بهینه‌سازی چندهدفه و طراحی سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی برای ریزشبکه DC هوشمند

عبدالکریم حاجی کاسب[۱]، امیرحسین رحمانی[۲،*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، hajikarim1993@yahoo.com
*۲- مربی، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، a_h_rahmani@yahoo.com

چکیده: سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک-بادی نوع خاصی از تأمین انرژی هستند که با کاربرد آن به عنوان منبع تولید پراکنده می‌توان تلفات شبکه برق را کاهش داد. در طراحی این سیستم‌ها دو محدودیت عمده وجود دارد: اول، دسترسی به برق تولید شده (دسترس‌پذیری)، دوم، هزینه‌های تجهیزات. هدف از این مقاله، تعیین ظرفیت و طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی با منابع انرژی و استراتژی‌های مختلف همچنین افزایش مقدار شاخص دسترس‌پذیری و کاهش هزینه‌ها می‌باشد. در این طراحی از باتری به عنوان پشتیبان سیستم ترکیبی استفاده شده تا با کمک آن بتوان نوسانات منابع انرژی تجدیدپذیر را کاهش داد. در این مقاله با به کارگیری منابع تولید پراکنده نظیر توربین بادی، فتوولتائیک و باتری، از یک روش بهینه‌سازی هوشمند که مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MOPSO) می‌باشد، استفاده شده است. روش مورد استفاده در محیط نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده و بر روی یک سیستم ۲۷/۶ کیلووات نصب شده در دانشگاه تکزاس پیاده‌سازی و نتایج حاصل ارزیابی شده است. با مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه ملاحظه می‌شود که الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات پاسخ‌های بهتری را به دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تولید پراکنده، فتوولتائیک، توربین بادی، انرژی تجدیدپذیر

۱- مقدمه

امروزه با توجه به نیاز روز افزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت های برق رسانی و تأمین سوخت برای نقاط و روستاهای دورافتاده و ... استفاده از انرژی های نو مانند انرژی خورشید و انرژی باد می‌تواند جایگاه ویژه‌ای داشته باشد. بدیهی است امروزه پشتوانه اقتصادی و سیاسی کشورها، به میزان بهره‌وری آن‌ها از منابع فسیلی بستگی دارد و تهی گشتن منابع فسیلی، نه تنها تهدیدی است برای اقتصاد کشورهای صادر کننده، بلکه نگرانی عمده‌ای را برای نظام اقتصادی ملل وارد کننده به وجود آورده است. به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر با رشد سالانه ۶۰٪ در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ و ۸۰٪ در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است [۴]. در به کارگیری سیستم‌های DC دو محدودیت عمده وجود دارد: اول، دسترس‌پذیری برق تولید شده، دوم، هزینه تجهیزات. در عین حال، سیستم‌های DC به خاطر راندمان بالا، قابلیت اطمینان بالا و اتصال آسان آن‌ها به منابع تجدیدپذیر، نسبت به سیستم‌های AC دارای محبوبیت هستند [۵]. برای کاهش نوسانات در بخش تولید سیستم ترکیبی، از یک بانک باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود که این مورد، توان مازاد و کمبود عرضه توان در شرایط کاری مختلف را جذب می‌کند. به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر با رشد سالانه ۶۰٪ در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک از سال

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]

۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ و ۸۰٪ در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است [۲]. در به کارگیری سیستم‌های DC دو محدودیت عمده وجود دارد: اول، دسترسی به برق تولید شده، دوم، هزینه تجهیزات. در عین حال، سیستم‌های DC به خاطر راندمان بالا، قابلیت اطمینان بالا و اتصال آسان آنها به منابع تجدیدپذیر، نسبت به سیستم‌های AC دارای محبوبیت هستند [۶]. برای کاهش نوسانات در بخش تولید سیستم ترکیبی، از یک بانک باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود که این مورد، توان مازاد و کمبود عرضه توان در شرایط کاری مختلف را جذب می‌کند.

در [۷] استراتژی کنترل با هدف تأمین بار سیستم ارائه شده است. آرایه خورشیدی به عنوان منبع اصلی تأمین توان مورد نیاز بار سیستم بوده به نحوی که در حالت تنها خورشیدی، آرایه خورشیدی به تنهایی قادر به تأمین بار سیستم می‌باشد. مازاد توان سیستم به الکترولایزر جهت تولید هیدروژن و به باتری جهت ذخیره، تحویل داده می‌شود. در حالت فتوولتائیک-پیل سوختی، آرایه خورشیدی به تنهایی قادر به تأمین بار سیستم نبوده و در این حالت، پیل سوختی وارد مدار شده و توسط هیدروژن ذخیره شده در مخزن در تأمین بار با پیل خورشیدی مشارکت می‌کند. در این حالت به دلیل عدم قطعیت تابش خورشید قادر به تولید توان نبوده و تأمین بار سیستم در این حالت، فقط توسط هیدروژن ذخیره شده در مخزن و تولید توان توسط پیل خورشیدی صورت می‌پذیرد.

با توجه به شاخص‌های تعریف شده در [۸] چگونگی تأثیرگذاری فاکتور تعیین ظرفیت و ظرفیت باتری‌ها بر روی تزریق و یا جذب انرژی الکتریکی به/از شبکه با هدف آنالیز تاثیر برخی از پارامترهای تعیین اندازه برای یک سیستم فتوولتائیک-بادی متصل به شبکه بررسی شده است. از عیوب این پژوهش می‌توان به عدم بررسی تعیین ظرفیت باتری‌ها بر روی تزریق و یا دریافت انرژی الکتریکی به/از شبکه و نیز نپرداختن به مفاهیم و شاخص‌های قابلیت اطمینان اشاره کرد.

در [۹] از روش الگوریتم قطعی استفاده شده است تا تعداد و نوع واحدها را به صورت بهینه تعیین نماید. بسیاری از محققان ثابت کرده‌اند که الگوریتم مستقیم، موثرترین الگوریتم قطعی برای پیدا کردن بهترین راه حل در مسائل مختلف است. در مقاله مذکور داده‌های شش ماه از شدت تابش خورشید، سرعت باد و دمای محیط به صورت ساعت به ساعت ثبت گردیده‌اند. نتایج شبیه‌سازی به وضوح نشان داده است که سیستم مجزای ترکیبی خورشیدی/ بادی/ دیزل، با/ بدون باتری با توجه به هزینه تمام شده آن می‌تواند به عنوان یک تکنیک اقتصادی برای تولید انرژی الکتریکی در مناطق دور افتاده مورد استفاده قرار گیرد.

