کنترل منابع تولید پراکنده به منظور کاهش هزینه تولید برق با استفاده از روش ترکیبی فازی -گرانشی

سامان صباغ[۱]، فریده اله وردی [۲*]

۱ - گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

*۲- گروه برق، واحد اندیمشک، دانشگاه آزاد اسلامی، اندیمشک، ایران، allahverdi.f@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۷/۱۸

چکیده: گسترش شهرهای بزرگ، تقاضای روزافزون مصرف برق، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر، ایجاد بازار برق، هزینه بالای ایجاد شبکه‌های الکتریکی جدید و بسیاری مسائل دیگر سبب شده که استفاده از نیروگاه‌های پراکنده در سیستم قدرت افزایش یابد؛ بنابراین با افزایش سهم تولیدات پراکنده در تأمین انرژی الکتریکی، برنامه‌ریزی استفاده از این واحدها از مسائل مهم در برنامه‌ریزی توسعه تولید و شبکه‌های توزیع به شمار می‌رود. نیروگاه‌های بادی و خورشیدی از مهم‌ترین منابع تجدید پذیری هستند که امروزه برای تولید انرژی الکتریکی از آن‌ها استفاده می‌شود اما این منابع تا حدودی غیرقابل‌پیش‌بینی هستند و همچنین توان تزریقی آن‌ها به شبکه دارای نوسان است. در این سیستم‌ها معمولاً از سیستم‌های ذخیره کننده انرژی استفاده می‌شود تا در صورت افت توان آن را جبران کنند و یا در صورت افزایش توان، انرژی را در خود ذخیره کنند تا در مواقع نیاز به شبکه توان تزریق نمایند. استفاده همزمان از چند منبع تولید پراکنده باید به‌گونه‌ای باشد که هزینه تولید و میزان تلفات حداقل باشد. طول عمر باتری‌هایی که در این موارد مورداستفاده قرار می‌گیرند به تعداد شارژ و دشارژها و فرکانس جریان عبوری از آن‌ها کاملاً وابسته است. پس طول عمر باتری مورداستفاده نیز می‌تواند یکی از پارامترهای تأثیرگذار در نحوه برنامه‌ریزی این سیستم برای تولید باشد. در این تحقیق یک شبکه با سه واحد توربین بادی و سه واحد تولید توان خورشیدی و سه واحد باتری در نظر گرفته می‌شود. این سیستم با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی گرانشی مبتنی بر منطق فازی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌شوند که هزینه تولید و میزان تلفات حداقل شود و در کنار آن عمر باتری نیز افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدید پذیر، نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی، سیستم تولید ترکیبی، روش گرانشی مبتنی بر منطق فازی.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های سیستم قدرت که اکثر مشتریان صنعت برق در آنجا قرار دارند، سیستم توزیع است. مطالعات بهره‌برداری در شبکه توزیع شامل مطالعات اتوماسیون، قابلیت اطمینان، قابلیت اعتماد، کیفیت توان، تلفات و... است. برای برآورده کردن اهداف مختلف ادوات متفاوتی در شبکه توزیع بکار برده می‌شوند. یکی از این ابزار و ادوات تولید پراکنده[۱] است که وظیفه آن تولید توان الکتریکی است[۱-۵]. در عصر حاضر به دلایل متعددی از جمله گرایش به سمت انرژی‌های پاک[۲] و سازگار با محیط‌زیست، محدودیت‌های محیطی و جغرافیای تولید، تولید در حال تغییر ماهیت به تولید پراکنده است. در اکثر موارد تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع جایگذاری می‌شود زیرا باعث بهبود کیفیت توان، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات می‌شود؛ مهم‌ترین تولیدات پراکنده شامل نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی، توربین گازی احتراقی، توربین‌های کوچک است.

این تولیدات پراکنده هرکدام دارای مشخصات متعددی هستند و مزایا و معایب خاصی دارند. نیروگاه‌های بادی و خورشیدی دارای محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی هستند [۶و۴]. بقیه آن‌ها به‌غیراز انرژی بیومس به محیط وابستگی زیادی ندارند و قابل‌نصب در بسیاری

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

از مکان‌ها هستند. یکی از مواردی که تولید پراکنده بر روی آن تأثیر مستقیمی دارد تلفات شبکه توزیع است. با توجه به اینکه ماهیت تولید پراکنده تولید انرژی الکتریکی است، باعث کاهش تلفات در شبکه توزیع می‌شود. در گذشته به‌وسیله روش‌های مختلفی سعی در کاهش تلفات شده است که ازجمله آن‌ها خازنگذاری و بازآرایی شبکه توزیع بوده است[۶-۸]. با رشد و توسعه صنعت برق و نیاز هر چه بیشتر به تولید توان به‌صورت پراکنده ریز شبکه‌ها شکل‌گرفته‌اند. امروزه در بین منابع تولید پراکنده نیروگاه‌های بادی و خورشیدی بسیار موردتوجه قرارگرفته‌اند و سهم قابل‌توجهی از انرژی سیستم قدرت را به خود اختصاص داده‌اند. یک توربین بادی[۳] شامل یک روتور، پره‌های توربین، ژنراتور، وسایل مکانیکی مبدل سرعت و نیرو، شفت و درایور ژنراتور است. توربین‌های بادی مدرن می‌توانند به‌تنهایی یا به‌صورت مزرعه‌های بادی و دسته‌جمعی انرژی الکتریکی را تولید نمایند. تعداد پره‌های توربین بادی عموماً دو یا سه پره است که هرکدام ۱۰ تا ۳۰ متر طول دارد. میزان توان نامی توربین‌های بادی امروزه تا ۵ مگاوات می‌رسد. این نوع تولید انرژی هیچ آلودگی و مواد زائدی ایجاد نمی‌کند اما با توجه به اینکه سرعت باد متغیر است، توان تولیدی توربین بادی نیز تغییر می‌کند و همچنین در هر ناحیه‌ای امکان پیاده‌سازی آن نیست[۹و۱۰]. شبکه‌های خورشیدی مجموعه‌ای از سلول‌های خورشیدی[۴] می‌باشند که انرژی خورشید را به طول مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نمایند. با اتصال این آرایه‌ها به‌صورت سری موازی یک نیروگاه خورشیدی ایجاد می‌شود که می‌تواند برق تولید کند. این نوع تولید انرژی برای نقاط دورافتاده بسیار مناسب است و نیاز به تعمیر و نگهداری کمی دارد اما شرایط جوی و جغرافیایی محیط و میزان نور خورشید روی مقدار تولید توان آن تأثیر می‌گذارد. در کنار این منابع تولید انرژی وسایل ذخیره کننده انرژی نیز استفاده می‌شوند. این وسایل با ذخیره انرژی در شرایط خاص و تزریق آن به شبکه در مواقع لزوم باعث بهبود کیفیت توان می‌شود اما هزینه پیاده‌سازی این سیستم بالاست و نرخ تعمیرات آن‌ها زیاد است. باتری‌ها نقش اساسی در سیستم‌های ذخیره انرژی الکتریکی و سیستم‌های تغذیه پشتیبان دارا هستند. ازآنجاکه در چنین سیستم‌هایی عمر باتری‌ها نسبت به سایر تجهیزات مورداستفاده بسیار کوتاه‌تر است و هزینه تحمیلی تعویض آن‌ها به‌گونه‌ای است که افزایش عمر باتری‌ها به هر اندازه‌ای بسیار باارزش است. در سیستم‌های ذخیره انرژی به‌منظور بهبود راندمان لازم است بتوان حداکثر انرژی قابل حصول از منبع انرژی را ذخیره نمود. به‌این‌ترتیب در یک سیستم ذخیره انرژی خورشیدی هر روشی که بتواند منجر به افزایش راندمان شارژ گردد قادر است انرژی بیشتری ذخیره کند و به‌بیان‌دیگر در یک ظرفیت ذخیره مشخص با افزایش راندمان شارژ می‌توان هزینه کل سیستم را کاهش داد [۱۵-۱۲].

