

روش ترکیبی جدید برای بدست آوردن نقطه MPPT با اثر سایه جزئی برای آرایه های فتولتاییک

آعلیرضا سیادتان، دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب
تهران، ایران
Siadatan@wtiau.ac.ir

احمد کریمی، دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه خاتم
تهران، ایران
karimi@irrea.ir

³سید ابراهیم افجه ای، دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه شهید بهشتی
تهران، ایران
e-afjei@sdu.as.ir

چکیده:

آرایه های فتولتاییک به دلیل عواملی نظیر سایه های ایجاد شده توسط ابرها و ساختمان های اطراف سطح متفاوتی از تابش خورشید را دریافت می کنند. بنابراین، الگوریتم دنبال کننده حداکثر توان MPPT به منظور کشف بیشترین توان ممکن از آرایه ها بکار می رود. اما اغلب الگوریتم های MPPT متداول با حضور نقاط پیک (LP) قادر به تشخیص حداکثر های مطلق (GP) نیستند. در این مقاله ترکیبی از بهینه سازی ازدحام ذرات و الگوریتم شبکه‌ی عصبی مصنوعی (PSO-ANN) به منظور تشخیص توان GP پیشنهاد می‌شود. سیستم فتولتاییک که از آرایه‌ی PV، مبدل بوست DC-DC، و یک بار مقاومتی است. با استفاده از MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شد. عملکرد الگوریتم پیشنهادی با عملکرد الگوریتم PSO استاندارد مقایسه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهند که عملکرد خوبی از نظر تشخیص GP آرایه‌ی PV تحت شرایط پوشانده شده دارد. در این مقاله، کارایی رهگیری الگوریتم پیشنهادی در محدوده ی ۹۹/۷ درصد است.
کلید واژه: سایه جزئی، ردیابی نقطه حداکثر توان، بهینه سازی ازدحام ذرات، شبکه عصبی مصنوعی

1- مقدمه: فتولتاییک (PV) یکی از نوید بخش‌ترین منابع تجدیدپذیر است و علت این موضوع عدم آسیب رساندن به محیط زیست و هزینه‌های پایین تعمیر نگهداری آن است. با این حال، دو چالش اساسی وجود دارد که می‌بایست برای پیاده‌سازی سیستم‌های PV برطرف شوند: (۱) هزینه‌های نصب بالا، (۲) کارایی پایین در تولید انرژی، الگوریتم‌های MPPT مذکور در صورتی که آرایه‌ی PV در معرض نور کامل قرار نگیرد، قادر به رهگیری نقطه‌ی بیشترین توان (MPP) واقعی می‌باشد که چنین شرایطی ممکن است با وجود سایه ابرها، افتادن برگ‌های درخت یا فضولات پرندگان بر روی آرایه یا افتادن سایه ساختمان‌های مجاور روی دهد. سلول‌های PV تحت اثر سایه جزئی ممکن است به سبب

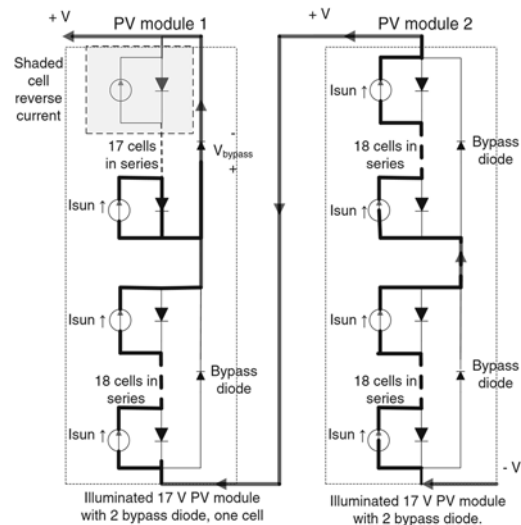
مسائل گرمایش بیش از حد آسیب ببینند [1]. راه بالقوه برای غلبه بر این مشکل وارد کردن دیود بای پس در سراسر سلول‌های PV است. نویسندگان مرجع [1] یک روش بهینه سازی ازدحام ذرات برای ردیابی حداکثر نقطه توان تحت موقعیت سایه ارائه داده اند. ادعا کردند که روش پیشنهادی ساده و کار آمد است. در هر صورت، آن‌ها فقط در شرایط PV سری- موازی تست انجام دادند و تنظیمات PV سری- متصل (رشته) را صحت‌سنجی نکردند. الگوریتم جستجوی مستقیم (DIRECT) را پیشنهاد داد که یک استراتژی تقسیم مساحت و تکنیک داخلی بهینه (POI) برای تشخیص GP است [2]. اما در این مقاله، یک روش ترکیبی PSO و ANN برای دریافت MPPT تحت شرایط تابش جزئی پیشنهاد

