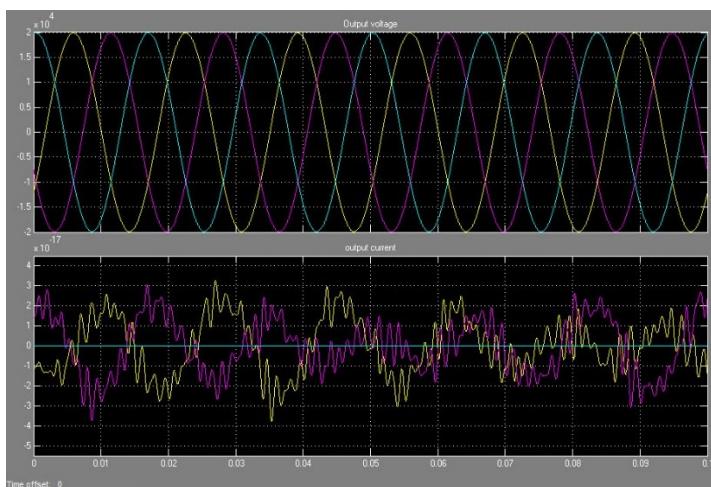


شکل ۵. مدل ارائه شده سیستم فتوولتایک در Simulink/MATLAB

مدل یادگیری عمیق در آرایه فتوولتایک از طریق خط فرمان اجرا و به بلاک های سیمولینک داده می شود. نتیجه و لثاثر خروجی و جریان خروجی (ساختر ترکیبی AC/DC) را می توان در شکل(۶) و (۷) با دو بزرگنمایی مختلف مشاهده نمود.



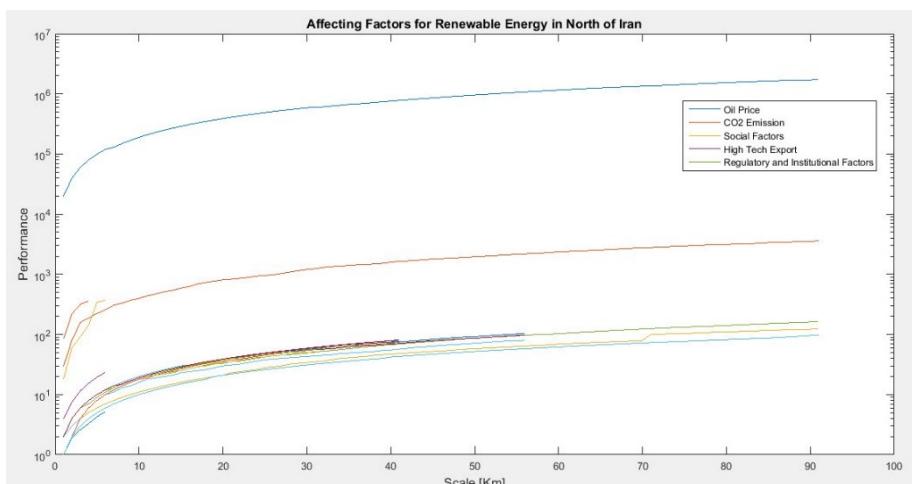
شکل ۶. ولتاژ خروجی و جریان خروجی



شکل ۷. ولتاژ خروجی و جریان خروجی

بر اساس الگوریتم یادگیری عمیق، شناسایی عوامل هوشمند و تاثیرگذار در انرژی تجدید پذیر فتوولتایک برای شرایط اقلیمی ایران در استان کرمانشاه باید مدنظر قرار گیرد. مسلماً ناحیه استقرار فتوولتایک در مناطق مختلف با هم متفاوتند. به طور مثال، محیط مناسب استقرار صفحات خورشیدی

فتولتاییک در ایران می‌تواند در مناطق کویری و یا دریابی باشد، در صورتی که استقرار توربین‌های بادی در مناطق کوهستانی و در ارتفاعات است. شبیه سازی کلی در محیط نرم افزار متلب مبتنی بر الگوریتم یادگیری عمیق برای شناسایی عوامل هوشمند و تاثیرگذار در انرژی تجدیدپذیر فتوولتاییک انجام شد. قیمت نفت، صادرات با فناوری بالا، معیار محیطی انتشار گاز کربن دی‌اکسید، معیارهای اجتماعی و معیارهای نظارتی و نهادی به عنوان اصلی ترین ویژگی‌ها در این حوزه مدنظر قرار می‌گیرد. زمانی که شبیه سازی انجام می‌شود، بعد از ۱۰۰ کیلومتر برای استقرار این انرژی‌های تجدیدپذیر مدنظر قرار می‌گیرد که کارایی بر روی آن با استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق با هدف بهبود تابش و انرژی جهت بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌ها، مورد سنجش قرار می‌گیرد. نتیجه شبیه سازی به صورت شکل (۷) است.



