Vol. 4, No. 13, Jan-Feb 2025,(77-88)

Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology (JNAECT)

مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری

دوره ۴، شماره ۱۳، زمستان ۱۴۰۳ (۸۸-۷۷)

journal homepage: https://jnaect.ir

اندازه گذاری بهینه یک سیستم ترکیبی تولید پراکنده و باتری متصل به شبکه با الگوریتم PSO

مهرداد موحدپور

گروه مهندسی برق-قدرت ، دانشگاه ملی مهارت، تهران ، ایران[1]

mehrdad.movahedpoor@gmail.com

علی دوست رستمی زاده

گروه مهندسی برق-الکترونیک ، دانشگاه ملی مهارت، تهران ، ایران[2]

rostami0418@gmail.com

چکیده

در این مقاله تعیین اندازه بهینه سیستم تولید پراکنده توان ترکیبی خورشیدی/ باطری با الگوریتم PSO ارائه شده است. با توجه به اینکه تولید توان در صفحات خورشیدی به تابش خورشید وابسته می باشد، از ذخیره ساز انرژی باطری در حالت متصل به شبکه امکان ذخیره سازی توان تولیدی صفحه‌های فتوولتائیک و فروش توان به شبکه در ساعت اوج مصرف شبانه- که هزینه برق گران می‌باشد مدل‌سازی اقتصادی صفحه‌های فتوولتائیک، باتری و مبدل ارائه شده است. بر اساس بهینه‌سازی و آنالیز حساسیت صورت گرفته استفاده از صفحه‌های فتوولتائیک برای تبدیل توان و فروش برق به شبکه بسیار وابسته به قیمت صفحه‌های فتوولتائیک و قیمت برق شبکه بوده و قابل قبول می‌باشد.

کلمات کلیدی: سیستم قدرت ترکیبی، آرایه خورشیدی، ذخیره ساز انرژی، بهینه سازی، جستجوی گروه(PSO)

[1] Department of Electrical-Power Engineering, National University of Skills, Tehran, Iran

[2] Department of Electrical and Electronic Engineering, National University of Skills, Tehran, Iran

1- مقدمه

منابع انرژی تجدید پذیر (REN) دارای مزایا و پتانسیل زیادی هستند و می‌توانند نیاز انرژی دنیای امروزی را برآورده سازند.برای بدست آوردن یک روش بهینه باید رابطه بین قابلیت و هزینه سیستم به طور دقیق مورد مطالعه قرار گیرد. در این مقاله اتصال سیستم فتوولتائیک با باتری به شبکه بررسی شده است. باتری به این دلیل مورد استفاده قرار گرفته شده است که امکان ذخیره توان تولیدی توسط صفحه‌های فتوولتائیک و امکان فروش آن به شبکه در ساعاتی که قیمت شبکه بالا می‌باشد را فراهم آورد [4]. تحقیقات انجام شده به منظور تعیین اندازه بهینه صفحه‌های فتوولتائیک به دلیل گران بودن این تکنولوژی برای تولید برق در مقیاس بزرگ، برای حالت عدم متصل به شبکه انجام شده است. در این حالت به دلیل بالا بودن هزینه کشیدن شبکه انتقال، این تکنولوژی برای تولید برق منطقی می‌شود. تنها کار مشابه با این مقاله مرجع [6] می‌باشد. تفاوت این مقاله با این مرجع مدل‌سازی اقتصادی مسأله به صورت کامل و بررسی حساسیت سرمایه‌گذاری در تمامی پارامترهای مسأله می‌باشد. به این دلیل در این بخش کارهای مشابهی برای بررسی وجود ندارد.

2. مدل‌سازی مسئله تعیین اندازه بهینه سیستم ترکیبی فتوولتائیک – باتری متصل به شبکه

مسئله تعیین اندازه بهینه سیستم ترکیبی فتوولتائیک – باتری متصل به شبکه از دید یک سرمایه‌گذار که مایل به بیشینه سازی سود خود می‌باشد مطرح می‌شود. بر اساس این دیدگاه تابع هدف مسئله، بیشینه سازی سود می‌باشد.