در [۱۶] تاثیر ژنراتورهای تولید پراکنده بر تلفات توان، سطح ولتاژ، حفظ توان و امکان تنظیم فرکانس و جریان اتصال کوتاه در سیستم قدرت نشان داده شده است. معیارهای بهینه‌سازی، شرایط محدود کننده اصلی و همچنین روش‌هایی برای حل مساله بهینه‌سازی بررسی شده است.

در [۱۷] روشی برای بهینه کردن پارامترهای تولید پراکنده مبتنی بر اینترنت اشیا و فازی در شبکه برق ارائه شده است.

ابتدا یک مدل تولید پراکنده مبتنی بر اینترنت اشیا ایجاد می شود و روابط آن تعیین می شود و سپس معیارهای ارزیابی و محدودیت های تولید پراکنده برای به حداکثر رساندن سود بازار مشخص می شوند و در نهایت مدل تطبیقی با استفاده از خوشه بندی فازی و بدست آوردن پارامترهای بهینه اولید پراکنده شبکه ایجاد می شود.

ازجمله روش‌های فرا ابتکاری که در حل مسئله قدرت به کار گرفته‌شده‌اند می‌توان به روش ژنتیک[۵] اشاره کرد. اساس عملکرد این روش از رفتار تکاملی موجود در طبیعت الهام گرفته‌شده است. این روش دارای سرعت بالایی است اما ممکن است به‌جای رسیدن به بهینه سراسری[۶] در بهینه محلی[۷] گرفتار شود. روش دیگر، روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات[۸] (PSO) است [۱۸]. در این روش برای رسیدن به پاسخ بهینه از حرکت دسته‌جمعی پرندگان و جانوران الهام گرفته‌شده است. این روش سرعت بالایی در رسیدن به جواب دارد اما ایراد آن این است که به‌تنهایی نمی‌توان از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید (دارای قید) استفاده کرد و در این‌گونه مسائل باید روش PSO با سایر روش‌ها ترکیب شود. روش تبرید شبیه‌سازی‌شده[۹] (SA) با شبیه‌سازی نحوه خنک کردن فلزات در حل مسائل بهینه‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرد[۱۹و ۲۰]. روش جست‌وجوی ممنوع[۱۰] (TS) روشی دیگر است که می‌کوشد از گیر افتادن مسئله در پاسخ‌های بهینه محلی جلوگیری کند اما همزمان ممکن است به پاسخ بهینه سراسری نیز دست پیدا نکند[۲۱]. بهینه‌سازی کلونی مورچگان[۱۱] (ACO) با شبیه‌سازی رفتار مورچه‌ها در یافتن غذا روشی کارآمد برای حل مسائل بهینه‌سازی است. روش منطق فازی[۱۲] نیز روشی دیگر در حل مسئله بهینه‌سازی است که بر پایه مفهوم فازی و کمی کردن پارامترهای کیفی بنا نهاده شده است[۲۲]. روش دیگر، برنامه‌ریزی تکاملی[۱۳] (EP) است که بسیار شبیه روش ژنتیک عمل می‌کند و تفاوت آن در نحوه تکامل اعضای مجموعه است[۲۳]. روش دیگر که در این حوزه مورداستفاده قرار می‌گیرد استفاده از سیستم‌های خبره[۱۴] (ES) است. این سیستم‌ها با استفاده از اطلاعات کارشناسان مجرب سعی دارد رفتار این کارشناسان را تقلید کرده و بدین ترتیب پاسخ بهینه مسئله را پیدا کند. روش‌های حل فراابتکاری معمولاً دارای سرعت زیادی در حل مسئله هستند، اما ایراد اصلی آن‌ها این است که ممکن است کیفیت پاسخ به‌دست‌آمده، رضایت‌بخش نباشد؛ زیرا ممکن است به‌جای یافتن پاسخ نزدیک به بهینه سراسری، پاسخ بهینه محلی به دست آید که با پاسخ بهینه سراسری، تفاوت زیادی داشته باشد[۲۴]. روش جستجوی گرانشی مبتنی بر نیروی گرانشی نیوتونی بین جرم‌ها است. این روش بیان می‌دارد که عامل‌ها همچون جرم‌هایی در فضا هستند که هر چه جرمشان بزرگ‌تر باشد کمتر حرکت می‌کنند و بیشتر، دیگر جرم‌ها را به سمت خود

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

می‌کشند. در این روش جرم بیشتر نماینده شایستگی[۱۵] بیشتر است [۱۰و۲۵].

در [۲۶] مدل شبکه توزیع و ذخیره انرژی بهینه را با وجود عدم قطعیت بر اساس الگوریتم جستجوی گرانشی بهبودیافته (IGSA) ارائه می‌کند. در طول مرحله جستجو، IGSA از یک استراتژی آزمون و خطا برای به روز رسانی بهترین عامل استفاده می کند.

در این تحقیق ابتدا به عملکرد یک شبکه که شامل سه واحد توربین بادی و سه واحد تولید توان خورشیدی و سه واحد باتری است پرداخته شده است و این واحدها به‌گونه‌ای کنترل می‌گردد که هزینه بهره‌برداری از شبکه کاهش یابد و میزان تلفات در شبکه نیز کمتر شود. این برنامه‌ریزی به‌گونه‌ای انجام می‌گردد که باتری‌ها کمتر شارژ و دشارژ شوند. کاهش میزان شارژ و دشارژ این باتری‌ها باعث افزایش طول عمر باتری‌ها و کاهش هزینه نگهداری آن‌ها می‌شود. همچنین با این کار سرعت محاسبات افزایش می‌یابد و دقت در تخمین جواب‌های مسئله بیشتر می‌شود. لذا برای بهینه‌سازی از ترکیب روش‌های جستجوی گرانشی و منطق فازی استفاده شده است. در این تحقیق ثابت گرانشی در هر تکرار توسط تابع فازی بهینه‌سازی می‌گردد تا اهداف عنوان‌شده محقق گردد. نهایتاً باید دید عملکرد متد جستجوی گرانشی در مقایسه با جستجوی گرانشی مبتنی بر منطق فازی چگونه بوده است. انتظار می‌رود که متد پیشنهادی سریع‌تر و دقیق‌تر به مقدار نهایی بهینه‌سازی همگرا شود. ریز شبکه‌ای که در این تحقیق در نظر گرفته‌شده است مربوط به منطقه Zhangbei در چین است. بهینه‌سازی توسط روش نوین GSA [۱۶] انجام خواهد پذیرفت. همان‌طور که گفته شد به دلیل آن‌که روش‌های فراابتکاری در پاره‌ای از مواقع و به‌خصوص مواقعی که جمعیت زیاد باشد دچار سردرگمی می‌شود، به روش GSA سیستم فازی[۱۷] را اضافه خواهیم کرد. خروجی سیستم فازی ثابت گرانش است. ازآنجاکه روش GSA به پارامتر ثابت گرانش حساسیت زیادی دارد، سیستم فازی موردنظر بایستی مطابق با منطق صحیح و کارآمد برنامه‌ریزی شود. ورودی سیستم فازی مقدار تابع برازش[۱۸] در هر مرحله و میزان شاخص پراکندگی[۱۹] می‌باشند. هرچه میزان ثابت گرانش بزرگ‌تر باشد روش توانایی جستجوی بیشتر و هرچه مقدار آن کوچک‌تر باشد، روش بهره‌وری بیشتری از خود به نمایش می‌گذارد. درنهایت مقادیر استخراج‌شده از روش بهینه‌سازی بر روی شبکه مورد آزمایش شبیه‌سازی می‌شوند و حاصل آن باحالتی که تنها از روش GSA استاندارد استفاده شود مقایسه می‌گردد.