نوتن و همکاران، یک روش تعیین اندازه بهینه جهت بهینه‌کردن سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی با باتری ارائه کرده اند که در آن برای بهینه‌سازی اندازه تجهیزات با توجه به هزینه و قابلیت اطمینان سیستم از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۱۰]. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که زمانی که از سیستم ترکیبی بادی-خورشیدی در مقابل سیستم فقط بادی و فقط خورشیدی استفاده می‌شود، هزینه‌های سیستم کاهش یافته و هم‌چنین احتمال عدم تأمین بار کمتر می‌شود.

هدف اصلی در این مقاله، ارائه یک مدل کلی است که در آن کمیت دسترس‌پذیری و هزینه‌های سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی برای ریزشبکه DC هوشمند ارائه شده باشد و نیز با شکل‌گیری بازار برق و گسترش آن، باید با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه به طور همزمان میزان تولید برق، افزایش و هزینه‌ها کاهش یابد. همچنین شاخص دسترس‌پذیری به عنوان توانایی سیستم به منظور تأمین توان برای بار باید به حداکثر برسد تا احتمال از دست رفتن بار حداقل گردد.

در ادامه این مقاله، در بخش ۲ مفاهیمی در خصوص انرژی و به طور خاص در مورد انرژی خورشیدی و انرژی بادی و نحوه ذخیره‌سازی انرژی دریافتی از آن‌ها ارائه شده است. در بخش ۳ نحوه بهینه‌سازی یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی بیان شده است. در بخش ۴ نحوه بهینه‌سازی برای سیستم ترکیبی مورد نظر، محدودیت‌های طراحی و معرفی الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات ارائه شده است. در پایان این مقاله، نتایج شبیه‌سازی به عنوان بخش ۵ ذکر شده است.

۲- انرژی

خورشید، سرچشمه اصلی انرژی کره زمین (غیر از انرژی اتمی) است. ذخایر انرژی کره زمین از چند منبع گوناگون تأمین می‌شود. انرژی این منابع را به دو دسته انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی حاصل از خورشید، آب، باد، امواج دریا، جزر و مد و انرژی‌های تجدید ناپذیر از قبیل انرژی حاصل از سوزاندن نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ تقسیم می‌کنند که در این بخش به بیان مختصری در مورد انرژی خورشیدی و انرژی بادی پرداخته می‌شود.

۲-۱- انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی مصارف گوناگون دارد. رایج‌ترین آن‌ها تأمین آب گرم منازل است. یک روش ساده این است که به وسیله رفلکتورهایی انرژی خورشیدی به درون یک دیگ بخار منتقل شود و از بخار ایجاد شده برای گرداندن یک توربین بخار استفاده شود. روش دیگر این است که با استفاده از سلول‌های فتوولتائیک، انرژی خورشیدی مستقیماً به برق تبدیل شود. در این روش بازده ۳۰٪ تا ۳۷٪ است. در حال حاضر به خاطر بهای گزاف سلول‌های فتوولتائیک، هزینه این طرح گران تمام می‌شود. با این حال امید می‌رود که بتوان با پژوهش‌های بیشتر رقم این هزینه را خیلی پایین آورد.

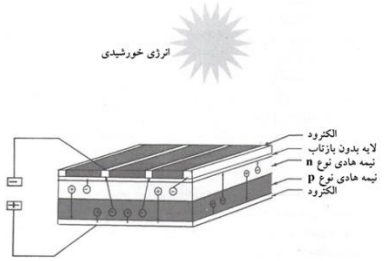
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

۱-۱-۲- سیستم‌های فتوولتائیک

گرفتن انرژی برق از خورشید به وسیله سلول‌های فتوولتائیک انجام می‌شود و تبدیل مستقیم نور خورشید به برق با استفاده از سلول‌های خورشیدی، روش فتوولتائیک نام دارد. سلول‌های خورشیدی نیز اغلب سلول‌های فتوولتائیک نامیده می‌شوند. مبانی اصلی در اینجا، اثر فوتوالکتریک است که برای اولین بار توسط دانشمند شهیر آلبرت اینشتین بیان شده است که نور سبب می‌شود الکترون‌ها از ماده رها شوند. سلول خورشیدی نوعی نیمه هادی جامد است که در صورت تحریک با فوتون‌ها، الکتریسیته DC تولید می‌کند. آن‌ها خواص الکترونیکی متفاوتی دارند که سبب پیدایش میدان‌های الکتریکی قوی درون آن‌ها می‌شود. سلول فتوولتائیک در شکل (۷) نشان داده شده است.

خصوصیت سیستم فتوولتائیک نسبت به روش‌های دیگر این است که می‌تواند در اندازه‌های بسیار کوچک تا نیروگاه‌های بسیار بزرگ ساخته شود و نیاز مصرف‌کننده را برطرف نماید.



شکل (۷): سلول فتوولتائیک

نقاط ضعف سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای موجب شده که مردم به فکر پیدا کردن سوخت‌های جایگزین بیافتند. یک منبع انرژی ایده‌آل باید ارزان، فراوان، پاک و تجدیدپذیر باشد.

برای استفاده از انرژی خورشیدی راه‌های بسیاری وجود دارد. بعضی از آن‌ها، روش‌های غیرفعال و برخی روش‌های فعال نام دارند. سیستم غیرفعال، وظایف خود را فقط با کمک طبیعت انجام می‌دهد. مثلاً در یک گلخانه هوای گرم از هوای سرد سبک‌تر بوده و طبیعتاً به سمت بالا حرکت می‌کند. سیستم فعال، وظایف خود را با استفاده از طبیعت و تجهیزات کمکی از قبیل پمپ و غیره انجام می‌دهد.

سلول خورشیدی مشابه چیپ کامپیوتری است. این قطعات از موادی به نام نیمه‌هادی ساخته شده‌اند. نیمه‌هادی‌ها توانایی حمل یا اصطلاحاً هدایت الکتریسیته را دارند، اما نه به خوبی فلزات. به همین دلیل پیشوند «نیمه» به ابتدای نام قطعه اضافه شده است.