سرمایه‌گذار در صورتی که توان تولیدی خود را بتواند در ساعاتی که قیمت برق شبکه گران می‌باشد به بازار برق بفروشد می‌تواند درآمد بیشتری را تحصیل نماید. از سوی دیگر علاوه بر تعیین اندازه تجهیزات، تعیین نحوه عملکرد سیستم در مقدار درآمد حاصل و در نتیجه در تابع هدف تأثیر می‌گذارد. به این منظور در الگوریتم پیشنهادی باید نحوه فروش برق به شبکه به عنوان یک متغیر در بهینه‌سازی در نظر گرفته شود.

3. نحوه مدل‌سازی عملکرد سیستم

در یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک – باتری سه نوع تجهیز اصلی وجود دارند که عبارتند از: صفحه‌های فتوولتائیک، باتری‌ها و مبدل‌ها.

تعداد هر کدام از این اجزا و نحوه‌ی کارکرد سیستم متغیرهای مسئله بهینه سازی می‌باشند. بر این اساس ابتدا توان تولیدی توسط صفحه‌های فتوولتائیک بر اساس نوع آن‌ها و شرایط محیطی در ساعت مشخص تعیین می‌شود. سپس تعیین خواهد شد که چه مقدار از توان به شبکه و چه مقدار به باتری منتقل خواهد شد. هم چنین بر اساس متغیر در نظر گرفته شده تعیین خواهد شد که چه مقدار توان از باتری به شبکه داده خواهد شد. با توجه به اینکه ضریب در نظر گرفته شده برای فروش توان به شبکه به صورت درصد می‌باشد، توانی بیشتر از توان تولیدی و یا ذخیره شده به شبکه داده نخواهد شد. هم‌چنین با توجه به اینکه توان تولیدی توسط صفحه‌های فتوولتائیک تابع نور خورشید تابیده شده به آنها می‌باشد، برخلاف ژنراتور سنکرون برای این ماژول‌ها توان بیشینه تعریف نمی‌شود.. توان فروخته شده به شبکه برابر است با مجموع توان صفحه‌های فتوولتائیک و توان باتری به شبکه. بر این اساس می‌توان در طول دوره برنامه ریزی تعداد مبدل‌ها را به نحوی انتخاب نمود که امکان تبدیل بیشینه توان منتقل شده به شبکه توسط صفحه‌های فتوولتائیک و باتری را داشته باشد. در این حالت محدودیت توان انتقالی مبدل به عنوان یک محدودیت فنی لحاظ شده است و دیگر نیازی به توجه به آن در مسأله به صورت ویژه نمی‌باشد.

با حذف تعداد مبدل‌ها از متغیرهای بهینه‌سازی، متغیرهایی که باید توسط الگوریتم تعیین شوند عبارتند از: تعداد صفحه‌های فتوولتائیک، نوع صفحه‌های فتوولتائیک، تعداد باتری‌ها، درصد توان تولیدی صفحه‌های فتوولتائیک که در هر ساعت و در هر سال از سال‌هایی برنامه‌ریزی به شبکه فروخته خواهد شد، درصد توان ذخیره شده در باتری که در هر ساعت و در هر سال از سال‌هایی برنامه‌ریزی به شبکه فروخته خواهد شد. اگر به صورت نمونه تعداد سال‌هایی برنامه‌ریزی 20 سال در نظر گرفته شود آنگاه بر این اساس برنامه دارای $1 + 1 + 1 + 8760 \times 20 + 8760 \times 20$ متغیر خواهد بود. حل این مسئله با این ابعاد توسط الگوریتم‌های تکاملی موجود ممکن نمی‌باشند. بر این اساس برای حل مسئله مجبور به ساده‌سازی می‌باشم. برخی از ساده سازی‌های متداول یکسان گرفتن تابش خورشید و رفتار قیمتی بازار در سال‌هایی آینده می‌باشد [8]. با در نظر گرفتن یک

تابش نوعی برای تمامی روزهای یک فصل و یکسان گرفتن تابش و رفتار قیمتی بازار برای سال‌هایی شبیه‌سازی، متغیرهای مسئله به $1 + 1 + 1 + 24 \times 4 + 4 \times 24$ خواهد رسید. در این شرایط می‌توان شبیه‌سازی را برای یک سال نوعی انجام داده و با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی هزینه‌ها و درآمد را به لحظه‌ی حال منتقل نمود. الگوریتم‌های تکاملی موجود به راحتی می‌توانند برای حل مسئله‌ای با این ابعاد مورد استفاده قرار گیرند.