شبکه مورد بررسی در این پژوهش شامل چند مزرعه بادی، آرایه‌های فوتوولتائیک و واحدهای ذخیره انرژی (باتری) و همچنین سیستم کنترل هماهنگ واحدها است. در درجه اول واحدهای تولید باد و خورشیدی وظیفه تولید توان را به عهده دارند و از همین رو اجزای اصلی شبکه محسوب می‌شوند.

تجهیزات را می‌توان به دو گروه ازنظر متصل شدن به فیدر تقسیم کرد. یکی آن‌هایی که توسط مبدل نوع ون[۲۰] به فیدر متصل می‌شوند و دیگری آن‌هایی که به‌صورت مستقیم به باس DC متصل می‌شوند. از بانک باتری در دمای ثابت به‌عنوان سامانه ذخیره انرژی استفاده می‌شود. چندین جعبه باتری به‌صورت سری و موازی با یکدیگر تشکیل بانک خازنی را می‌دهند که وظیفه اتصال به باس DC را دارد. باس DC از طریق اینورتر با شبکه قدرت رابطه دارد. سیستم کنترل هماهنگ واحدها بر اساس دستورالعمل شبکه قدرت، استراتژی تولید توان واحدهای سمت ریز شبکه را تعیین می‌کند [۱۰]. با توجه به نفوذ فزاینده انرژی‌های نو در شبکه‌های قدرت، لازم است که این منابع تولید پراکنده به‌گونه‌ای به شبکه متصل شوند که موجب ثبات بیشتر شبکه بشوند. به‌منظور ملاحظات اقتصادی لازم است که توان خروجی نیروگاه‌های بادی و هم‌چنین نحوه شارژ و دشارژ باتری‌ها به‌گونه‌ای کنترل شوند که هزینه‌ها بهینه شوند. در این مطالعه عملکرد بهینه واحدها شامل بهینه‌سازی قدرت واحدهای تولید توان و هم‌چنین بهینه‌سازی استراتژی شارژ و دشارژ باتری‌ها در حالتی که خروجی ثابت است، بررسی می‌کند. همچنین بهینه‌سازی می‌بایست برنامه‌ریزی شبکه را به سمتی متمایل کند که ظرفیت چرخان شبکه کاهش یابد و درعین‌حال ثبات شبکه را افزایش دهد. کاهش ظرفیت چرخان شبکه منجر به افزایش کیفیت انرژی‌های نو در شبکه می‌شود. از سوی دیگر بهینه‌سازی کنترل هماهنگ واحدهای ترکیبی را به‌گونه‌ای انجام دهد که سیستم کمترین میزان شروع-توقف و همچنین کمترین میزان شارژ و دشارژ روی باتری داشته باشد.

۲-تابع هدف

منظور از بهینه‌سازی این سیستم ترکیبی، به حداقل رساندن هزینه تولید توان C در رابطه (۱) است که در آن $P_{Load}(t)$ توانی است که بار از این شبکه می‌کشد که برابر مجموع توان‌های هر یک از منابع موجود در شبکه است. همچنین C_{om}، C_{dep}، c_{equ} و C_{pun} به ترتیب هزینه‌های نگهداری بهره‌برداری، هزینه اتهلاک تجهیزات، هزینه کاهش طول عمر باتری و هزینه جریمه (برای اطمینان از خروجی ثابت در صورت ناتوانی واحد تولید توان) در طول دوره جستجو هستند. ضرایب از روابط زیر قابل محاسبه هستند.

همچنین در رابطه (۲) P_{WT}، P_{PV} و P_{BAT} به ترتیب توان خروجی نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی و باتری در دوره زمانی t هستند و C_{WT}^{OM} و C_{PV}^{OM} و C_{BAT}^{OM} به ترتیب هزینه نگهداری بهره‌برداری نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی، و بانک باتری هستند. در رابطه (۳) عبارت C_{inst}^{i} و L_i به ترتیب هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و عمر پیش‌بینی‌شده تجهیزات هستند. در رابطه(۴)، ΔP اختلاف توازن توان بین توان تولیدشده توسط سیستم ترکیبی و بار شبکه است. w ضریب جریمه مربوط به اختلاف توان شبکه است. عبارت C_{equ} هزینه اضافی مربوط به کاهش طول عمر باتری‌ها است. این کاهش طول عمر متناسب با نوع شارژ و دشارژ باتری است. منظور از نوع شارژ و دشارژ، میزان شارژ و دشارژ شدن و همچنین دفعات شارژ و دشارژ است. هزینه کاهش

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

طول عمر باتری به‌صورت زیر به دست می‌آید. N_{ctf} بیان‌کننده انتظار کم شدن عمر باتری است.

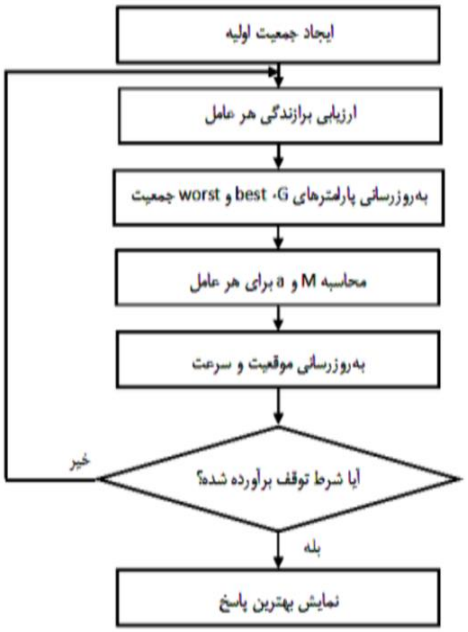
$$\min C = [C_{OM} + C_{dep} + C_{equ} + C_{pum}] / \sum_{t=1}^{24} P_{load}(t) \quad (۱)$$

$$C_{OM}(P_{ref}) = \sum_{t=1}^{T} [C_{WT}^{OM}(P_{WT}(t)) + C_{PV}^{OM}(P_{PV}(t)) + C_{BAT}^{OM}(P_{BAT}(t))] \quad (۲)$$

$$C_{dep} = \sum_{i=1}^{1} [\frac{C_{inst}^{i}}{L_i \times 365 \times 24}] \quad (۳)$$

$$C_{pnu} = \omega \int \Delta P dt \quad (۴)$$

$$C_{eq} = Cinst \times N_{ctf} \quad (۵)$$



شکل (۱): فلوچارت روش GSA[۲۶]