قسمتی از نوری که به سلول خورشیدی می‌رسد بازتابیده می‌شود. قسمتی از نور دریافتی به گرما تبدیل شده و بخشی نیز از سلول عبور می‌کند اما نوری که در طول موج مورد نظر باشد جذب می‌شود. سپس ماده نیمه‌هادی مقدار کمی الکتریسیته تولید می‌کند.

سلول‌های خورشیدی اندازه‌های مختلفی دارند، کوچک‌ترین آنها از یک تمبر پستی باریک‌تر است در حالی که عرض بزرگ‌ترین سلول خورشیدی به چندین سانتیمتر می‌رسد. در صورت نیاز به برق بیشتر، چند سلول با هم الحاق می‌شوند. سلول‌های گروه‌بندی شده را ماژول خورشیدی یا پنل خورشیدی می‌نامند. اگر باز هم برق بیشتری مورد نیاز باشد چند ماژول را به صورت یک آرایه به هم وصل می‌کنند. بعضی ایستگاه‌های برق فتوولتائیک بزرگ از هزاران پنل تشکیل شده‌اند. پنل‌های خورشیدی به آسانی قابل حمل بوده و قطعی برق ندارند. به همین دلیل معمولاً برای وسایل برقی از قبیل علائم و تابلوهای بزرگراه‌ها، تلفن‌های عمومی، پمپ آب مزارع و چراغ‌های روستاهای دور دست استفاده می‌شوند.

بازده سلول‌های فتوولتائیک به خوبی نشان‌دهنده میزان پیشرفت فناوری خورشیدی است. بازده به معنای میزان توانایی یک سلول در تبدیل نور دریافتی به الکتریسیته است. سطح بازده مشخص می‌کند که چه میزان از انرژی دریافتی به الکتریسیته مفید تبدیل شده است. در دهه ۱۹۵۰ بازده سلول‌ها کم و حدود ۶٪ بود و قیمت بالایی داشت.

بازده سلول خورشیدی تا حد زیادی به واکنش طیفی آن بستگی دارد. هر چه طیف نوری که سلول می‌تواند به آن واکنش نشان دهد (واکنش طیفی) گسترده‌تر باشد نیروی تولیدی هم بیشتر خواهد بود.

یک عامل مؤثر دیگر بر بازده سلول، حرارت عملیاتی سلول است. هر چه سلول داغ‌تر شود جریان الکتریکی کمتری تولید می‌شود. بنابراین برای تولید بیشترین میزان الکتریسیته باید سلول‌ها به صورتی نصب شوند که تا حد ممکن خنک شوند.

امروزه بسیاری از سلول‌ها، بسته به نوعشان، بازدهی برابر ۱۵٪ و بالاتر دارند. بعضی سلول‌های آزمایشی بازده بسیار بالاتری دارند. روش‌های تولید نیروی گرمای خورشیدی هم بهینه شده‌اند. در اوایل سال ۲۰۰۸ شرکت «سیستم‌های انرژی درون‌سوز» برای یک نوع از بشقاب‌های خورشیدی تولیدی‌اش به نام «سان کَچِر» بازدهی شگفت‌انگیز ۳۱/۲۵٪ رسید [۲].

مهم‌ترین فاکتورهایی که در انتخاب مواد ساختار پنل‌های خورشیدی باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

۱) مقاومت در برابر حرارت

پنل‌ها عموماً در معرض درجه حرارت‌های بسیار بالا یا بسیار پایین قرار می‌گیرند. سرما سختی بعضی از مواد را کم می‌کند و انقباض موجب ترک برداشتن برخی مواد می‌شود. مواد در درجه حرارت‌های بالا نرم شده و نرمی در بعضی مواد منجر به تجزیه فیزیکی و در نتیجه شکستن ساختار و کاهش کارایی پنل خورشیدی می شود.

۲) مقاومت در برابر رطوبت

مه، شبنم، باران و برف آب‌دار، پنل‌ها را در معرض رطوبت قرار می‌دهند. ماده‌ای که رطوبت را جذب می‌کند به مرور زمان رطوبت را به سمت سلول‌ها و اتصالات الکتریکی داخل پنل کشیده و موجب خرابی آن می‌شود.

۳) مقاومت در برابر اشعه فرابنفش

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015 [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

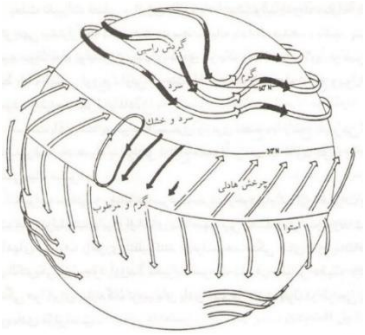
بعضی مواد تحمل این که هر روز و تمام مدت را در معرض اشعه فرابنفش خورشید قرار بگیرند ندارند. تجزیه این مواد موجب نفوذ رطوبت، سرما و گرما به درون پنل و خرابی آن می‌شود. این گونه مواد گرچه بهترین‌ها نیستند اما با توجه به عوامل ذکر شده بهترین گزینه‌های موجود هستند.

۲-۲- انرژی بادی

باد، در اثر گرم شدن حرارتی زمین به وسیله خورشید به وجود می‌آید. هر اندازه پرتوهای خورشید نسبت به سطح زمین عمودی‌تر باشد، میزان جذب انرژی زمین بیشتر خواهد بود. بنابراین مقدار انرژی که در منطقه استوایی جذب می‌شود، نسبت به قطب‌ها بیشتر است.

انرژی باد را می‌توان با استفاده از توربین‌های بادی افقی یا عمودی به انرژی مکانیکی تبدیل و از آن برای پمپاژ آب یا تولید برق در مناطق دور افتاده یا از طریق اصطکاک برای تولید انرژی حرارتی استفاده کرد. هزینه سیستم‌های نصب شده در دهه گذشته به طور چشم‌گیری کاهش یافته و انرژی باد در بسیاری از نواحی مستعد با منابع انرژی سنتی رقابت می‌کند. انرژی بادی مانند سایر منابع انرژی تجدید پذیر به طور گسترده ولی به صورت پراکنده در دسترس است. از عوامل بازدارنده سرعت باد می‌توان به وجود آسمان‌خراش‌ها، کارخانه‌های مرتفع، ساختمان‌ها و درختان کهن اشاره کرد.