1-3- تعیین زاویه قرارگیری صفحه‌های فتوولتائیک

قرارگیری صفحه های فتوولتائیک در جهتی که بیشترین مقدار انرژی خورشیدی به آن‌ها برسد دارای اهمیت می‌باشد. در این شرایط سؤال مطرح شده به این صورت می‌باشد که: " صفحه های خورشیدی با چه زاویه‌ای نصب شوند ؟"

برای رسیدن به پاسخ این سؤال باید بررسی بر روی داده های تابش سنجی انجام شود. داده های تابش سنجی در بسیاری از موارد به صورت داده های تابش سنجی افقی و عمودی برای یک منطقه می‌باشند [1].

داده های تابش سنجی افقی مربوط به نرخ انرژی تابیده شده به یک صفحه عمودی و افقی با ابعاد 1 متر در 1 متر که رو به سوی جنوب نصب شده است می‌باشد. نرخ انرژی تابیده شده (ولت بر مترمکعب) به یک صفحه های فتوولتائیک که با زاویه α نسبت به سطح افق نصب شده‌اند را در هر لحظه می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود :(1-6)

$$G_i(t,\alpha) = G_i^v(t) \times \cos(\alpha) + G_i^h(t) \times \sin(\alpha) \quad (1)$$

که در آن $G_i^v(t)$ و $G_i^h(t)$ به ترتیب نرخ تابش عمودی و افقی در ساعت t ام در روز i ام می‌باشند. میزان انرژی تابیده شده طی یک سال بر صفحه ی به مساحت 1 متر مربع را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$E_G(\alpha) = \sum_{i=1}^{365} \sum_{t-1}^{24} G(t,\alpha) \quad (2)$$

بهترین زاویه α برابر است با مقداری که EG را به بیشترین مقدار ممکن برساند. بر این اساس باید برای تمامی زاویه‌های مختلف بین صفر تا نود درجه این بررسی انجام شود و زاویه ای که برای آن بیشترین میزان انرژی تابیده شده به دست آمد به عنوان زاویه در نظر گرفته خواهد شد.

. با توجه به در نظر گرفتن شباهت در عملکرد سیستم در سال‌هایی مختلف برنامه‌ریزی، هزینه و درآمد برای یک سال نوعی محاسبه شده و سپس این هزینه‌ها به زمان حال برگردانده خواهد شد [7].

به صورت کلی سود حاصل از سرمایه‌گذاری را می‌توان برابر با درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری منهای هزینه سرمایه‌گذاری در نظر گرفت. بر این اساس می‌توان برای یک سال نوعی درآمد فروش برق به شبکه را به صورت رابطه ذیل نوشت:

$$A = 3*31*\sum_{i=1}^{24} R_{1i} + 3*31*\sum_{i=1}^{24} R_{2i} + 3*30*\sum_{i=1}^{24} R_{3i} + (2*30+29)*\sum_{i=1}^{24} R_{4i} - M \quad (3)$$

که در آن R_{1i} ، R_{2i} ، R_{3i} و R_{4i} درآمد حاصل از برق فروخته شده به شبکه برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان و برای ساعت i ام می‌باشد. M هزینه تعمیر و نگه‌داری سالیانه صفحه‌های فتوولتائیک، باتری و مبدل می‌باشد. هزینه تعمیر و نگه‌داری سالیانه را می‌توان بر اساس فرمول زیر نمایش داد:

$$M = M_{PV} + M_{Batt} + M_{Conv} \quad (4)$$

که در آن M_{PV} ، M_{Batt} و M_{Conv} به ترتیب هزینه تعمیر و نگه‌داری صفحه‌های فتوولتائیک، باتری و مبدل می‌باشند.