می‌شود. بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک روش جستجوی تصادفی سراسری است که برای جستجوی پیوسته‌ی مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد [2,3]. شبکه‌ی مصنوعی عصبی (ANN) یک الگوی پردازش اطلاعات است که مبتنی بر مفاهیم عملکردی سیستم‌های عصبی بیولوژیکی است. این شبکه بهترین عملکرد را برای مواجهه با وابستگی غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها دارد. الگوریتم ANN مقدار اولیه‌ی تابش بهینه را در سطوح مختلف برای تابش برقرار می‌کند. سپس این جریان اولیه به PSO تزریق می‌شود تا موقعیت GP بهینه به دست آید. ANN به عنوان یک عملکرد برای کمک به الگوریتم PSO جهت تعیین موقعیت GP در یک محدوده‌ی کوچک‌تر عمل می‌کند. بنابراین، PSO می‌تواند بدون نیاز به سوئیچ کردن ولتاژ در محدوده‌ی ولتاژ PV به GP واقعی برسد که در نهایت منجر کاهش زمان محاسبه و دریایی حداکثر توان می‌شود [3].

۱-۲- آرایه‌های PV تحت شرایط سایه جزئی

ماژول‌های PV معمولاً به صورت موازی و سری متصل می‌شوند تا سطح ولتاژ و جریان مورد نظر به دست آیند. برای آرایه‌ی PV هر ماژول می‌تواند مقادیر مختلفی از نور خورشید را دریافت کند زیرا بر روی برخی ماژول‌ها ممکن است تا حدی سایه ایجاد شده باشد [5]. بنابراین، توان PV تولید شده به میزان قابل توجهی پایین می‌آیند که این موضوع سبب می‌شود تا کارایی سیستم PV کاهش یابد. در سلول‌های PV متصل شده به صورت سری، تمامی سلول‌ها جریان PV یکسانی حمل می‌کنند، اگر چه برخی سلول‌ها در سایه قرار دارند. بنابراین، سلول‌های تحت سایه جزئی مجبور می‌شوند تا توان الکتریکی تولید شده توسط سایر سلول‌های PV کاملاً نور دیده را جذب کنند که این توان تولید شده به صورت گرما اتلاف می‌شود. این پدیده باعث افزایش دما در سلول‌های PV تحت سایه خواهد شد، در صورت نبود محافظت مناسب آسیب می‌بینند. به همین علت، یک دیود baypas به صورت موازی به سلول‌های PV متصل می‌شود تا اثر سایه بر روی ماژول PV به حداقل برسد [5]. در شرایط سایه‌ی جزئی، مقادیر جریان-کوتاه هر سلول بین سلول-های PV متصل به صورت سری متفاوت خواهد بود. این عمل منجر به این امر می‌شود که دیود baypas دنباله محور شود، و با این کار جریان از مدار خارجی عبور می‌کند تا از نقطه‌ی داغ^۱ جلوگیری شود. تصویر (۱) این پدیده برای دو ماژول PV متصل شده به

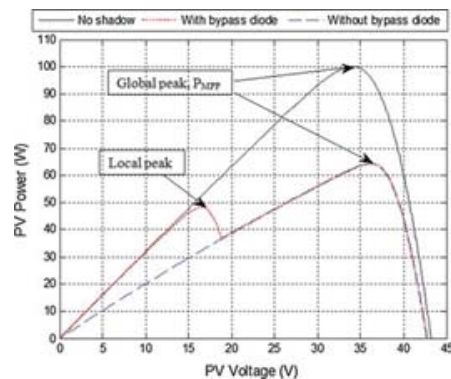
صورت سری تحت شرایط سایه جزئی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱: دو ماژول فتوولتاییک مرتبط در یک مجموعه، با یک

ماژول فتوولتاییک تحت تابش جزئی

وارد کردن دیودهای baypas در ماژول‌های PV منجر به وجود آمدن قله‌های چندگانه بر روی منحنی‌های مشخصات P-V تحت شرایط سایه‌ی جزئی می‌شود. شکل بالا مقایسه‌ی مشخصات P-V برای دو ماژول متصل شده به صورت سری نشان می‌دهد [4]. که تحت شرایط تابش کلی نسبتاً سایه دیده برای ماژول‌های PV و بدون دیود baypas شبیه سازی شدند.