تخمین زده می‌شود در سال ۲۰۲۰ میلادی سهم انرژی بادی در تأمین انرژی جهان با توان مجموع توربین‌های بادی ۱۸۰ گیگاوات حدود ۳۷۵ تراوات ساعت در سال باشد. از آنجایی که مسائل زیست محیطی به صورت ویژه اهمیت پیدا کرده است تلاش‌ها بر این است که این سهم در سال ۲۰۲۰ افزایش بیشتری پیدا کرده و با توان مجموع توربین‌های بادی ۴۷۰ گیگاوات به حدود ۹۰۰ تراوات ساعت افزایش یابد [۳].



شکل (۸): جریان جهانی باد بر روی کره زمین [۳]

ذخی‌ره‌سازی انرژی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی و ۳۰ درجه جنوبی، هوای گرم شده در استوا به بالا صعود کرده و هوای سردتری که از شمال و جنوب می‌آید جایگزین آن می‌شود. این جریان را چرخش هادلی می‌نامند. در سطح کره زمین این جریان بدین معنی است که بادهای سرد به طرف استوا می‌وزند. بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی (جنوبی) و ۷۰ درجه شمالی (جنوبی) عمدتاً بادهای غربی در جریان هستند. این بادها تشکیل یک چرخش موجی را می‌دهند و هوای سرد را به جنوب و هوای گرم را به شمال انتقال می‌دهند. این الگو جریان راسبی نامیده می‌شود که در شکل (۸) نشان داده شده است [۳].

به طور کلی برای تولید برق روش‌های گوناگونی وجود دارد که در میان آن‌ها باتری را می‌توان نام برد. باتری وسیله‌ای است که با انجام واکنش‌های شیمیایی در درون خود، انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و اساس کار آن بر پایه مواد فعال مثبت و منفی است.

در طبیعت مواد فعال و منابع انرژی‌زای مختلفی وجود دارد که به ازای واحد وزن، انرژی‌های متفاوتی تولید می‌کنند. هر گاه مواد فعال غیر سوختی را در محیط الکترولیتی قرار دهند هدایت الکتریکی برقرار خواهد شد. اگر مواد فعال در باتری فقط برای یک بار مصرف شوند و امکان احیای مجدد آن‌ها از طریق جریان الکتریکی نباشد، آن باتری را باتری اولیه می‌نامند که این باتری‌ها در شکل‌ها و ظرفیت‌های مختلف وجود دارند.

از خطرات و نواقص باتری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) انفجار: پدیده انفجار باتری عموماً ناشی از عدم کاربرد یا کارکرد صحیح باتری است.

۲) نشتی: در بعضی از باتری‌ها از مقوا، فلز روی و مواد شیمیایی استفاده می‌شود. واکنش شیمیایی درون باتری در مدت زمان طولانی، باعث خروج و نشت مواد شیمیایی داخل باتری به بیرون شده و ایجاد خوردگی شیمیایی در قطعات فلزی دستگاه‌ها که اطراف باتری قرار دارند می‌نماید.

۳) ملاحظات زیستگاهی: افزایش بهره‌گیری از باتری‌ها و کاربردهای گسترده آن افزایش زباله‌های صنعتی و دشواری‌های زیستگاهی تازه این کالا را به همراه داشته است. البته امروزه افراد بسیاری در تلاش بوده تا این خطرات را کاهش دهند. مثلاً ساخت باتری‌های چندبار مصرف باعث کاهش زباله‌هایی از این قبیل می‌شود.

به طور کلی باتری‌ها به دو دسته غیر قابل شارژ و قابل شارژ تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱) باتری‌های شارژ نشدنی (باتری‌های اولیه یا غیر قابل شارژ): این باتری‌ها قادر به شارژ الکتریکی نبوده و یک بار استفاده و دشارژ می‌شوند. باتری‌های غیر قابل شارژ، سلول‌های خشک (باتری خشک) نیز نامیده می‌شوند.

۲) باتری‌های شارژ شدنی (باتری‌های ثانویه): در کاربردهایی که به دلیل صرفه اقتصادی و نیاز به توان بالاتر از توان باتری غیرقابل شارژ، باتری‌های شارژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این موارد هر چند امکان استفاده از باتری‌های غیر قابل شارژ نیز وجود دارد ولی هزینه زیاد، کارائی کم و آلودگی محیط زیست را در پی خواهد داشت. باتری‌ها توسط یک منبع انرژی اولیه شارژ و در هنگام نیاز انرژی ذخیره شده را به بار تحویل می‌دهند. باتری منبع تغذیه بدون وقفه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

بوده که باتری اتومبیل، لیفتراک و موتورسیکلت نمونه‌ای از این نوع باتری‌ها است. از ویژگی‌های باتری‌های قابل شارژ علاوه بر قابلیت شارژ مجدد، توان بالا و نرخ دشارژ سریع آن می‌باشد.

۳- بهینه‌سازی سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی

در این بخش به منظور بهینه‌سازی، اهداف سیستم به صورت ریاضی بیان می‌شود. توان خروجی مولدهای فتوولتائیک و بادی، برای تغذیه شین DC بیشترین اولویت را دارد و چنانچه توان تولیدی ناکافی باشد بانک باتری به مقدار مشخصی برای تغذیه شین دشارژ می‌شود. اگر مجدداً توان کافی موجود نباشد، می‌توان برای تغذیه بار به مقدار مشخصی از شبکه توان خریداری نمود. بنابراین توان ورودی از شبکه دارای کم‌ترین اولویت است.

۳-۱- هزینه

بخش عمده‌ای از هزینه‌های سیستم شامل قیمت پنل‌های فتوولتائیک، توربین‌های بادی و بانک باتری است. هزینه کل سیستم (دلار در سال) شامل هزینه‌های اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌باشد که می‌تواند به صورت فرمول زیر بیان شود:

$$Cost = C_{Grid} + \frac{\sum_{i=PV,Wind,Batt} (I_i + OM_i)}{N} \quad (۱)$$

در اینجا I_i و OM_i به ترتیب بیان‌کننده هزینه اولیه و هزینه بهره‌برداری و نگهداری هر یک از اجزا است. N ، C_{Grid} و Cost نیز به ترتیب بیان کننده دوره حیات سیستم، هزینه توان ورودی از شبکه و مقدار هزینه کل سیستم بر حسب دلار در سال می‌باشد. بنابراین اولین تابع هدف به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\text{Minimize Cost } (A_{PV}, A_{Wind}, P_{Batt}, \Psi) \quad (۲)$$

A_{pv}، A_{wind} ، P_{Batt} و Ψ پارامترهای طراحی شده در این مقاله هستند که به ترتیب بیان‌کننده مساحت سطح پنل، مساحت رد پای باد، ظرفیت باتری و نسبت توان ورودی از شبکه به بار است.