حال در این صورت می‌توان سود را در کل دوره برنامه ریزی به صورت زیر نوشت:

$$NPV = -IC + A + \frac{A}{(1+i)} + \frac{A}{(1+i)^2} + \ldots + \frac{A}{(1+i)^{n-1}} \quad (5)$$

که در آن NPV سود خالص برگردانده شده به لحظه‌ی حال، IC هزینه سرمایه‌گذاری، n تعداد سال‌های برنامه ریزی و i نرخ سود خالص می‌باشد که نرخ بهره بانکی منهای تورم می‌باشد [8].

هزینه سرمایه‌گذاری: عبارت است از هزینه خرید و نصب تجهیزات شامل صفحه‌های فتوولتائیک، باتری و مبدل می‌باشد:

$$IC = C_{PV} + C_{Batt} + C_{Conv} \quad (6)$$

که در آن C_{PV}، C_{Batt} و C_{Conv} به ترتیب عبارتند از هزینه‌های خرید و نصب صفحه‌های فتوولتائیک، باتری و مبدل می‌باشند. از سوی دیگر نرخ سود خالص را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$i = \text{int} - \text{inf} \quad (7)$$

که در آن int و inf به ترتیب عباتند از نرخ سود و نرخ تورم و i نرخ سود خالص می‌باشد.

فرمول (5) را می‌توان به صورت ساده شده زیر نمایش داد:

$$NPV = -IC + \frac{A}{CRF} \quad (8)$$

که در آن CRF نرخ بازگشت سرمایه می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (9)$$

علاوه بر بیشینه نمود سود که هدف مسئله بهینه‌سازی می‌باشد، در بسیاری از موارد سرمایه گذاران با محدودیت سرمایه مواجه می‌باشند. این محدودیت با استفاده از قید به صورت زیر مدل خواهد شد:

$$IC \le IC_{\max} \quad (10)$$

که در آن $IC_{\max}$ بیشینه سرمایه ممکن می‌باشد. در این حالت داریم:

$$(C_{PV} + C_{Batt} + C_{Conv}) \le IC_{\max} \quad (11)$$

در این حالت به صورت کلی تابع هدف که همانا بیشینه نمودن سود می‌باشد را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$3*31*\sum_{i=1}^{24} R_{1i} + 3*31 *\sum_{i=1}^{24} R_{2i} + 3*30*\sum_{i=1}^{24} R_{3i} + (2*30+24)*\sum_{i=1}^{24} R_{4i} \frac{-(M_{PV} + M_{Batt} + M_{Conv})}{CRF} -(C_{PV} + C_{Batt} + C_{Conv}) \quad (12)$$

که هر کدام از اجزای آن بیان شد.

4.الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گروهی

الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گروهی از رفتار حیوانات مخصوصاً نحوه جستجوی آن‌ها الهام گرفته شده است. این روش به صورت پایه ای برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته می‌باشد. می‌توان رفتار جستجوی حیوانات را یک حرکت فعال که طی آن

هر حیوان تلاش می‌کند منابعی همچون غذا را پیدا کند. براین اساس موفقیت نهایی جستجوی حیوانات به موارد زیر وابسته است:

1-استراتژی پخش شدن در فضای جستجو 2-بهره‌وری در تعیین نقاطی که منابع در آن‌ها قرار دارند

3- توانایی هر فرد در تطبیق خود با تغییرات محیطی کوتاه مدت یا بلند مدت

یکی از نتایج زندگی گروهی افزایش احتمال یافتن مسیر غذا می‌باشد. به صورت معمول در این فرآیند افراد به یکی از دو صورت زیر عمل می‌کنند:

تولید به معنای جستجو برای غذا ومتصل شدن (کش رفتن) به معنی استفاده از منابعی که به وسیله بقیه کشف شده است

کش رفتن رفتاری معمول در بسیاری از حیوانات اجتماعی همانند پرندگان، عنکبوت‌ها، ماهی‌ها و شیرها می‌باشد. افرادی که در هر گروه در یافتن منابع موفق بوده‌اند حتی به هزینه کاهش موفقیت فردی خود، به دیگر افراد منابع را نشان می‌دهند.دو روش به عنوان استراتژی بهینه در متصل شدن ارائه شده است:

1- مدل به اشتراک گذاری اطلاعات 2 - مدل تولیدکننده – کش‌رونده

استراتژی دنباله رونده‌ها بر اساس خانه گنجشک‌ها طراحی شده است. علاوه بر تولیدکنندگان و دنباله رونده‌ها برخی از اعضای گروه دور از هسته اصلی گروه برای جلوگیری از افتادن در بهینه های محلی جستجو می‌کنند[12].