شکل ۲: دریایی توان بیشینه چندگانه PV ها

۱-۳- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

^۱ Hot Stop

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) الهام گرفته از حرکت پویای ارگانسیم‌هایی همانند حشرات، پرندگان و ماهی است. این تکنیک بهینه‌سازی با داشتن یک گروه (ازدحام چند ذره) کار می‌کند که در آن این ذرات به صورت تصادفی در یک فضای جستجوی مشخص بر مبنای مجموعه‌ای از معادلات معین توزیع می‌شوند. به صورت کلی، روش بهینه‌سازی نیازمند یک تابع هدف مشخص (تابع پردازش) برای یک مسئله‌ی معین است که این بهینه‌سازی می‌تواند به صورت کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی باشد [13]. در الگوریتم PSO دو پارامتر مهم، موقعیت و به روز رسانی سرعت وجود دارند که به صورت معادلات 1 و 2 بیان می‌شوند.

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1r_1(p_{besti} - s_i^k) + c_2r_2(g_{best} - s_i^k) \quad (1)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

ابتدا می‌بایست دفعات تکرار PSO مشخص شود، تعداد ذرات بیشتر باعث بهبود دقت جستجو می‌شود ولی در عین حال، افزایش زمان محاسبات نیز می‌بایست در نظر گرفته شود. این ذرات به منظور تعیین مقادیر بهینه‌ی تابع هدف مرتبط با یک بردار سرعت (v_i^k) برای هر ذره مورد استفاده قرار می‌گیرند [11]. یک بردار سرعت جدید (v_i^{k+1}) بر مبنای سرعت جریان (v_i^k) ، موقعیت جریان (s_i^k) ، موقعیت قبلی (p_{besti}) ، موقعیت سراسری (g_{best}) ، و ضرایب اولیه مطابق با معادله‌ی (1) تولید می‌شود. موقعیت (p_{besti}) بهترین مقدار بردار مرتبط است که در میان ذرات یافت می‌شود [6]. موقعیت سراسری (g_{best}) بهترین مقدار یافت شده میان ازدحام موجود در تولید تکرارها است. سپس، بردار سرعت (v_i^{k+1}) و بردار موقعیت (s_i^{k+1}) مبتنی بر تغییرات موقعیت قبلی (s_i^k) مطابق با معادله‌ی (2) مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند تکرار می‌شود تا تابع هدف به مقدار بهینه برسد.

۲-۳- الگوریتم شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) نوعی مدل محاسباتی مبتنی بر ابعاد عملکردی شبکه‌های عصبی بیولوژیکی است. به صورت عادی، الگوریتم ANN از سه پارامتر مهم تشکیل شده است: (1) الگوی اتصال میان نورون‌های لایه‌های مختلف، (2) فرآیند یادگیری برای روزرسانی وزن‌های لایه‌های مختلف، (3) توابع فعال‌سازی که ورودی را به خروجی مورد انتظار تبدیل می‌کنند. سه لایه در