هزینه‌های اولیه و بهره‌برداری و نگهداری برای زیرسیستم فتوولتائیک به صورت زیر بیان می‌شود:

$$I_{PV} = \lambda_{PV} \times A_{PV} \quad (۳)$$

$$OM_{PV} = OM_{yearly} \times A_{PV} \times \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{1+\upsilon}{1+\gamma}\right)^{i} \quad (۴)$$

در این‌جا OM_{yearly}، υ و γ به ترتیب بیانگر هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه در هر واحد، نرخ تشدید و نرخ بهره می‌باشد. همچنین I_{pv} و OM_{pv} به ترتیب نماد هزینه اولیه و هزینه کلی بهره‌برداری و نگهداری از زیرسیستم خورشیدی می‌باشد. λ_{pv} نیز بیانگر هزینه پنل است که برابر ۴۵۰ دلار بر متر مربع می‌باشد [۱۱].

هزینه‌های اولیه و بهره‌برداری و نگهداری برای زیرسیستم توربین بادی نیز به طور مشابه بیان می‌شود:

$$I_{Wind} = \lambda_{Wind} \times A_{Wind} \quad (۵)$$

$$OM_{Wind} = OM_{yearly} \times A_{Wind} \times \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{1+\upsilon}{1+\gamma}\right)^{i} \quad (۶)$$

که I_{wind}، OM_{yearly} و OM_{wind} به ترتیب بیانگر هزینه اولیه، هزینه بهره برداری و نگهداری سالانه در هر واحد و هزینه کلی بهره‌برداری و نگهداری از زیرسیستم بادی می‌باشد و λ_{wind} که نشانگر هزینه توربین بادی است برابر ۱۰۰ دلار بر متر مربع می‌باشد [۱۱].

هزینه‌های اولیه و بهره‌برداری و نگهداری برای بانک باتری به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$I_{Batt} = \lambda_{Batt} \times P_{Batt} \quad (۷)$$

$$OM_{Batt} = OM_{yearly} \times P_{Batt} \times \sum_{i=1}^{T_b} \left(\frac{1+\upsilon}{1+\beta}\right)^{(i-1)\ N_{Batt}} \quad (۸)$$

در این‌جا I_{batt}، OM_{yearly}، OM_{batt} و β به ترتیب بیانگر هزینه اولیه، هزینه بهره برداری و نگهداری سالانه در هر واحد، هزینه بهره‌برداری و نگهداری از زیرسیستم باتری و نرخ تورم است و λ_{Batt} نیز که بیان‌کننده هزینه بانک باتری است برابر ۱۰۰ دلار بر کیلو وات ساعت می‌باشد [۱۱].

از آنجایی که برای بانک باتری دوره عمر عملیاتی، کمتر از سلول‌های خورشیدی و توربین‌های بادی است، لذا انتظار می‌رود که آن‌ها باید چندین بار طی دوره عمر سیستم جایگزینی یابند. بنابراین بخش آخر رابطه (۸) برای بیان هزینه جایگزینی به عنوان هزینه بهره‌برداری و نگهداری در نظر گرفته شده است.

هزینه توان ورودی از شبکه به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$C_{Grid} = \sum_{i=1}^{T} P_{Grid,t} \times \lambda_{Grid} \quad (۹)$$

در این‌جا $P_{Grid,t}$ بیانگر توان خریداری شده از شبکه در هر واحد است و λ_{grid} بیان‌کننده قیمت توان ورودی از شبکه می‌باشد که برابر ۰/۱ دلار بر کیلو وات ساعت است [۱۱].

۳-۲- دسترس‌پذیری

زمانی که انرژی موجود است دسترس‌پذیری به عنوان یک شاخصه مهم برای سیستم ارائه می‌شود. بین دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان تفاوت زیادی وجود دارد. دسترس‌پذیری، توانایی سیستم به منظور تأمین توان برای بار است و قابلیت اطمینان، توانایی سیستم برای بهره‌برداری بدون شکست است. به عنوان مثال، یک سیستم فتوولتائیک بسیار قابل اعتماد که در آن، اجزا دچار شکست نمی‌شوند، می‌تواند دسترسی کمی داشته باشد به شرطی که ذخیره‌سازی کافی انرژی برای تأمین توان بار مورد نیاز در طول شب یا روز ابری وجود داشته باشد.

سطح مشخصی از دسترس‌پذیری را می‌توان با بسیاری از تنظیمات سیستم به دست آورد. دسترس‌پذیری برای مدت زمان در نظر گرفته شده به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$A = ۱ - \frac{DNM}{D} \quad (۱۰)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

DNM نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$DNM = \sum_{t=1}^{T} \left(\begin{matrix} P_{Batt}(t) - P_{Batt}(t) - \\ MIN \quad SOC \\ (P_{PV}(t) + P_{Wind}(t) + P_{Grid}(t) - P_D(t)) \times u(t) \end{matrix} \right) \qquad (۱۱)$$

که در اینجا چنانچه توان تغذیه شده بیشتر یا مساوی تقاضا باشد $u(t)$ یک تابع پله‌ای صفر است و چنانچه تقاضا برآورده نشود برابر یک فرض می‌شود.

پارامترهای A، DNM، $P_{batt}(t)$، $P_{batt}(t)$ و $P_D(t)$ به ترتیب بیانگر شاخص دسترس‌پذیری، تقاضای برآورده نشده (کیلو وات ساعت در سال)، حداقل شارژ بانک باتری در زمان، وضعیت شارژ بانک باتری در زمان و مقدار تقاضا در واحد زمان است.