5. شبیه‌سازی اندازه بهینه سیستم ترکیبی آرایه خورشیدی/باتری متصل به شبکه

به منظور آماده‌سازی مسئله برای ارائه به الگوریتم بهینه‌سازی، در مرحله اول داده های مورد نیاز برای انجام الگوریتم استخراج می‌شوند. داده‌های مورد نیاز عبارتند از:

5-1- قیمت و مشخصات صفحه های فتوولتائیک

قیمت و مشخصه‌های صفحه های فتوولتائیک برای تکنولوژی ساخت صفحه های فتوولتائیک مونو سیلیسیم، پلی سیلیسیم، آموسفور سیلیسیم و CuInSe2 برای حالت پایه در جدول (1) ارائه شده است. ضرایب قیمتی 0/8 و 1/2 نیز در این پایان‌نامه برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول (1): قیمت و مشخصه صفحه های فتوولتائیک

	mono-Si	poly-Si	a-Si	CuInSe2
P	23/6200	15/3900	36/0200	18/5500
Q	0/2983	0/1770	0/7576	0/3288
M	0/1912	0/0794	0/6601	0/2612
R	0/0931	0/0974	0/0286	0/1004
S	0/9795	0/8998	1/1432	0/9678
U	0/9865	0/9324	1/0322	0/9864
H	0/0280	0/0260	0/0220	0/0320

داده‌های قیمتی برای صفحه های فتوولتائیک در بسیاری از مقالات ارائه نشده و یا اینکه نوع تکنولوژی ساخت این صفحه های فتوولتائیک ارائه نشده است [6-7]. به این دلیل در این مقاله از رنجی از قیمت‌ها برای صفحه های فتوولتائیک استفاده شده و آنالیز حساسیت پاسخ بر روی قیمت صفحه های فتوولتائیک انجام شده است. قیمت‌های در نظر گرفته برای صفحه های فتوولتائیک بر حسب دلار بر مگاوات در جدول (2) ارائه شده است.

جدول (2): قیمت‌های در نظر گرفته برای صفحه های فتوولتائیک بر حسب دلار بر مگاوات

	mono-Si	poly-Si	a-Si	CuInSe2
قیمت (دلار)	5159	4623	3082	3886

5-2-قیمت و مشخصات باتری

قیمت هر عدد باتری کیلووات برابر 168 دلار در نظر گرفته شده است. عمق تخلیه باتری برابر با 0/2، بازدهی شارژ برابر با 0/95 و بازدهی دشارژ برابر با 1 در نظر گرفته شده است [1].

برای تغییرات قیمت باتری در دو حالت قیمتی 1/2 و 0/8 قیمت پایه آنالیز حساسیت انجام خواهد شد.

5-3-قیمت و مشخصات مبدل‌ها

قیمت مبدل یک کیلووات برابر با 430 دلار و بازدهی آن برابر 0/953 در نظر گرفته شده است [1].

برای تغییرات قیمت مبدل در دو حالت قیمتی 1/2 و 0/8 قیمت پایه آنالیز حساسیت انجام خواهد شد.

5-4- داده‌های تابش‌سنجی

داده‌های تابش‌سنجی برای یک منطقه نوعی در شمال غرب ایران با استفاده از اندازه‌گیری در منطقه حاصل شد [1].

برای حالتی که تابش خورشید در منطقه 2، 1/5 و 0/5 برابر مقدار پایه می‌باشد آنالیز حساسیت صورت خواهد گرفت.

5-5- متغیرهای اقتصادی نرخ بهره و نرخ سود

نرخ سود و نرخ بهره به صورت نوعی 20 درصد و 15 درصد در نظر گرفته شده است. نرخ سود خالص بر اساس این داده‌ها برابر با 5 درصد می‌باشد. برای حالت‌هایی که نرخ سود خالص برابر با 10 درصد و 2 درصد نیز آنالیز حساسیت انجام خواهد شد.