۳-ترکیب الگوریتم فازی و گرانشی

آنچه در این مقاله به‌عنوان الگوریتم ترکیبی فازی گرانشی معرفی‌شده است، درواقع الگوریتم بهینه‌یابی گرانشی مبتنی بر کنترل فازی اندازه جمعیت است که باهدف جلوگیری از ایستایی بخش عمده‌ای از جرم‌ها در برخی از تکرارها شکل می‌گیرد. الگوریتم GSA استاندارد را در برخی از تکرارها تا حد فراوانی دچار اختلال در همگرایی و در برخی از موارد دچار واگرایی‌های لحظه‌ای می‌کند. الگوریتم GSA در برخی از توابع به‌شدت تحت تأثیر تعداد تکرارهای الگوریتم است که این خود به علت تأثیر پارامتری تعداد تکرار نهایی در همگرا کننده‌ی گرانشی است. البته نباید از همگرایی بسیار مناسب و توانمندی نهایی الگوریتم GSA چشم‌پوشی کرد. همگرایی در پاره‌ای از مواقع سریع‌تر و یکنواخت‌تر روش پیشنهادی در تعداد تکرارهای بسیار اندک خواهد بود.

۳-۱- ثابت گرانش G(t)

جهت کنترل ایستایی جمعیت نیاز به تعریف پارامتری است که به‌عنوان ورودی یکی از کنترل‌کننده‌های فازی مورداستفاده قرار گیرد.G(t) در GSA استاندارد، رابطه‌ای نمایی در نظر گرفته‌شده است که درواقع عامل همگرا کننده‌ی الگوریتم در طی سپری شدن تکرارهای الگوریتم می‌باشد. مقادیر بزرگ برای این پارامتر باعث تقویت توانایی جستجوی الگوریتم و مقادیر کوچک آن باعث افزایش توانایی بهینه یابی GSA می‌شود.

۳-۲-طراحی سیستم فازی برای کنترل متغیر G(t)

اولین گام در طراحی یک سیستم فازی، انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌های مناسب با توجه به شرایط مسئله برای سیستم فازی است. با توجه نکات اشاره‌شده در مورد همگرایی الگوریتم GSA استاندارد و نیز نیاز مبرم این الگوریتم جهت همگرایی یکنواخت بسته به شرایط جمعیت، در این مقاله یک ساختار فازی جهت کنترل متغیر همگرایی الگوریتم GSA در نظر گرفته‌شده است. در سیستم فازی F_{itt} یا همان مقدار نرمالیزه شده برازندگی تابع هدف است که به‌صورت زیر قابل‌محاسبه خواهد بود[۱۰].

$$Fitt = \frac{F_{best} - F_{min}}{Fmin_{max}} \quad (۶)$$

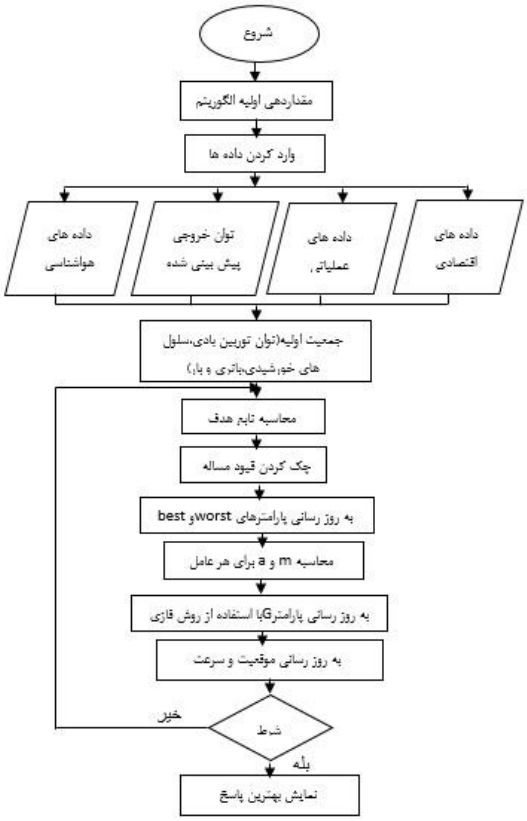
مقادیر F_{max} و F_{min} به ترتیب حداقل و حداکثر برازندگی مورد تعریف برای عامل جرم در دامنه‌ی فضاست که هرگاه خارج آن قرار گیرد درواقع خارج از فضای مسئله است. ورودی دوم مقدار t یا همان تکراری است که سیستم در آن قرار دارد. خروجی مقدار α است که به‌صورت ثابت فرض شده است. با توجه به تنوع بی‌شمار توابع عضویت در یک سیستم فازی، انتخاب‌های بیشماری برای توابع عضویت در سیستم‌های فازی موردنظر وجود دارد. اما آنچه که به کارایی بهتر روش پیشنهادی منجر می‌شود بیشتر به خاطر استخراج قواعد مؤثر و منطقی در کنترل پارامترهای تأثیرگذار در فرایند جستجوی GSA است. یعنی دانش موجود و مبهم در مکانیسم جستجو در GSA منجر به ایجاد یکسری قواعد فازی (و معتبر برای هر نوع استفاده ازGSA) شده است که در هر تکرار می‌تواند با کنترل پارامترهای آن نسبت به ارزیابی جستجوی سراسری و محلی مبادرت نماید.سیستم فازی مطرح‌شده با دریافت ورودی‌های بیان‌شده، خروجی‌های مربوطه را کنترل کرده که به‌تبع آن بر رفتار الگوریتم GSA تأثیر می‌گذارند. بر طبق آزمایش‌های متعدد انجام‌شده برای سیستم فازی پیشنهادی ۹ قانون در نظر گرفته شده است که با توجه به عملکرد پارامترهای ورودی و خروجی الگوریتم تنظیم‌شده‌اند. این تنظیم پارامتریک با توجه به شرایط الگوریتم در

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

مراحل اولیه جستجو و نیز با توجه به لزوم جستجوی نقاط اولیه‌ی جدید در فضای مسئله در مراحل پایانی با افزایش توان بهره‌وری و باهدف بهبود جواب‌های دیده شده صورت می‌گیرد که تأثیر آن را می‌توان در جستجوی محلی، جستجوی سراسری، سرعت همگرایی و بهینه یابی در تعداد گام‌های تکرار کمتر به وضوح مشاهده کرد.

۴-الگوریتم روش پیشنهادی

الگوریتم کلی روش پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده‌شده است. در مرحله اول متغیرهای الگوریتم GSA مقداردهی می‌شوند. این مقادیر عبارت است از جمعیت نمونه N و ثابت‌های α، ثابت گرانش G_0 ، ضرایب یادگیری و.... این الگوریتم نیاز به اطلاعات و داده‌های ورودی دارد که عبارت است از: داده‌های هواشناسی (سرعت باد، میزان تابش و دما)، میزان تقاضای توان، اطلاعات عملیاتی مربوط به هر یک از واحدها و اطلاعات اقتصادی. جمعیت اولیه در این پژوهش توان‌های توربین بادی، توربین خورشیدی و باتری است.