شکل ۷. نتیجه اعمال رویکرد پیشنهادی برای شناسایی عامل هوشمند و فناوری‌های تاثیرگذار در انرژی‌های تجدیدپذیر فتوولتاییک

مشاهده می‌شود که مهمترین عامل، هزینه نفت با نمودار آبی رنگ است. در ادامه انتشار گاز کربن دی‌اکسید با نمودار قرمز رنگ، سپس صادرات فناوری بالا با رنگ بنفش و در ادامه رنگ سبز برای معیارهای نظارتی و نهادها و در انتهای معیارهای اجتماعی با نمودار نارنجی رنگ، به ترتیب به عنوان معیارهای مهم و تاثیرگذار برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر فتوولتاییک هستند. نتایج میانگین

بهره وری روزانه برای الگوریتم های IC^۱ و P&O در جدول(۴) خلاصه شده است و همچنین به صورت مستقیم اتصال بار به سیستم فتوولتایک مدنظر واقع شده است.

جدول ۴. مقایسه میانگین بهره وری روزانه برای الگوریتم های MPPT در سیستم فتوولتایک

الگوریتم های MPPT	میانگین بهره وری روزانه
MPPT بدون	% ۳۱.۳
P&O	% ۸۱.۵
I&C	% ۸۹.۹
FLC	% ۹۰.۵۲
رویکرد پیشنهادی	% ۹۶/۵۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در انتها یک مقایسه از لحاظ کارایی برای طول عمر باتری ها شامل^۲ RT بر حسب میلی ثانیه، معیار ST^۳ ۵٪ بر حسب میلی ثانیه، معیار ۲٪ ST بر حسب میلی ثانیه،^۴ SSE، بیش از حد^۵ و ریپل^۶، با روش های پیشین انجام گرفته است که نتایج آن در جدول(۵) ارائه شده است.

^۱ Incremental Conductance

^۲ Replacement Tool

^۳ Statistical tolerance

^۴ Stationary Source Enforcement

^۵ Overshoot

^۶ Ripples

جدول ۵. مقایسه معیارها بین روش‌ها

Ripples (V)	Overshoot (V)	SSE (V)	ST ۲% (ms)	ST ۵% (ms)	RT (ms)	روش
۱۹	۷۴	۶	NA	۱۹	۲.۲۲	P&O
۰.۶۳	۱۳.۹۴	۰	۳.۲	۲.۹	۲.۱۷	I&C
۰.۶۵	۰	۱	۳.۸	۳.۱	۲.۴۲	FLC
۰.۲۸	۰	۱	۴	۳.۸	۲.۴۵	رویکرد
پیشنهادی						

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در استفاده از سیستم فتوولتاییک در مورد اتصال بار مستقیم، به دلیل تفاوت بار، می‌تواند به طور قابل توجهی با استفاده از MPT بهبود یافته است. افزایش بهره وری توسط الگوریتم IC به دلیل توانایی آن در پیشگیری از معایب الگوریتم P&O، یعنی پس از تغییرات جوی سریع و اجتناب از نوسانات اطراف MPP است. معمولاً در طراحی سیستم فتوولتاییک، ورود MPPT به اندازه سیستم ویژگی‌های بار بستگی دارد. زیرا به دست آوردن بهره وری انرژی که توسط MPPT به دست می‌آید باید با افزایش هزینه سیستم تعادل داشته باشد. بهره وری بالاتر از الگوریتم IC، سودآوری بیشتری نسبت به الگوریتم P&O را به ارمغان می‌آورد.