5-6-برآورد قیمت شبکه برای سال‌هایی آینده

قیمت فروش برق به شبکه برای کل سال با ساده سازی، ثابت در نظر گرفته شده است. قیمت برآوردی فروش برق به شبکه برای سال پایه در جدول (3) نمایش داده شده است [14].

جدول(3): قیمت برآوردی فروش برق به شبکه

ساعت	قیمت (دلار)	ساعت	قیمت (دلار)
1	0/033	13	0/215
2	0/027	14	0/572
3	0/020	15	0/286
4	0/017	16	0/279
5	0/017	17	0/086
6	0/029	18	0/059
7	0/033	19	0/050
8	0/054	20	0/061
9	0/215	21	0/181
10	0/572	22	0/077
11	0/572	23	0/043
12	0/572	24	0/037

به منظور آنالیز حساسیت پاسخ قیمت سه سناریو مختلف قیمت با ضرایب 1/2، 1 و 0/8 مقدار قیمت برآورد شده انجام شده است.تعداد سال‌هایی برنامه‌ریزی:عمر پروژه در این مقال 20 سال در نظر گرفته شده است.

محدوده سرمایه اولیه ،محدوده سرمایه اولیه برابر با 400000 دلار در نظر گرفته شده است.

در ادامه بر اساس روش بیان شده در بخش "تعیین زاویه قرارگیری صفحه های فتوولتائیک" زاویه قرارگیری صفحه های فتوولتائیک با استفاده از داده های تابش سنجی تعیین خواهد شد. بر این اساس میزان انرژی تابیده شده برای پنلی به مساحت 1 متر مربع محاسبه می‌شود. این زاویه برابر با 34/29 درجه می‌باشد [1].

. تعداد اعضا در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی برابر با 500 فرد و تعداد 2000 تکرار در نظر گرفته شد.

5-7- آنالیز حساسیت نسبت به قیمت‌های مختلف فروش برق به شبکه

نتایج برای 3 سناریو مختلف قیمت فروش برق به شبکه انجام شده است. سود، تعداد هر کدام از صفحه های فتوولتائیک، باتری‌ها و مبدل‌ها و نوع صفحه های فتوولتائیک برای هر کدام از این ترکیبات سناریوهای قیمتی در جدول (4) نمایش داده شده است.

جدول(4): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به قیمت های مختلف فروش برق

ضریب قیمت برق	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
0/8	0	-	-	-	-
1	44548	poly-Si	110	48	119
1/2	223566	poly-Si	114	25	103

5-8-آنالیز حساسیت نسبت به قیمت‌های صفحه‌های فتوولتائیک

نتایج برای سه سناریو مختلف که قیمت صفحه‌های فتوولتائیک برابر با 0/8، 1 و 1/2 قیمت صفحه‌ها در حالت پایه می‌باشد در جدول (5) نمایش داده شده است.

جدول(5): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به قیمت های مختلف صفحه های فتوولتائیک

ضریب هزینه صفحه فتوولتائیک	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
0/8	232890	poly-Si	139	55	123
1	44548	poly-Si	110	48	119
1/2	0	-	-	-	-

5-9- آنالیز حساسیت نسبت به شدت تابش خورشید

آنالیز حساسیت سود نسبت به تغییرات در تابش خورشید برای حالاتی که شدت تابش خورشید 2، 1/5، 1 و 0/5 برابر حالت پایه می‌باشد انجام شده و نتایج این شبیه‌سازی‌ها در جدول (6) نمایش داده شده است.

جدول(6): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به شدت تابش خورشید

شدت تابش خورشید نسبت به حالت پایه	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
0/5	-	-	-	-	-
1	44548	poly-Si	110	48	119
1/5	300811	poly-Si	111	28	123
2	332737	poly-Si	109	47	130

5-10- آنالیز حساسیت نسبت به قیمت باتری

آنالیز حساسیت سود نسبت به تغییرات در قیمت باتری برای حالاتی که قیمت باتری 1/2، 1 و 0/8 برابر حالت پایه می‌باشد انجام شده و نتایج این شبیه‌سازی‌ها در جدول (7) نمایش داده شده است.