توان ورودی از شبکه برابر است با:

$$P_{Grid} = \Psi \times (P_D(t) - P_{PV}(t) - P_{Wind}(t) - P_{Batt}(t)) \qquad (۱۲)$$

$$P_{Wind} = P_{WTG} \times A_{Wind} \times \eta_{Wind} \qquad (۱۳)$$

$$P_{PV} = Insolation \times A_{PV} \times \eta_{PV} \qquad (۱۴)$$

در روابط (۱۲) تا (۱۴) پارامترهای P_{PV}، η_{pv}، Insolation، P_{wind} و η_{wind} به ترتیب بیانگر توان تولیدی زیرسیستم خورشیدی، بازده زیرسیستم فتوولتائیک، مقدار تابش نور خورشید به سطح سلول، توان تولیدی زیرسیستم بادی و بازده زیرسیستم توربین بادی است و P_{WTG} که نماد توان نامی ژنراتور توربین بادی است برابر ۴ کیلو وات می‌باشد [۱۱].

بنابراین دومین تابع هدف را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\text{Maximize } A\ (A_{PV}, A_{Wind}, P_{Batt}, \Psi) \qquad (۱۵)$$

همان گونه که در رابطه (۸) بیان شد، عمر عملیاتی باتری کمتر از عمر سلول‌های خورشیدی و توربین بادی است، لذا لازم است در یک دوره ۲۰ ساله چندین بار باتری‌ها تعویض شوند.

مقادیر پارامترهای سیستم ترکیبی در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): مقادیر عددی پارامترهای سیستم ترکیبی [۱۱]

پارامتر	مقدار
دوره حیات سیستم (N)	۲۰ سال
دوره حیات باتری (N_{bat})	۵ سال
نرخ تورم (β)	۸٪
نرخ بهره (γ)	۱۲٪
نرخ تشدید (υ)	۱۲٪

سایر محدودیت‌های مربوط به سیستم در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): محدودیت‌های داده‌های عددی [۱۱]

پارامتر	مقدار
کمینه مساحت خورشیدی (A_{PV}^{min})	صفر
بیشینه مساحت خورشیدی (A_{PV}^{max})	۴۲۲۱ متر مربع
کمینه مساحت بادی (A_{wind}^{min})	۱۰۰ متر مربع
بیشینه مساحت بادی (A_{wind}^{max})	۴۲۲۱ متر مربع

۴- بهینه‌سازی

۴-۱- محدودیت‌های طراحی

یک محدودیت فیزیکی که باید به الگوریتم بهینه‌سازی اضافه شود، ناحیه قابل استفاده برای نصب و راه‌اندازی پنل‌های PV و ژنراتورهای بادی است.

$$A_{PV}^{min} \le A_{PV} \le A_{PV}^{max} \qquad (۱۶)$$

$$A_{Wind}^{min} \le A_{Wind} \le A_{Wind}^{max} \qquad (۱۷)$$

بدیهی است که حد پایین‌تر می‌تواند صفر باشد اما به منظور ایجاد سیستم قابل اطمینان‌تر، حد پایینی برای توربین‌های بادی حدود ۱۰۰ مترمربع در نظر گرفته می‌شود. برای این مجتمع آپارتمانی، حد بالایی حدود ۱۲٪ مساحت موجود است که تقریباً برابر ۴۲۲۱ مترمربع می‌باشد [۱۱].

توان ورودی از شبکه باید بین محدوده زیر قرار بگیرد:

$$P_{Grid}^{min} \le P_{Grid} \le P_{Grid}^{max} \qquad (۱۸)$$

بخشی از توان ورودی از شبکه می‌تواند در محدوده بین صفر و یک تغییر کند که این موضوع در رابطه (۱۲) نشان داده شده است.

در نهایت به منظور جلوگیری از بزرگ شدن بیش از حد اندازه سیستم و به دنبال آن اضافه شدن هزینه‌های بیش از حد، مجموع توان تولیدی نباید بیشتر از مقدار تقاضا باشد که این محدودیت به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$P_{PV}(t) + P_{Wind}(t) + P_{Batt}(t) + P_{Grid}(t) \le P_D(t) \qquad (۱۹)$$

۴-۲- الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات توسط کوئلو در سال ۲۰۰۴ معرفی شد و در واقع این الگوریتم تعمیمی است از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که برای حل مسائل چندهدفه به کار می‌رود [۱۲]. در الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات یک مفهوم به نام آرشیو یا مخزن نسبت به الگوریتم تک‌هدفه ازدحام ذرات اضافه شده است. انتخاب بهترین جواب کلی و بهترین پاسخ شخصی برای هر ذره گام مهم و اساسی در الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات است.

هنگامی که ذرات می‌خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از مخزن را به عنوان لیدر یا رهبر انتخاب می‌کنند. این لیدر حتماً باید عضو مخزن و همچنین نامغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر پارتو فرانت و شامل ذرات نامغلوب هستند که در ادامه در مورد آن توضیح داده خواهد شد. پس به جای G_{best} یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود. به این دلیل در الگوریتم تک‌هدفه مخزن وجود ندارد زیرا در آن تنها یک هدف وجود دارد و یک ذره است که بهترین است، اما در الگوریتم چندهدفه چند ذره وجود دارد که نامغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند.

برای مقایسه بهترین پاسخ شخصی به شکل زیر عمل می‌شود:

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]

۱) اگر موقعیت جدید بهترین پاسخ را مغلوب کند، آن‌گاه موقعیت جدید جای بهترین پاسخ را می‌گیرد. به بیان ریاضی:

$$P_{best_i}^{n+1} = X_i^{n+1} \quad (۲۰)$$

۲) اگر موقعیت جدید توسط بهترین پاسخ مغلوب شد، کاری انجام نمی‌گیرد. به بیان ریاضی:

$$P_{best_i}^{n} = P_{best_i}^{n+1} \quad (۲۱)$$

اگر هیچ‌کدام یکدیگر را مغلوب نکنند، به تصادف یکی را به عنوان بردار بهترین موقعیت در نظر می‌گیرد.

ترتیب اجرای این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد:

۱) تعیین پارامترهای مورد نیاز برای اجرای الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات شامل حداکثر تکرار برای اجرای الگوریتم، اندازه جمعیت، مقادیر C_1 و C_2 و میزان اعضای مخزن انجام می‌شود.

۲) جمعیت اولیه ایجاد می‌شود.

۳) بهترین پاسخ شخصی هر ذره تعیین می‌شود.