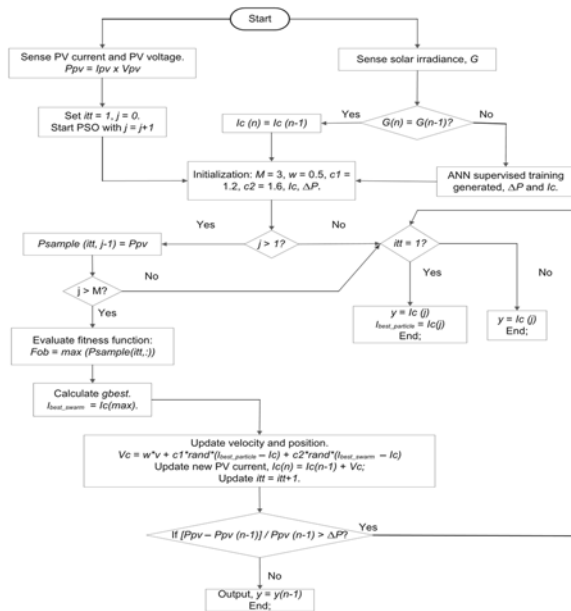
ANN وجود دارند که شامل لایه‌ی ورودی، لایه‌ی پنهان و لایه‌ی خروجی [5,18].

۴- ردیابی نقطه حداکثر توان الگوریتم پیشنهادی

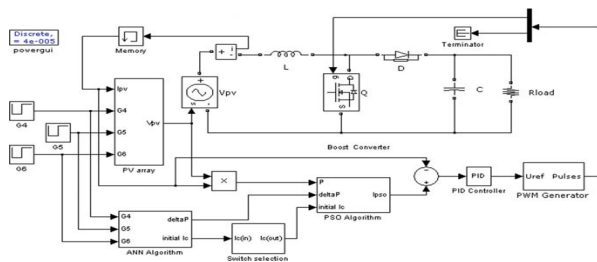
الگوریتم PSO به زمان محاسبه‌ی طولانی‌تر برای جستجوی قله‌ی واقعی نیاز خواهد داشت. جریان به عنوان ورودی دوم به الگوریتم PSO فرستاده می‌شود [11]. تابع هدف الگوریتم PSO به سبب تغییر ناگهانی شرایط محیطی در هنگام قرارگیری سیستم PV در یک عملیات زمان واقعی تغییر می‌کند. این موضوع به دقت ردیابی بستگی دارد که مطابق با معادله‌ی (3) آیا بیان می‌شود یا خیر، که در آن ΔP تغییر توان PV است (تفاوت توان حاضر در مقایسه با توان تکرار قبلی).

$$\frac{|P_{(s_i+1)} - P_{(s_i)}|}{P_{(s_i)}} > \Delta P \quad (3)$$

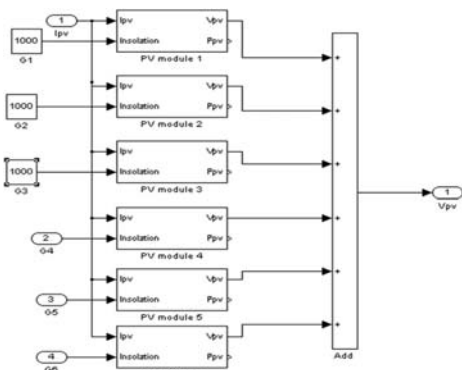
مقادیر ΔP با الگوریتم ANN القا و تولید می‌گردند و سپس به عنوان ورودی سوم به الگوریتم PSO فرستاده می‌شوند. خروجی الگوریتم PSO جریان PV اولیه است، هنگامی که زمان شبیه‌سازی متوقف می‌شود [3,8]. داده‌های نمونه برای مقادیر ΔP و Ic مطابق با ترکیب‌های مختلف سطوح تابش خورشید که با استفاده از فرآیند الگوریتم شبیه‌سازی ANN هستند، بلوک انتخاب سوئیچ که بین بلوک PSO و بلوک الگوریتم ANN متصل می‌شود، ΔP و Ic تولید شده از بلوک ANN را به بلوک PSO می‌فرستند.



شکل ۳: نمودار الگوریتم تلفیقی ارائه شده از بهینه سازی ازدحام ذرات، شبکه عصبی مصنوعی و ردیابی نقطه



شکل ۴: شبیه سازی سیستم بهینه سازی ازدحام ذرات، شبکه عصبی مصنوعی، ردیابی نقطه حداکثر توان، فتوولتاییک



شکل ۵: محدوده شبیه سازی فتوولتاییک که شامل 6 مجموعه مرتبط از ماژول های فتوولتاییک

الگوریتم شبیه سازی شده و تحت نور کامل در وضعیت سایه جزئی قرار داده شده است. برای محدوده کوچک فتوولتاییک، شش تلفیق از انواع تابش خورشید با توان های فتوولتاییک حداکثر برای شش ماژول فتوولتاییک ایجاد شده که در جدول (۲) نشان داده شده است [3,14]. برای تقلید از وضعیت عدد G3-G 1000 سایه، ارزش تابش کیفیت خورشید در سه ماژول اول فتوولتاییک در محدوده یک در نظر گرفته شده این درحالی است که ارزش تابش خورشید برای سه ماژول بعدی W/m2 متغیر G6-G است. فتوولتاییک در چهار محدوده می باشد [15].