جدول(7): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به قیمت باتری

نسبت قیمت باتری به حالت پایه	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
0/8	50471	poly-Si	110	59	121
1	44548	poly-Si	110	48	119
1/2	32921	poly-Si	113	26	107

5-11- آنالیز حساسیت نسبت به قیمت مبدل

آنالیز حساسیت سود نسبت به تغییرات در قیمت مبدل برای حالاتی که قیمت باتری 1/2، 1 و 0/8 برابر حالت پایه می‌باشد انجام شده و نتایج این شبیه‌سازی‌ها در جدول (8) نمایش داده شده است.

جدول(8): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به قیمت مبدل

نسبت قیمت مبدل به حالت پایه	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
0/8	67136	poly-Si	113	49	121
1	44548	poly-Si	110	48	119
1/2	16321	poly-Si	106	52	121

5-12- آنالیز حساسیت نسبت به نرخ سود خالص

نتایج بهینه‌سازی برای حالات مختلف نرخ سود خالص در جدول (9) نمایش داده شده است.

جدول(9): نتایج آنالیز حساسیت نسبت به نرخ سود خالص

نرخ سود خالص	سود (دلار)	نوع صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد صفحه‌های فتوولتائیک	تعداد باتری	تعداد مبدل
2	180746	poly-Si	111	45	117
5	44548	poly-Si	110	48	119
10	-	-	-	-	-

5-13- توان فروخته شده به شبکه

توان فروخته شده به شبکه برای حالت پایه که تمامی پارامترها در مقدار نامی خود می باشند در جدول (10) ارائه شده است.

جدول(10): توان فروخته شده به شبکه

ساعت	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0/60	0/59	0	0

8	1/62	0/80	0/04	0
9	17/32	17/93	0/29	0/26
10	78/64	84/62	41/84	48/39
11	91/51	74/43	84/09	43/14
12	106/99	117/97	102/22	117/04
13	64/89	65/38	57/48	50/72
14	119/00	119/00	119/00	118/52
15	80/41	83/54	68/88	67/21
16	74/49	71/77	54/33	45/95
17	18/26	18/50	20/17	14/33
18	3/36	2/70	0/39	0/01
19	5/57	1/20	0/09	0
20	2/97	0/20	0/02	0
21	21/79	34/59	0	0
22	4/60	0/67	0	0
23	0/71	0/27	0	0
24	0/93	0/27	0	0

6. نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئله تعیین اندازه بهینه صفحه های فتوولتائیک، باتری و مبدل و تعیین نوع تکنولوژی صفحه های فتوولتائیک برای بیشینه کردن سود در شرایط اتصال به شبکه انجام شده است. این مسئله از دید سرمایه‌گذار که دارای محدودیت سرمایه می‌باشد و مایل به بیشینه کردن سود سرمایه‌گذاری خود در بازه برنامه‌ریزی می‌باشد انجام شده است.هم‌چنین زاویه قرارگیری بهینه صفحه های فتوولتائیک تعیین شده است. این زاویه برابر با زاویه‌ای است که به بیشترین انرژی تابیده شده به صفحه ها منجر گردد. برای بهینه‌سازی از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گروهی استفاده شده است. این الگوریتم بر مبنا رفتار برخی پرندگان در سال‌های اخیر ارائه شده است. شبیه‌سازی برای چهار تکنولوژی مختلف صفحه های فتوولتائیک انجام شده است. هم‌چنین آنالیز حساسیت برای قیمت‌های مختلف صفحه های فتوولتائیک و قیمت برق شبکه انجام شده است. نتایج نشان‌دهنده وابستگی قابل توجه توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری به قیمت برق شبکه، قیمت صفحه‌های فتوولتائیک و مقدار تابش می‌باشد؛ به صورتی که در برخی از حالات الگوریتم تصمیم می‌گیرد تا هیچ گونه صفحه ی را نصب نکرده زیرا هزینه در این حالات بیشتر از درآمد کسب شده از شبکه خواهد شد. در حالاتی که سرمایه‌گذاری توجیه‌پذیر می‌باشد حتماً از باتری استفاده شده است که دلیل این امر قیمت بالای توان شبکه در برخی از ساعاتی که تابش آفتاب وجود ندارد می‌باشد. از طرف دیگر بر اساس آنالیز حساسیت صورت گرفته سود سرمایه‌گذاری وابستگی زیادی به تغییرات در هزینه مبدل و باتری ندارد.