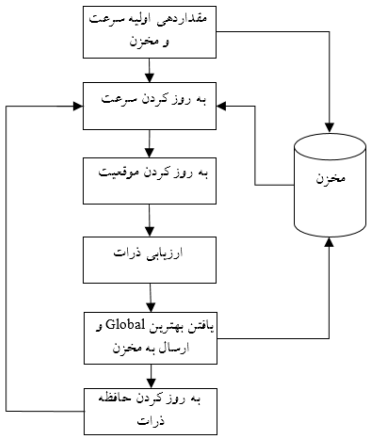
۴) اعضای نامغلوب جداسازی و در مخزن ذخیره می‌شوند.

۵) هر ذره از میان اعضای مخزن یک لیدر انتخاب می‌کند و حرکت خود را انجام می‌دهد (یعنی سرعت و موقعیت به روز می‌شود).

۶) بهترین پاسخ شخصی هر کدام از ذرات به روز می‌شوند.

۷) اعضای نامغلوب جدید به مخزن افزوده می‌شوند.

۸) اعضای مغلوب مخزن حذف می‌شوند.



شکل (۹): الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات برای سیستم ترکیبی مورد نظر

در صورتی که شرایط خاتمه محقق نشود از مرحله ۵ به بعد الگوریتم تکرار می‌شود. شکل (۹) الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات برای سیستم ترکیبی ارائه شده را نشان می‌دهد.

تفاوت مهم بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه ازدحام ذرات این است که در مورد بهینه‌سازی چندهدفه ممکن است راه‌حل‌های متعددی که بتوانند معیار بهینه‌سازی را برآورده سازند وجود داشته باشد. چنانچه این روش تحت تأثیر هیچ‌کدام از تکنیک‌های دیگر قرار نگیرد خود به عنوان تکنیک برتر شناخته می‌شود.

۳-۴- انتخاب عناصر ذره جهت طراحی

به منظور طراحی سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی چندهدفه، ذره مورد نظر با توجه به روابط (۱) و (۲) به فرم زیر انتخاب می‌شود:

ذره : A_{pv} و A_{wind} و P_{bott} و Ψ

محدوده هر یک از ذرات نیز با توجه به روابط (۱۶) تا (۱۸) و جدول (۲) به شرح زیر است:

$$0 \le A_{PV} \le ۴۲۲۱ \quad (۲۲)$$

$$۱۰۰ \le A_{Wind} \le ۴۲۲۱ \quad (۲۳)$$

$$P_{Grid}^{min} \le P_{Grid} \le P_{Grid}^{max} \quad (۲۴)$$

$$0 \le \Psi \le 1 \quad (۲۵)$$

۴-۴- داده‌ها و روابط مورد استفاده

با استفاده از روابط (۲) و (۱۲) تابع هزینه چندهدفه بیان شده و روابط (۱۶) تا (۱۹) نیز محدودیت‌های مسأله را مشخص می‌کند. متغیرهای مورد بررسی در این مقاله به شرح زیر است:

d : تعداد متغیرهای موجود در تابع هزینه (بُعد الگوریتم)

n : بیانگر جمعیت (تعداد ذرات)، N : بیشترین تعداد تکرار

C_1 و C_2 : فاکتور آموزش، ω_1 و ω_2 : فاکتورهای اولیه و ثانویه اینرسی

حال با وجود متغیرهای مذکور، الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات با در نظر گرفتن یک مقدار برای میزان خطا به عنوان Error، ضمن بهینه‌سازی مقادیر بهره‌ها، G_{best} را در سراسر جمعیت محاسبه می‌کند. بنابراین با مشخص شدن پارامترهای تنظیمی الگوریتم مذکور می‌توان تابع هزینه را به حداقل مقدار خود رساند.

جدول (۳) مقادیر عددی پارامترهای الگوریتم را نشان می‌دهد.

جدول (۳): پارامترهای الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات

d	n	N	C_1	C_2	ω۱	ω۲	Error
6	14	100	2	2	۰/۹	۰/۴	۱ E -۵

۵-۴- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله، شبیه‌سازی برای ۱۰۰ تکرار انجام شده است ولی در برخی مواقع جهت اتمام عملیات شبیه‌سازی، آن قدر عملیات تکرار می شود تا حداقل یکی از موارد زیر به عنوان شرط خاتمه اتفاق بیافتد:

الف) الگوریتم به حداکثر تعداد تکرار (N=۱۰۰) برسد.

ب) سرعت به صفر نزدیک شود و جواب بهینه به دست آید.

جدول (۴): متغیرهای طراحی‌شده سیستم ترکیبی بهینه‌شده پیشنهادی

A_{pv} (m^2)	A_{wind} (m^2)	P_{Batt} (kWh)	Ψ	A	هزینه ($)
۳۳۶۲/۷	۳۳/۷	۳۸۶/۴	٪۲۶	٪۹۸	۱۴۳۴,۳۵۸

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

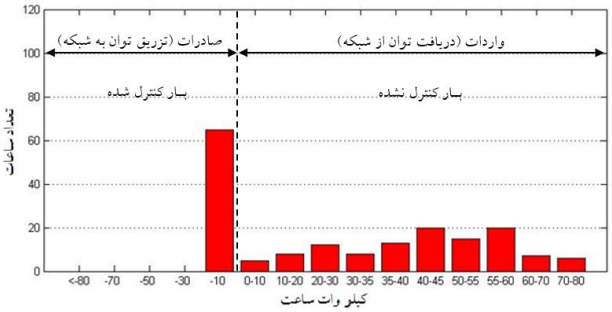
نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سیستم ترکیبی با استفاده از روش الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات در جدول (۴) ارائه شده است.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی سیستم مورد نظر در [۱۱] که در آن از روش الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک چندهدفه استفاده شده در جدول (۵) ارائه شده است.