شکل (۲): الگوریتم کلی روش پیشنهادی

رابطه (۷) توان پنل‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. در این رابطه I_r نشان‌دهنده میزان تابش خورشید و S مساحت پنل های خورشیدی، η_{pv} راندمان پنل‌های خورشیدی و η_{inv} راندمان اینورتر است.

$$p^{pv}(t) = I_r(t) \times S \times \eta^{pv} \times \eta_{inv} \qquad (۷)$$

رابطه(۸) توان توربین بادی را نشان می‌دهد. در این رابطه $v(t)$ سرعت باد را نشان می‌دهد[۱۰].

$$P_w(t) = \begin{cases} 0 & v(t) < v_{cut-in} \\ p_w^{rated} \cdot \frac{v(t)-v_{cut-in}}{v_{rated}-v_{cut-in}} & v_{ciu-in} \le v(t) < v^{rated} \\ p_w^{rated} & v^{rated} \le v(t) < v_{cut-out} \\ 0 & v_{cut-out} \le v(t) \end{cases} \qquad (۸)$$

سیستم مورد نظر برای این روش دارای ۳ مزرعه بادی، ۳ مزرعه خورشیدی و ۳ بانک باتری است. از آنجا که میزان باد و میزان تابش خورشید در روزها و فصل‌های مختلف سال مشابه نیست چهار حالت مختلف برای شبیه‌سازی در نظر گرفته‌شده است. در حالت اول فرض شده است که میزان تابش و شدت باد بالا است. در شبیه‌سازی دوم مقدار سرعت باد بالاست اما تابش ضعیف است. در شبیه‌سازی سوم شدت تابش بالا و سرعت باد کم است و در شبیه‌سازی چهارم سرعت باد و شدت تابش هردو کم است. مشخصات اقتصادی مزرعه بادی در جدول ۱ ارائه گردیده است. همچنین در جدول ۲ نیز مشخصات فنی واحدهای بادی نشان داده‌شده است.

جدول (۱): مشخصات اقتصادی مزارع بادی [۱۰]

مزرعه بادی	هزینه احداث (106 $)	هزینه بهره‌برداری و تعمیرات ($/MW-year)	عمر مفید	تعداد توربین‌ها	حداکثر توان (MW)
WF_1	۱/۳۷	۸/۲	۱۵	۴۰	۸۰
WF_2	۱/۳۷	۸/۲	۱۵	۴۰	۸۰
WF_3	۱/۳۷	۸/۲	۱۵	۴۱	۸۲

جدول(۲): مشخصات فنی توربین‌های بادی [۱۰]

توان نامی (MW)	سرعت cut in (m/s)	سرعت cut out (m/s)	سرعت نامی (m/s)
۲	¾	۲۵/۶	۱۰/۸

در این سیستم ۳ مزرعه خورشیدی نیز وجود دارد که مشخصات اقتصادی آن‌ها در جدول (۳) ارائه گردیده است. همچنین در جدول (۴) نیز مشخصات فنی واحدهای خورشیدی نشان داده‌شده است. توان نامی هریک از این واحدها حدود ۰/۵ مگاوات است.

جدول(۳): مشخصات اقتصادی مزارع خورشید

مزرعه خورشیدی	هزینه احداث (10^5 $)	هزینه بهره‌برداری و تعمیرات $/MW-year)	عمر مفید	تعداد واحدهای خورشیدی	حداکثر توان (MW)
PV_1	۰/۷۵	۳/۷	۲۰	۵۴	۲۷
PV_2	۰/۷۵	۳/۷	۲۰	۵۴	۲۷
P_{V3}	۰/۷۵	۳/۷	۲۰	۵۴	۲۷

جدول(۴): مشخصات فنی پنل‌های خورشیدی [۱۰]

توان نامی (MW)	بازده (٪)	مساحت پنل (m^2)	ولتاژ مدار باز پنل	جریان اتصال کوتاه
۰/۵	۱۲	۱/۹۳	۴۴/۶	۸/۳۳

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۵) و (۶) نیز مشخصات اقتصادی و فنی باتری‌ها را نشان می‌دهد.

جدول(۵): مشخصات اقتصادی باتری‌ها [۱۰]

بانک باتری	هزینه احداث (10^6 $)	هزینه بهره‌برداری و تعمیرات ($/MW-year)	عمر مفید	تعداد باتری‌ها	حداکثر و حداقل توان (MW)
BAT_1	۰/۹۵	۱۰/۹	۵	۲۴	۲۴و ۰
BAT_2	۰/۹۵	۱۰/۹	۵	۲۴	۲۴و ۰
BAT_3	۰/۹۵	۱۰/۹	۵	۲۴	۲۴و ۰

جدول(۶): مشخصات فنی باتری‌ها [۱۰]

توان نامی (MW)	ماکزیمم ظرفیت (MWh)	بازده شارژ و دشارژ (٪)	SOCmin (٪)	SOC-max (٪)	SOC_initial (٪)
۱	۱	۹۰ و ۹۰	۱۰	۹۵	۵۵/۵

۵- شبیه‌سازی

۵-۱- شرایط مختلف در انجام شبیه سازی

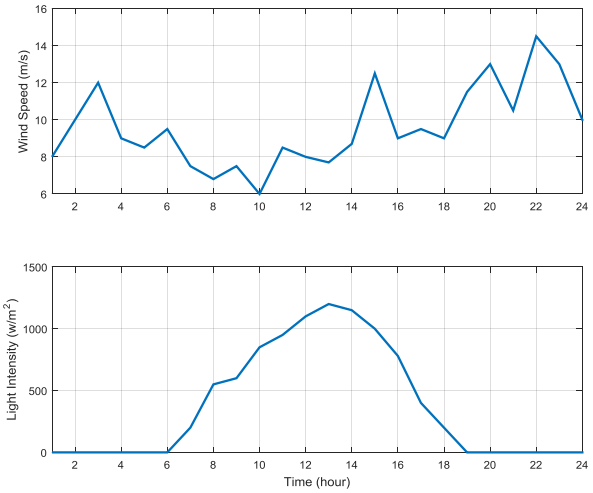
در طول فصل تابستان تابش بالاست و میزان انرژی تولیدی مزارع خورشیدی افزایش می‌یابد اما این تولید در فصل بهار با توجه به افزایش بارندگی‌ها کم می‌شود. همچنین برای منابع بادی نیز معمولاً در طول تابستان شدت باد کم است اما در فصل پاییز شدت باد افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که تولید انرژی از منابع بادی افزایش یابد.برای آنکه حالت‌های مختلف در این مقاله در نظر گرفته‌شده باشد شبیه‌سازی برای ۴ شرایط اجرا می‌شود. در شبیه‌سازی اول شرایطی در نظر گرفته‌شده است که در آن هم میزان تابش بالاست و هم شدت باد مناسب است. حالت دوم وضعیتی را در نظر گرفته است که در آن شدت باد بالا است اما مقدار تابش کم است. در شبیه‌سازی سوم شرایطی در نظر گرفته می‌شود که تابش بالا است اما شدت باد کم است. و در حالت چهارم شرایطی در نظر گرفته‌شده است که شدت تابش و باد هردو کم است. این حالت‌ها در جدول ۷ نشان داده‌شده است.