12. منابع

1. [1] ع. ک. ک. ح. ر. ب. غ. ریاحی "اندازه یابی بهینه یک نیروگاه مختلط بادی- خورشیدی با استفاده از الگوریتم PSO", PSC, 2007 .

2. [2] A. Mellit, "Sizing of Photovoltaic syetms: A review," Revue des Energies Renouvelables, vol. 10, pp. 463-472, 2007.
3. [3] A. Jossen, et al., "Operation conditions of batteries in PV applications," Solar Energy, vol. 76, pp. 759-769, 2004.
4. [4] W. Zhou, et al., "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems," Applied Energy, vol. 87, pp. 380-389, 2010.
5. [5] H. Yang, et al., "A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system," Solar Energy, vol. 81, pp. 76-84, 2007.
6. [6] G. Notton, et al., "Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations," Renewable Energy, vol. 35, pp. 541-554, 2010.
7. [7] W. Durisch, et al., "Efficiency model for photovoltaic modules and demonstration of its application to energy yield estimation," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 91, pp. 79-84, 2007.
8. [8] F. A. Farret and M. G. Simoes, Integration of Alternative Sources of Energy: John Wiley & Sons, 2006.
9. [9] L. Hontoria, et al., "A new approach for sizing stand alone photovoltaic systems based in neural networks," Solar Energy, vol. 78, pp. 313-319, 2005.
10. [10] E. Koutroulis, et al., "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms," Solar Energy, vol. 80, pp. 1072-1088, 2006.
11. [11] A. Mellit, et al., "Modelling of sizing the photovoltaic system parameters using artificial neural network," in Control Applications, 2003. CCA 2003. Proceedings of 2003 IEEE Conference on, 2003, pp. 353-357 vol.1.
12. [12] S. He, et al., "Group Search Optimizer: An Optimization Algorithm Inspired by Animal Searching Behavior," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 13, pp. 973-990, 2009.
13. [13] S. He, et al., "A Novel Group Search Optimizer Inspired by Animal Behavioural Ecology," in Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on, 2006, pp. 1272-1278.
14. [14] C. Chen, et al., "Smart energy management system for optimal microgrid economic operation," Renewable Power Generation, IET, vol. 5, pp. 258-267, 2021.
15. [15] ELVIS 2023 ." Optimal Sizing and Placement of Series Capacitors in Distribution Networks Using Modified Elephant Herding Optimization Algorithm

[16] ANKUSH TANDON 2023." Positioning and Sizing of PV-Based DG and Capacitor in Realistic Distribution Network and Verification through ETAP Simulation

Optimal sizing of a grid-connected distributed generation and battery hybrid system with PSO algorithm

Mehrdad Movahedpoor

Electrical Engineering Department, National University of Skills, Tehran, Iran

mehrdad.movahedpoor@gmail.com

Ali Doost Rostamizadeh

Electrical Engineering Department, National University of Skills, Tehran, Iran

rostami0418@gmail.com

Abstract

In this paper, the optimal sizing of a distributed generation system with a combined solar/battery power is presented using the PSO algorithm. Given that the power generation in solar panels depends on solar radiation, the battery energy storage in the grid-connected state allows the storage of the generated power of photovoltaic panels and the sale of power to the grid during the night-time peak consumption hours - when electricity costs are high. Economic modeling of photovoltaic panels, batteries and converters is presented. Based on the optimization and sensitivity analysis, the use of photovoltaic panels for power conversion and electricity sale to the grid is highly dependent on the price of photovoltaic panels and the price of grid electricity and is acceptable.

Keywords: Hybrid power system, solar array, energy storage, optimization, ensemble search (PSO)