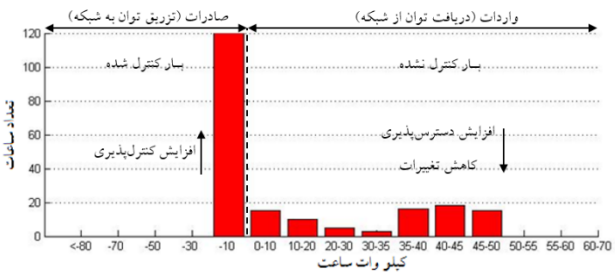
جدول (۵): متغیرهای طراحی‌شده سیستم ترکیبی بهینه‌شده [۱۱]

A_{pv} (m^2)	A_{wind} (m^2)	P_{Batt} (kWh)	Ψ	A	هزینه ($)
۲۸۶۵/۳۳	۷۱۱/۳	۳۷۱/۸	٪۲۱	٪۹۷/۸	۱,۴۷۷,۵۲۸



شکل (۱۰): نمودار جریان برق در نقطه اتصال معمولی برای ۷ روز

همان‌طور که در شکل (۱۰) مشخص است مجموع توان‌های بین صفر تا ۸۰ کیلو وات ساعت در حدود ۱۲۰ ساعت می‌باشند که اصطلاحاً این توان‌ها را «واردات از شبکه» و «بار غیر قابل کنترل» می‌نامند. همچنین مجموع توان‌های کمتر از صفر حدود ۶۵ ساعت می‌باشد که در اصطلاح منابع کنترل‌پذیر نامیده می‌شوند که این مقدار توان به شبکه تزریق شده و باعث ایجاد صادرات و درآمد شده است.



شکل (۱۱): نمودار جریان برق در PCC برای ۷ روز در روش پیشنهادی

در شکل (۱۱) تقاضای برآورده نشده قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. در شکل (۱۰) تعداد ساعاتی که مصرف توان بین ۲۰ تا ۳۰ کیلو وات ساعت بوده حدود ۱۳ ساعت بوده است که به طور مشابه، این مقدار در شکل (۱۱) به حدود ۹ ساعت کاهش یافته است.

همچنین در شکل (۱۰) تعداد ساعاتی که میزان مصرف توان بین ۵۰ تا ۸۰ کیلو وات ساعت بوده به طور مجموع حدود ۳۵ ساعت بوده است که به صورت مشابه، این مقدار در شکل (۱۱) به صفر مطلق رسیده است. همچنین مجموع توان‌های بین صفر تا ۸۰ کیلو وات ساعت در حدود ۸۵ ساعت می‌باشد که در مقایسه با روش ارائه شده در [۱۱] حدود ۳۵ ساعت کاهش داشته است و این بدان مفهوم است که شاخص دسترس‌پذیری، افزایش و میزان تغییرات بار، کاهش داشته است. از طرفی تعداد ساعاتی که در محدوده ۱۰ تا ۲۰ کیلو وات ساعت به شبکه تزریق توان صورت گرفته است حدود ۱۲۰ ساعت می‌باشد که این مقدار در شکل (۱۰) حدود ۶۵ ساعت بوده است. یعنی در روش پیشنهادی نسبت به روش ارئه شده در [۱۱] شاهد درآمد بیشتری هستیم.

مراجع

[۱] شورای جهانی انرژی، **منابع انرژی تجدیدپذیر نوین: راهنمایی برای آینده**، انتشارات اطلس، ۱۳۷۵.

[۲] ملایی، آزاده، **راهنمای انرژی خورشیدی**، انتشارات چرتکه، ۱۳۹۲.

[۳] ثقفی، محمود، **انرژی‌های قابل تجدید**، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

[4] R. S. Balog, J. W. Kimball and B. T. Kuhn, *"A system design approach for unattended solar energy harvesting supply"*, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 24, Issue 4, pp. 952-962, 2009.

[5] H. Akiki, R. Chedid and S. Rahman, *"A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems"*, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 13, Issue 1, pp. 76-83, 1998.

[6] W. Baochao, F. Locment and M. Sechilariu, *"Intelligent DC microgrid with smart grid communications: Control strategy consideration and design"*, IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 3, pp.2148-21562, 2012.

[7] T. Ganesan, P. Vasant and I. Elamvazuthi, *"Hybrid neuro-swarm optimization approach for design of distributed generation power systems"*, Springer Verlag,2013.

[8] G. T. Heydt, *"The next generation of power distribution systems"*, IEEE Trans. on Smart Grid, 2010.

[9] G. T. Heydt, *"Pricing and control in the next generation power distribution system"*, IEEE Trans. on Smart Grid,2012.

[10] G. Notton, C. Cristofari, P. Poggi and M. Muselli, *"Wind hybrid electrical supply system: behaviour simulation and sizing optimization"*, Wind Energy, 2001.

[11] R. S. Balog and M. B. Shadmand, *"Multi-Objective Optimization and design of photovoltaic-wind hybrid system for community smart DC microgrid"*, IEEE Trans. on Smart Grid, Vol. 5, Issue 5, pp. 2635-2643, 2014.

[12] T. Ganesan, P. Vasant and I. Elamvazuthi, *"Hybrid neuro-swarm optimization approach for design of distributed generation power systems"*, 2013.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]

رزومه



عبدالکریم حاجی کاسب در دزفول متولد شده است (۱۳۷۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت(۱۳۹۳) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق-قدرت(۱۳۹۶) از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول اخذ نموده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است.



امیرحسین رحمانی در اصفهان متولد شده است(۱۳۴۷). مدار ک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در سال‌های (۱۳۷۰) و (۱۳۷۴) به ترتیب در رشته‌های مهندسی برق و کنترل از دانشگاه تهران اخذ نموده است. ایشان هم اکنون دانشجوی دکترای کنترل دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و همچنین عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول است. زمینه تحقیقاتی ایشان تحلیل سیستم‌های کنترل و روش‌های بهینه‌سازی هوشمند است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- spring & summer 2015
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]

Multi-Objective Optimization and Design of Photovoltaic-Wind Hybrid System for Smart DC Microgrid

Abdolkarim Haji Kaseb, Amir Hosein Rahmani*

Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Abstract

Photovoltaic-wind hybrid systems are a particular type of energy source that can be used as a source of distributed generation to reduce power losses. There are two major limitations in designing these systems: availability of the electricity generated and the cost of the equipment. The purpose of this study is to determine the capacity and optimum design of the combined systems with energy sources and different strategies, as well as increase the amount of available index and reduce costs. In this design, the battery is used as a hybrid system backup to reduce the volatility of renewable energy sources. In this research, using a distributed generation source such as wind turbine, photovoltaic and battery, an intelligent optimization method based on multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm is used. The used method is simulated in MATLAB and implemented on a 27.6 kW system installed on Texas A&M University campus and the outcomes have been evaluated. By comparing the results of the suggested method with multi-objective genetic algorithm, it is observed that multi-objective particle swarm optimization algorithm provides better responses.

Keywords: distributed generation, photovoltaic, wind turbine, renewable energy.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.1.5.8]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-12]