جدول(۷): حالت‌های مختلف شبیه‌سازی

شبیه‌سازی اول	روزهای با منابع بادی و خورشیدی فراوان
شبیه‌سازی دوم	روزهای با منابع بادی فراوان و کمبود در منابع خورشیدی
شبیه‌سازی سوم	روزهای با منابع خورشیدی فراوان و کمبود در منابع بادی
شبیه‌سازی چهارم	روزهای با کمبود در منابع بادی و خورشیدی

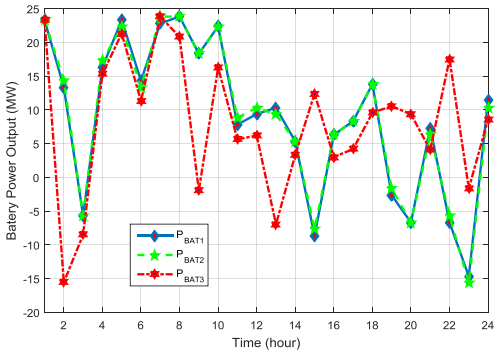
۵-۲- نتایج شبیه سازی

در شبیه‌سازی اول فرض شده است که میزان تابش و شدت باد بالا است. شکل ۳ تغییرات سرعت باد و میزان تابش خورشید را در طول ۲۴ ساعت نشان می‌دهد که در این شبیه‌سازی از این اطلاعات استفاده شده است.



شکل (۳): پیش‌بینی سرعت باد و میزان تابش برای هر ساعت از روز در سناریو ۱

برای انجام بهینه‌سازی مربوطه از الگوریتم گرانشی مبتنی بر منطق فازی با تعداد ۶۰ نمونه اولیه و ۱۰۰ تکرار استفاده‌شده است. میزان تابع هدف در این حالت برابر ۰/۱۱۱۹ بدست آمده و سایر نتایج بدین‌صورت است که کل هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر، نگهداری، کاهش عمر باتری‌ها، استهلاک و جریمه به ترتیب تقریباً برابر ۲۱۰۰ دلار ، ۲۳۰۰ دلار ، ۳۵۰۰ دلار و صفر است. توان‌های خروجی منابع مختلف باتری‌ها، خورشیدی و بادی در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده‌شده است. همچنین برای درک بهتر، این نتایج در هر ساعت در جدول (۸) نیز بیان‌شده است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است در زمان‌هایی که سرعت باد بالاست و یا شدت نور زیاد است باتری شماره ۱ و ۲ در حال شارژ شدن هستند و باتری ۳ نیز توان اندکی به شبکه می‌دهد. در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود که توان خروجی مزارع خورشیدی بسیار شبیه به منحنی تابش آنها است. با بالا رفتن میزان تابش سیستم به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده است که توان تولیدی مزارع بادی را تا جای ممکن جذب کند.

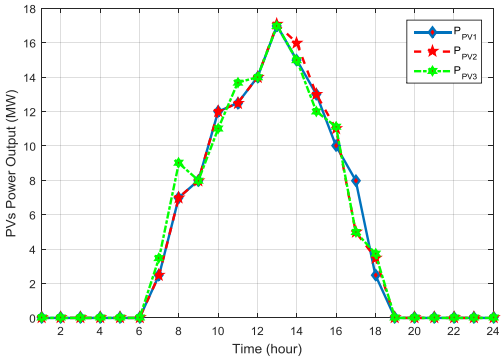


شکل (۴): توان خروجی باتری‌های مختلف در هر ساعت از سناریو ۱

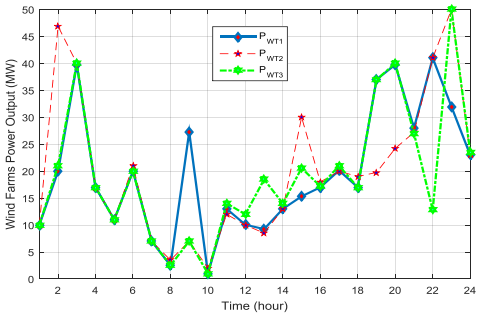
شکل (۶) توان خروجی نیروگاه‌های بادی را نشان می‌دهد. توان خروجی نیروگاه‌های بادی نیز تابعی از سرعت باد است، بنابرین منحنی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

توان خروجی این نیروگاه‌ها نیز باید مشابه منحنی سرعت باد باشد. در واقع در استفاده از انرژی‌هایی به مانند باد و خورشید، انرژی تولید می‌شود و سیستم باید قابلیت این را داشته باشد که بتواند از این انرژی استفاده کرده، آن را به بار برساند. پس در صورتی الگوریتم برنامه‌ریزی یه صورت درست کار می‌کند که بتواند برای توان‌های ورودی برنامه‌ریزی کرده و آن‌ها را به بار برساند. لذا باید منحنی توان‌های خروجی نیروگاه‌ها مشابه منحنی سرعت باد و شدت تابش شود که این موضوع در شکل‌های (۵) و (۶) کاملا واضح است.



شکل (۵) : توان خروجی مزارع خورشیدی مختلف در هر ساعت از سناریو ۱



شکل (۶) : توان خروجی مزارع بادی مختلف در هر ساعت از سناریو ۱

در این شکل‌ها مشاهده می شود که در هر ساعت نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و باتری‌ها به چه میزان توان به شبکه می‌دهند و یا از آن جذب می‌کنند. همانطور که مشاهده می شود الگوریتم گرانشی مبتنی بر منطق فازی توانسته است در هر لحظه سیستم را به گونه‌ای برنامه‌ریزی نماید که بتواند پاسخگوی بار مورد نیاز شبکه باشد.

۵-۳- مقایسه سناریوهای مختلف

خلاصه نتایج شبیه سازی برای هر چهار سناریو در جدول (۸) نشان داده شده است. روش پیشنهادی توانسته توان خوبی برای منابع تولید کند تا محدودیت ها کنترل گردند. همان‌گونه که مشخص است، در مواردی که کمبود منابع بادی وجود دارد، هزینه های تأمین بار بسیار بالاتر است که عمده این هزینه ها مربوط به بیشتر شدن شارژ و دشارژ باتری‌ها، کاهش عمر آن‌ها و به تبع آن افزایش هزینه تعمیر و نگهداری می باشد. هزینه جریمه هم در هر ۴ سناریو صفر شده است.

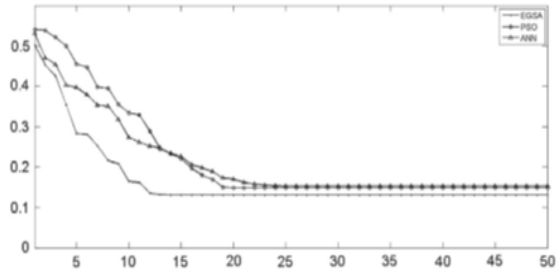
در ضمن در هریک از شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد که میزان توان تولیدی منابع توانسته است بار مورد نیاز شبکه را پاسخ‌گو باشد.