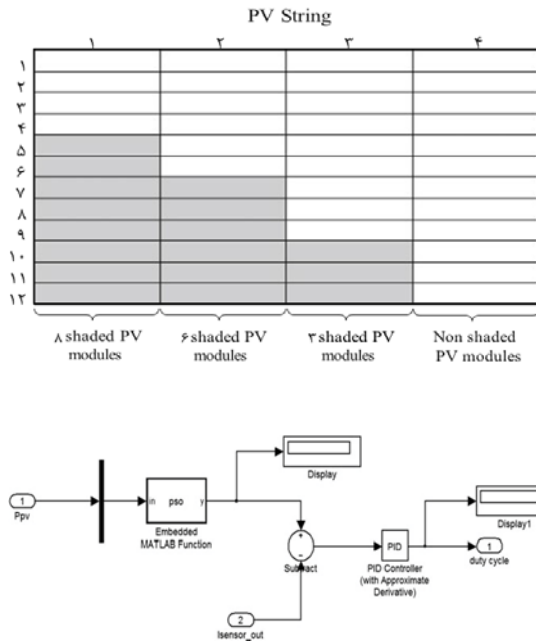
جدول ۱: مشخصات ماژول خورشیدی پلی کریستالی 50W

At temperature	25 °C
Open-circuit voltage, Voc	۲۱/۶ V
Short-circuit current, Isc	۳/۲۵ A
Voltage at maximum power, VMPP	17 V
Current at maximum power, IMPP	۲/۹۴ A
Maximum power, Pmax	50 W

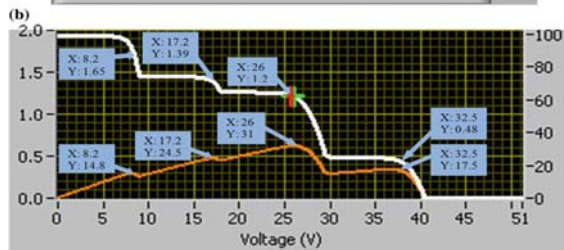
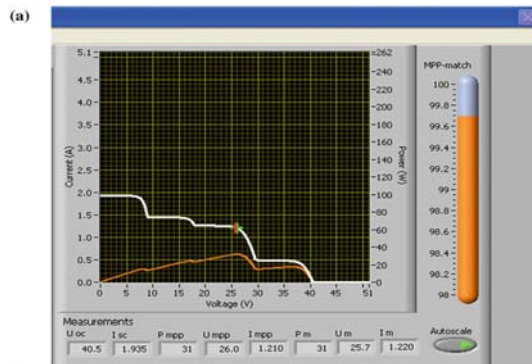
جدول ۲: تلفیق سطح تابش خورشید با توان حداکثر برای شش مجموعه

Case	G1-G3 (W/m ²)	G4 (W/m ²)	G5 (W/m ²)	G6 (W/m ²)	Maximum power, Pmax (W)
1	1000	1000	1000	1000	299/8
2	1000	1000	1000	700	248/1
3	1000	900	600	400	187/3
4	1000	800	600	300	171/1
5	1000	700	500	400	152/8
6	1000	600	300	200	144/6

جدول ۳: وضعیت های سایه در دوازده مجموعه مرتبط ماژول های فتوولتاییک



شکل ۶: سیستم بلوک الگوریتم پیشنهادی PSO-ANN



شکل ۷: منحنی های P_V و I_V را در یک دیاگرام به همراه

نقطه جستجوی حداکثر توان

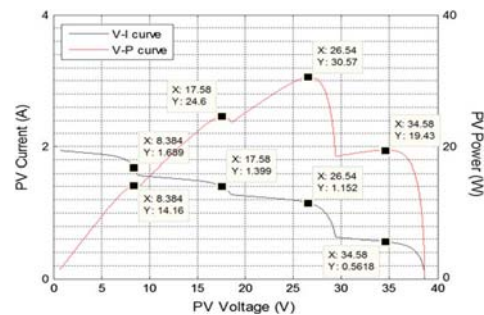
علامت سبز در منحنی I_V حداکثر توان کلی است، و علامت قرمز

نقطه جستجوی عملیاتی است. منحنی عمودی ای نارنجی رنگ در

شکل بالا میزان دستیابی به MPPT بصورت درصدی می باشد [12].