۵- نتیجه گیری

این تحقیق به استفاده از یک ساختار فتوولتاییک با الگوریتم یادگیری عمیق پرداخته شده است. شبیه‌سازی عملکرد سیستم در محیط MATLAB-Simulink انجام شده است. نتایج حاکی از بهبود در عملکرد سیستم فتوولتاییک با حداقل نوسان ولتاژ ترکیبی AC/DC و ردیابی سریع نقطه عملیاتی بهینه را نشان می‌دهد. ضمناً سهم عوامل مهم تاثیرگذار بر تولید انرژی تجدیدپذیر در انتشار کربن دی اکسید (به عنوان شاخص عوامل محیطی)، درآمد و قیمت نفت (به عنوان شاخص عوامل اقتصادی) و همین طور عوامل دیگری هم چون صادرات فناوری بالا، معیارهای نظارتی و نهادها و معیارهای اجتماعی می‌تواند قابل ملاحظه باشد. این مطالعه با هدف بررسی تاثیر عامل فنی، زیرساختی و نوآوری، به عنوان عاملی که در سال‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شود، با در نظر گرفتن یک منطقه خاص از ایران در مناطق کوهستانی استان کرمانشاه با آب و هوای سرد و خشک برای استفاده و استقرار

انرژی‌های تجدیدپذیر فتوولتاییک مورد توجه قرار بوده است. استفاده از یک الگوریتم بهینه یادگیری عمیق می‌تواند با در نظر گرفتن عوامل هوشمند و تاثیرگذار در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مدنظر قرار گیرد. مقایسه بین رویکرد پیشنهادی از لحاظ میانگین بهره وری روزانه با سایر روش‌ها شامل IC، P&O و FLC انجام گرفته است که بهره‌وری انرژی و تابش برای رویکرد پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق را نشان می‌دهد. از لحاظ سایر معیارهای ارزیابی شامل RT، ST، SSE، Overshoot و Ripples نیز رویکرد پیشنهادی مبتنی بر یادگیری عمیق دارای برتری عملکردی نسبت به روش‌های دیگر است.

نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند به سیاستگذاران بخش انرژی کشور اولاً در تعیین محل بهینه برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق کوهستانی مفید باشد. شناخت حالات طبیعی و احتمال آنها برای بررسی عوامل هوشمند و تاثیرگذار، امری قابل توجه در کشوری به وسعت ایران با مناطق آب و هوایی متنوع است که مقایسه خروجی استقرار در بیابان، دریا و یا کوهستان می‌تواند در بهره‌وری انرژی تولیدی نیروگاه با اهمیت باشد. لذا توصیه می‌شود با توجه به تنوع اقلیمی و موقعیت‌های جغرافیایی مناطق مختلف کشور، شیوه سازی برای مناطق مستعد بدقت انجام گردد.

منابع

- Alaaeddin, M. H., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S., & Al-Oqla, F. M. (۲۰۱۹). Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, ۳۱۸-۳۳۲.
- Aldair, A. A., Obed, A. A., & Halihal, A. F. (۲۰۱۸). Design and implementation of ANFIS-reference model controller based MPPT using FPGA for photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, ۲۲۰۲-۲۲۱۷.
- Arsalan, M., Iftikhar, R., Ahmad, I., Hasan, A., Sabahat, K., & Javeria, A. (۲۰۱۸). MPPT for photovoltaic system using nonlinear backstepping controller with integral action. *Solar Energy*, 170, ۱۹۲-۲۰۰.
- Bentouba, S., Bourouis, M., Zioui, N., Pirashanthan, A., & Velauthapillai, D. (۲۰۲۱). Performance assessment of a ۲۰ MW photovoltaic power plant in a hot climate using real data and simulation tools. *Energy Reports*, 7, ۷۲۹۷-۷۳۱۴.
- Cheddadi, Y., Errahimi, F., & Es-sbai, N. (۲۰۱۸). Design and verification of photovoltaic MPPT algorithm as an automotive-based embedded software. *Solar Energy*, 171, ۴۱۴-۴۲۵.