جدول (۸) :خلاصه نتایج شبیه‌سازی برای هر چهار سناریو

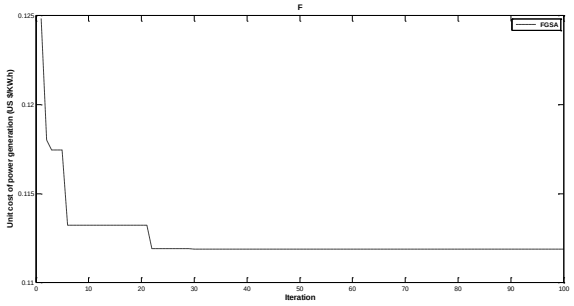
	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
هزینه تولید برق	۰/۱۱۱۹	۰/۱۱۴۵	۰/۱۱۴۸	۰/۱۱۶۴
هزینه بهره‌برداری و نگهداری (O&M) (دلار)	۲۱۰۰۶	۲۱۷۸۵	۲۱۴۴۳	۲۲۱۲۵
هزینه کاهش عمر باتری‌ها	۲۳۴۲	۲۱۸۴	۲۶۰۴	۲۲۹۷
هزینه استهلاک تجهیزات	۳۵۰۶	۳۵۰۶	۳۵۰۶	۳۵۰۷
هزینه جریمه	۰	۰	۰	۰

۵-۴-مقایسه با روش‌های دیگر

در این قسمت روش پیشنهادی این پژوهش که مبتنی بر روش گرانشی-فازی (FGSA) است با سه روش دیگر مقایسه شده است. این سه روش شامل روش‌های مبتنی بر شبکه های عصبی(ANN)، روش جستجوی پرندگان (PSO) و روش جستجوی گرانشی بهبود یافته (EGSA) هستند. شکل (۷) نتایج هزینه تولید برق را در سناریو ۱ با توجه به سه روش و روش پیشنهادی مقاله (گرانشی -فازی) نشان می-دهد. همان‌طور که در شکل‌ها واضح هست روش گرانشی –فازی در تعداد کمتری همگرا شده است. همچنین هزینه تولید توان که در واقع تابع هدف است و بر روی محور عمودی است نسبت به روش های دیگر کمتر شده است.



(a) نتایج هزینه تولید سه روش ANN، PSO و EGSA در سناریو ۱[۱۰]

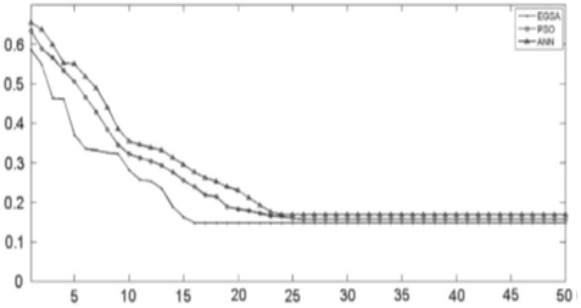


(b) نتایج هزینه تولید برق روش پیشنهادی FGSA در سناریو ۱

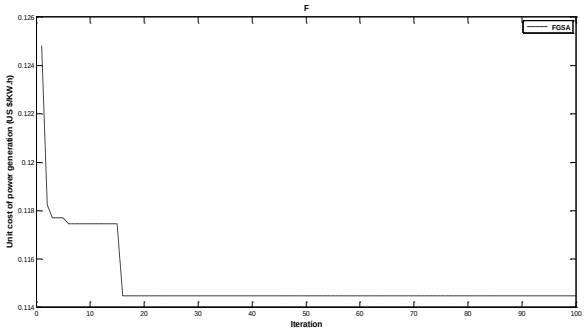
شکل (۷): توان خروجی مزارع بادی مختلف در هر ساعت از سناریو ۱

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

شکل‌های ۸ تا ۱۰ نتایج هزینه تولید برق را در سناریو های ۲ تا ۴ با توجه به سه روش مبتنی بر شبکه های عصبی(ANN)، روش جستجوی پرندگان(PSO) و روش جستجوی گرانشی بهبود یافته(EGSA) و روش پیشنهادی مقاله (گرانشی -فازی) نشان می‌دهند.

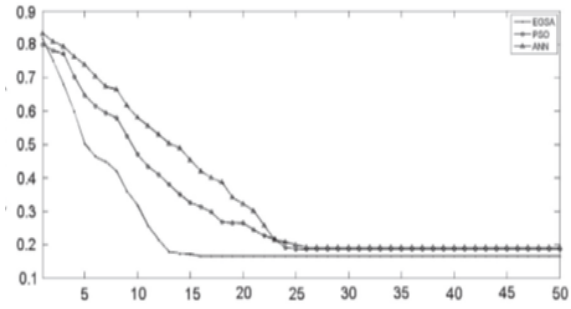


(a) نتایج هزینه تولید سه روش ANN، PSO و EGSA در سناریو ۲

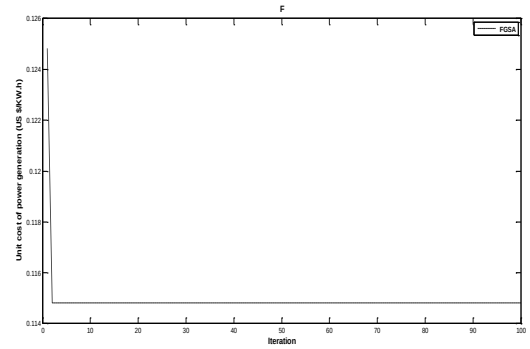


(b) نتایج هزینه تولید برق روش پیشنهادی FGSA در سناریو ۲

شکل (۸): مقایسه نتایج هزینه تولید برق در سناریو ۲

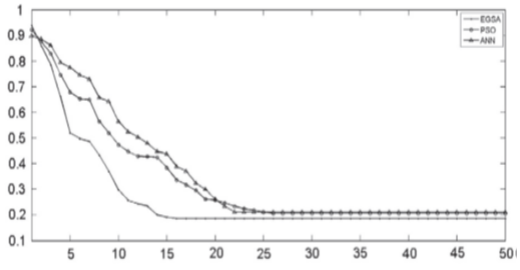


(a) نتایج هزینه تولید سه روش ANN، PSO و EGSA در سناریو ۳

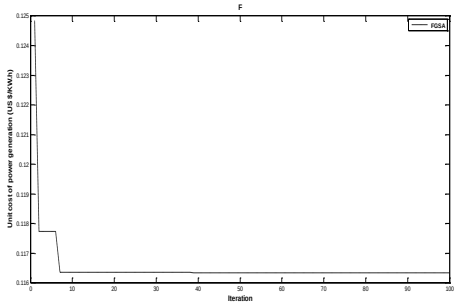


(b) نتایج هزینه تولید برق روش پیشنهادی FGSA در سناریو ۳

شکل (۹): مقایسه نتایج هزینه تولید برق در سناریو ۳



(a) نتایج هزینه تولید سه روش ANN، PSO و EGSA در سناریو ۴



(b) نتایج هزینه تولید برق روش پیشنهادی FGSA در سناریو ۴

شکل (۱۰): مقایسه نتایج هزینه تولید برق در سناریو ۴

در جدولهای (۹) و(۱۰) چهار سناریو روش پیشنهادی این پژوهش با روش‌های دیگر مقایسه می‌گردد. همان‌طور که از نتایج این جدول‌ها مشخص است، هزینه بهره‌برداری و نگهداری در سناریو ۲ نسبت به روش EGSA و ANN کاهش یافته است. در سناریو ۳ هم نسبت به روش ANNکاهش داشته است. در سناریو ۴ هم هزینه بهره‌بردای و نگهداری نسبت به سه روش دیگر با روند کاهشی روبرو بوده است. هزینه کاهش عمر باتری در هر ۴ سناریو کاهش خوبی نسبت به سه روش دیگر دارد. هزینه تولید برق هم در هر ۴ سناریو نسبت به سه روش دیگر کاهش یافته است. هزینه جریمه هم در هر ۴ سناریو صفر است. این نتایج نشان از برتری روش گرانشی-فازی نسبت به سه روش دیگر دارد.