جدول ۴: مشخصات ماژول خورشیدی پلی کریستالی 31W

Maximum power, P_{max}	31 W
Short-circuit current, I_{sc}	1/935 A
Voltage at maximum power, V_{MPP}	26 V
Current at maximum power, I_{MPP}	1/21 A
Open-circuit voltage, V_{oc}	40/5 V



شکل ۸: نمودار ویژگی های I-V به منظور ارائه نتایج آزمایشی شبیه سازی

حداکثر پیک توان در ولتاژ 26 V، جریان 1/178 A و توان W

88/30 رخ می دهد. در مورد بخش ۲ تنها یکی از ماژول ها در

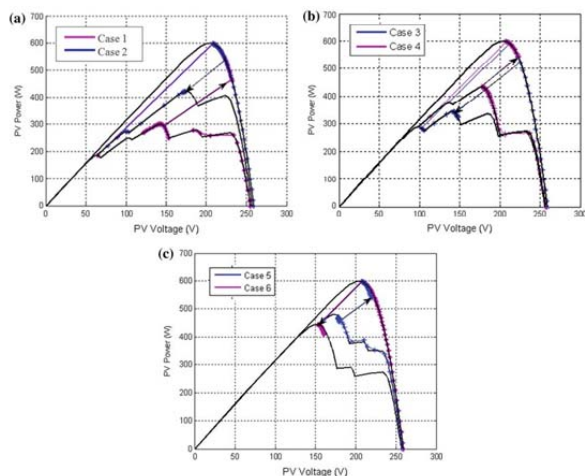
معرض تابش 700 w/m2 قرار می گیرد [10]. بنابراین در منحنی

مشخصه P_V ، دو نقطه پیک وجود دارد [6,8]. در مورد های ۳،

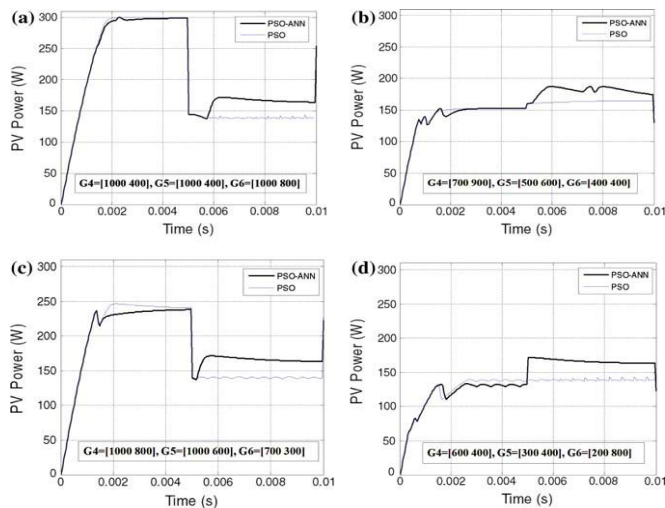
۴، ۵ و ۶، هر سه ماژول خورشیدی در سایه قرار گرفته و بنابراین

در منحنی های مشخصه آن ها نقطه های سبز رنگ چهار پیک

تشکیل شده است.