- Cupertino, A. F., Xavier, L. S., Brito, E. M., Mendes, V. F., & Pereira, H. A. (۲۰۱۹). Benchmarking of power control strategies for photovoltaic systems under unbalanced conditions. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 106, ۳۳۵-۳۴۵.
- Debastiani, G., Nogueira, C. E. C., Acorci, J. M., Silveira, V. F., Siqueira, J. A. C., & Baron, L. C. (۲۰۲۰). Assessment of the energy efficiency of a hybrid wind-photovoltaic system for Cascavel, PR. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, ۱۱۰۰۱۳.
- Gholami, A., Ameri, M., Zandi, M., Ghoachani, R. G., Eslami, S., & Pierfederici, S. (۲۰۲۰). Photovoltaic potential assessment and dust impacts on photovoltaic systems in Iran. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(۳), ۸۲۴-۸۳۷.
- Golroodbari, S. Z., & van Sark, W. (۲۰۲۰). Simulation of performance differences between offshore and land-based photovoltaic systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(۹), ۸۷۳-۸۸۶.
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (۲۰۱۹). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, ۴۲۶-۴۴۰.
- Husain, A. A., Hasan, W. Z. W., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (۲۰۱۸). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 94, ۷۷۹-۷۹۱.
- Jia, Y., Alva, G., & Fang, G. (۲۰۱۹). Development and applications of photovoltaic-thermal systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, ۲۴۹-۲۶۰.
- Jouda, A., Elyes, F., Rabhi, A., & Abdelkader, M. (۲۰۱۷). Optimization of scaling factors of fuzzy-MPPT controller for stand-alone photovoltaic system by particle swarm optimization. *Energy Procedia*, 111, ۹۰۴-۹۱۳.
- Karpouzoglou, T., Vlaswinkel, B., & Van Der Molen, J. (۲۰۲۰). Effects of large-scale floating (solar photovoltaic) platforms on hydrodynamics and primary production in a coastal sea from a water column model. *Ocean Science*, 16(۱), ۱۹۰-۲۰۸.
- Kiermasch, D., Gil-Escríg, L., Bolink, H. J., & Tvingstedt, K. (۲۰۱۹). Effects of masking on open-circuit voltage and fill factor in solar cells. *Joule*, 3(۱), ۱۶-۲۶.
- Kihal, A., Krim, F., Laib, A., Talbi, B., & Afghoul, H. (۲۰۱۹). An improved MPPT scheme employing adaptive integral derivative sliding mode control for photovoltaic systems under fast irradiation changes. *ISA transactions*, 87, ۲۹۷-۳۰۷.
- Li, X., Wen, H., Hu, Y., & Jiang, L. (۲۰۱۹). A novel beta parameter based fuzzy-logic controller for photovoltaic MPPT application. *Renewable energy*, 130, ۴۱۶-۴۲۷.
- Lian, X., Pang, Y., Han, J., & Pan, J. (۲۰۲۱). Cascaded hierarchical atrous spatial pyramid pooling module for semantic segmentation. *Pattern Recognition*, 110, ۱۰۷۶۲۲.
- McGee, J. A., & Greiner, P. T. (۲۰۱۹). Renewable energy injustice: The socio-environmental implications of renewable energy consumption. *Energy Research & Social Science*, 56, ۱۰۱۲۱۴.
- Moura, S. J., & Chang, Y. A. (۲۰۱۳). Lyapunov-based switched extremum seeking for photovoltaic power maximization. *Control Engineering Practice*, 21(۸), ۹۷۱-۹۸۰.

- Nebey, A. H., Taye, B. Z., & Workineh, T. G. (۲۰۲۰). GIS-based irrigation dams potential assessment of floating solar PV system. *Journal of Energy*, ۲۰۲۰.
- Olabi, A. G. (۲۰۱۹). Circular economy and renewable energy. *Energy*, 181, ۴۵۰-۴۵۴.
- Rahnama, E., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khanali, M., & Rosen, M. A. (۲۰۱۹). Spatio-temporal solar exergoeconomic and exergoenvironmental maps for photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, 195, ۷۰۱-۷۱۱.
- Sampaio, P. G. V., González, M. O. A., de Vasconcelos, R. M., dos Santos, M. A. T., de Toledo, J. C., & Pereira, J. P. P. (۲۰۱۸). Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, ۲۱۵-۲۲۴.
- soufyane Benyoucef, A., Chouder, A., Kara, K., & Silvestre, S. (۲۰۱۰). Artificial bee colony based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for PV systems operating under partial shaded conditions. *Applied Soft Computing*, 32, ۳۸-۴۸.
- Tang, R. L., Wu, Z., & Fang, Y. J. (۲۰۱۷). Topological structure of large-scale photovoltaic array and its MPPT controlling method. *Energy Procedia*, 105, ۱۱۳-۱۱۸.
- Titri, S., Larbes, C., Toumi, K. Y., & Benatchba, K. (۲۰۱۷). A new MPPT controller based on the Ant colony optimization algorithm for Photovoltaic systems under partial shading conditions. *Applied Soft Computing*, 58, ۴۶۰-۴۷۹.
- Wang, C. N., Dang, T. T., & Wang, J. W. (۲۰۲۲). A combined Data Envelopment Analysis (DEA) and Grey Based Multiple Criteria Decision Making (G-MCDM) for solar PV power plants site selection: A case study in Vietnam. *Energy Reports*, 8, ۱۱۲۴-۱۱۴۲.