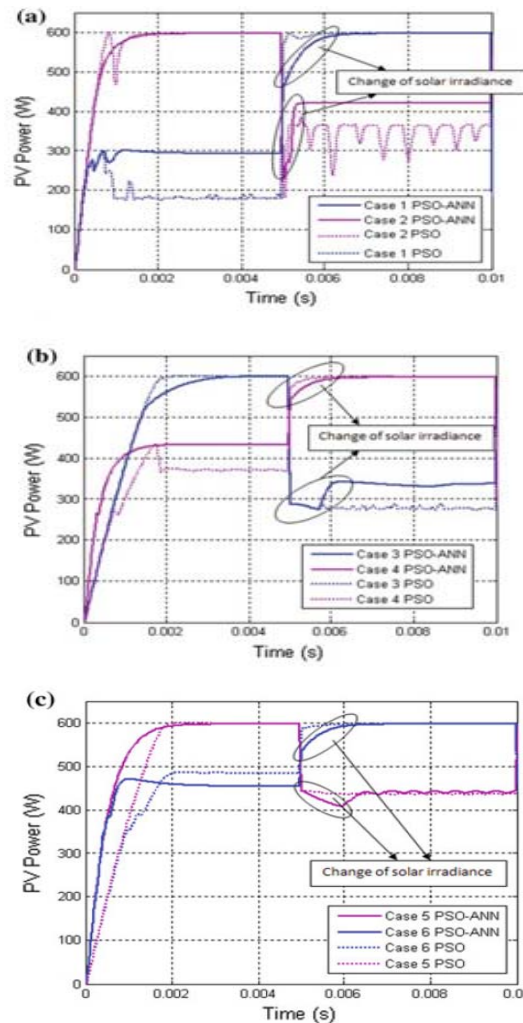


شکل 9: عملکرد ردیابی الگوریتم پیشنهادی



شکل 10: ردیابی چندگانه حداکثر توان

منحنی‌های توان سیستم خورشیدی با بکارگیری الگوریتم ترکیبی PSO-ANN در تمامی موارد، کاملاً هموار بوده و در وضعیت پایدار مقادیر ثابت هستند [9]. این درحالیست که منحنی‌های توان بدست آمده توسط الگوریتم PSO در موارد ۳ و ۴، ناهموازی‌های آشکاری را در وضعیت پایدار با سطح تابش پایین، ایجاد می‌کند [17].



شکل 11: توان فتوولتائیک متناظر با تغییر تابش خورشید برای

سومین شبیه‌سازی

در نمودار شکل فوق، چهار منحنی وجود دارد که در آن منحنی‌های تیره، آبی و بنفش، شکل موج توان PV آزمایش شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی PSO-ANN هستند و منحنی‌های نقطه‌ای آبی و بنفش، شکل موج توان PV آزمایش شده با استفاده از الگوریتم استاندارد PSO هستند. مقادیر اولیه جریان در الگوریتم استاندارد، در تمامی موارد شبیه‌سازی تعیین شده و ثابت هستند. این موارد الگوریتم، همیشه در نقاط پیک گیر کرده و حوالی آن نقطه نوسان می‌کند [19].

جدول ۵: مقایسه توان حداکثر فتوولتاییک و ردیابی حداکثر نقطه توان با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

Case	Maximum PV power, P_{PV} (W)	MPPT power, $P_{P_{SO-ANN}}$ (W)	MPPT power, $P_{P_{SO}}$ (W)	Efficiency for PSO-ANN, $E_{P_{SO-ANN}}$ (%)	Efficiency for PSO, $E_{P_{SO}}$ (%)
1	301/6 - 599/6	296 - 697	188 - 597	98/1 - 99/6	62/3 - 99/6
2	599/6 - 431/0	597 - 421	597 - 365	99/6 - 97/7	99/6 - 84/7
3	599/6 - 343/2	597 - 344	597 - 280	99/6 - 97/3	99/6 - 81/6
4	434/0 - 599/6	433 - 597	369 - 597	99/7 - 99/6	85/0 - 99/6
5	599/6 - 444/6	597 - 443	597 - 436	99/6 - 99/6	99/6 - 98/1
6	479/0 - 599/6	455 - 596	477 - 597	95/0 - 99/4	99/6 - 99/6

بازده ردیابی الگوریتم MPPT برای دوازده ماژول خورشیدی که بصورت سری به یکدیگر متصل هستند، در محدوده ۹۵ الی ۹۹/۷ درصد قرار دارد. این موضوع نشان دهنده آن است که محدوده کوچکتر جریان PV که توسط الگوریتم ANN و مطابق با ترکیب های متفاوت تابش خورشید، تولید می شود، برای الگوریتم PSO بسیار مفید هستند. با این وجود الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در تشخیص MPPT کلی در زمان تغییر در تابش خورشید، بخوبی عمل می کند [2, 7].

۵- نتیجه گیری:

زمانی که آرایه های فتوولتاییک توسط ابرها و ساختمان های اطراف و فضولات پرندگان و... در سایه جزئی قرار گرفته باشد. الگوریتم های ردیابی حداکثر نقطه توان، قادر به ردیابی نقطه حداکثر توان خود نیستند. بنابراین نتایج شبیه سازی نشان می دهد الگوریتم تلفیق بهینه سازی ازدحام ذرات و شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده همواره میتواند نقاط اوج حداکثر توان را در محدوده فتوولتاییک تحت اثر سایه جزئی محدود کشف کند. نتایج نشان می دهد که دقت ردیابی الگوریتم پیشنهادی حداکثر نقطه توان حدود ۹۹/۷٪ است. بنابراین وقتی که تغییری در تابش خورشید ایجاد شود

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات به کمک الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی برای دریافت حداکثر توان اولیه فتوولتاییک می توان به خوبی عمل می کند.

- [1] M, VEERACHARY (2011) Power Tracking for Nonlinear PV Sources with Coupled Inductor SEPIC Converter. IEEE Log No. T-AES/41/3/856453.
- [2] Yu GJ, Jung YS, Choi JY, Kim GS (2006) A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms. Sol Energy 76(4):455-463.
- [3] Gules R, De Pellegrin Pacheco J, Hey HL, Imhoff J (2008) A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications. IEEE Trans Ind Electron 55 (7):2674-2683
- [4] Abo-Khalil AG, Lee DC, Choi JW, Kim HG (2006) Maximum power point tracking controller connecting PV system to grid. J Power Electron 6(3):226-234
- [5] Ishaque K, Salam Z, Taheri H, Syafaruddin (2011) Modeling and simulation of photovoltaic (PV) system during partial shading based on a two-diode model. Simul Model Pract Theory 19:1613-1626
- [6] Mei Q, Shan M, Liu L, Guerrero JM (2011) A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV Systems. IEEE Trans Ind Electron 58 (6):2427-2434
- [7] Faranda R, Leva S (2008) Energy comparison of MPPT techniques for PV systems. WSEAS Trans Power Syst 3(6):446-455
- [8] Alonso-García MC, Ruiz JM, Herrmann W (2006) Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays. Renew Energy 31:1986-1993
- [9] Wang Y, Lin X, Kim Y, Chang N, Pedram M (2012) Enhancing efficiency and robustness of a photovoltaic power system under partial shading. In: 13th international symposium on quality electronic design, pp 592-600
- [10] Ishaque K, Salam Z, Amjad M, Mekhilef S (2012) An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation. IEEE Trans Power Electron 27(8):3627-3638
- [11] Wijnings P (2011) Training neural networks with particle swarm optimization, pp 1-60
- [12] Lyden S, Haque ME (2015) Maximum Power Point Tracking techniques for photovoltaic systems: a comprehensive review and comparative analysis. Renew Sustain Energy Rev 52:1504-1518
- [14] Blanes JM, Toledo FJ, Montero S, Garrigós A (2013) In-site real-time photovoltaic I-V curves and maximum power point estimator. IEEE Trans Power Electron 28(3):1234-1240
- [15] Farivar G, Asaei B, Mehrnami S (2013) An analytical solution for tracking photovoltaic module MPP. IEEE J Photovolt 3(3):10531061
- [16] Elgendy MA, Zahawi B, Atkinson DJ (2013) Assessment of the incremental conductance maximum power point tracking algorithm. IEEE Trans Sustain Energy 4(1):108-117
- [17] Lei P, Li Y, Seem J (2011) Sequential ESC based global MPPT control for photovoltaic array with variable shading. IEEE Trans Sustain Energy 2(3):348-358



- [18] Konstantopoulos C, Koutroulis E (2014) Global maximum power point tracking of flexible photovoltaic modules. *IEEE Trans Power Electron* 29(6):2817–2828
- [19] Lyden S, Haque ME (2014) Comparison of the Perturb and Observe and simulated annealing approaches for maximum

power point tracking in a photovoltaic system under partial shading conditions. In *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp 2517–2523