۶- نتیجه‌گیری

سیستم مورد نظر شامل سه واحد توربین بادی، سه واحد تولید توان خورشیدی و سه واحد باتری می‌باشد. از اهداف این پژوهش کاهش هزینه تولید ریزشبکه، کاهش تلفات و افزایش طول عمر باتری بود که این سیستم با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی گرانشی مبتنی بر منطق فازی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شد که هزینه تولید و میزان تلفات حداقل شد و در کنار آن عمر باتری نیز افزایش یافت. شبیه‌سازی با نرم افزار MATLAB در چهار حالت مختلف انجام شد. در حالت اول فرض شد که میزان تابش و شدت باد بالا است. در شبیه‌سازی دوم مقدار سرعت باد بالاست اما تابش ضعیف است. در شبیه‌سازی سوم شدت تابش بالا و سرعت باد کم است و در شبیه‌سازی سوم سرعت باد و شدت تابش هردو کم است. نتایج نشان داد که روش ارائه‌شده از کارایی بالایی برخوردار است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۱۰): مقایسه روش پیشنهادی در سناریو ۳و ۴ با روش های دیگر

	سناریو ۳				سناریو ۴			
	ANN	PSO	EGSA	FGSA	ANN	PSO	EGSA	FGSA
هزینه بهره‌برداری و نگهداری (دلار)	۲۱۷۳۹	۲۰۴۸۳	۱۹۸۴۴	۲۱۴۴۳	۲۶۱۶۱	۲۴۷۳۰	۲۳۶۴۰	۲۲۱۲۵
هزینه کاهش عمر باتری‌ها(دلار)	۸۳۸۷	۸۰۰۴	۷۶۶۴	۲۶۰۴	۱۱۳۷۶	۱۰۵۹۱	۹۳۹۳	۳۸۳۳
هزینه تولید برق (دلار)	۰/۱۹۱	۰/۱۸۶	۰/۱۶۵	۰/۱۱۴۸	۰/۲۱۱	/۲۰۵	/۱۸۶	۰/۱۱۶۴
هزینه جریمه (دلار)	۱۸۱۹	۱۷۸۶	۱۷۶۸	۰	۵۸۸۰	۵۶۴۴	۵۰۴۳	۰

جدول (۹): مقایسه روش پیشنهادی در سناریو ۱و ۲ با روش های دیگر

	سناریو ۱				سناریو ۲			
	ANN	PSO	EGSA	FGSA	ANN	PSO	EGSA	FGSA
هزینه بهره‌برداری و نگهداری (دلار)	۱۹۸۴۱	۱۹۴۹۵	۱۸۷۹۶	۲۱۰۰۶	۲۱۸۲۷	۲۱۲۳۷	۲۲۴۱۴	۲۱۷۸۵
هزینه کاهش عمر باتری‌ها(دلار)	۷۰۱۰	۶۸۵۴	۶۲۲۶	۲۳۴۲	۷۰۱۵	۶۹۹۶	۶۶۸۷	۲۱۸۴
هزینه تولید برق (دلار)	۰/۱۵۳	۰/۱۴۹	۰/۱۳۱	۰/۱۱۱۹	۰/۱۶۸	۰/۱۵۶	۰/۱۴۷	۰/۱۱۴۵
هزینه جریمه (دلار)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مراجع

[1] Kirthiga, M.V.; Daniel, S.A.; Gurunathan, S. "A Methodology for Transforming an Existing Distribution Network Into a Sustainable Autonomous Micro-Grid", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 31 - 41 Volume: 4, Issue: 1, Jan. 2013

[2] Baoming Ge; Fang Zheng Peng; Abu-Rub, H.; Ferreira, F.J.T.E.; De Almeida, A.T. "Novel Energy Stored Single-Stage Photovoltaic Power System With Constant DC-Link Peak Voltage", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 28 - 36 Volume: 5, Issue: 1, Jan. 2014

[3] Colson, C.M.; Nehrir, M.H.; Sharma, R.K.; Asghari, B. "Improving Sustainability of Hybrid Energy Systems Part I: Incorporating Battery Round-Trip Efficiency and Operational Cost Factors", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 37 - 45 Volume: 5, Issue: 1, Jan. 2014

[1] Capizzi, G.; Napoli, C.; Bonanno, F. "Innovative Second-Generation Wavelets Construction With Recurrent Neural Networks for Solar Radiation Forecasting", Neural Networks and Learning Systems, IEEE Transactions on, On page(s): 1805 - 1815 Volume: 23, Issue: 11, Nov. 2012

[1] Strunz, K.; Abbasi, E.; Duc Nguyen Huu "DC Microgrid for Wind and Solar Power Integration", Emerging and Selected Topics in Power Electronics, IEEE Journal of, On page(s): 115 - 126 Volume: 2, Issue: 1, March 2014

[2] Guishi Wang; Ciobotaru, M.; Agelidis, V.G. "Power Smoothing of Large Solar PV Plant Using Hybrid Energy Storage", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 834 - 842 Volume: 5, Issue: 3, July 2014

[1] Thounthong, P.; Luksanasakul, A.; Koseeyaporn, P.; Davat, B. "Intelligent Model-Based Control of a Standalone Photovoltaic/Fuel Cell Power Plant With Supercapacitor Energy Storage", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 240 - 249 Volume: 4, Issue: 1, Jan. 2013

[2] Tummuru, N.R.; Mishra, M.K.; Srinivas, S. "Multifunctional VSC Controlled Microgrid Using Instantaneous Symmetrical Components Theory", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 313 - 322 Volume: 5, Issue: 1, Jan. 2014

[1] Villarreal, S.; Jimenez, J.A.; Tongdan Jin; Cabrera-Rios, M. "Designing a Sustainable and Distributed Generation System for Semiconductor Wafer Fabs", Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on, On page(s): 16 - 26 Volume: 10, Issue: 1, Jan. 2013

[2] Wu K, Zhou H, An S, Ting Huang. "Optimal coordinate operation control for Wind photo-voltaic battery storage power-generation units". Energy Convers Manage 2015;90:466–75.

[3] Shaaban, M.F.; Atwa, Y.M.; El-Saadany, E.F. "DG allocation for benefit maximization in distribution networks", Power Systems, IEEE Transactions on, On page(s): 639 - 649 Volume: 28, Issue: 2, May 2013

[4] Ruiz-Rodriguez, F.J.; Gomez-Gonzalez, M.; Jurado, F. "Location of small-scale biomass based energy systems using probabilistic load flow and metaheuristic techniques", Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on, On page(s): 1 - 6

[5] El-Khattam, W.; Sidhu, T.S. "Restoration of Directional Overcurrent Relay Coordination in Distributed Generation Systems Utilizing Fault Current Limiter", Power Delivery, IEEE Transactions on, On page(s): 576 - 585 Volume: 23, Issue: 2, April 2008

[6] Nehrir, M.H.; Wang, C.; Strunz, K.; Aki, H.; Ramakumar, R.; Bing, J.; Miao, Z.; Salameh, Z. "A Review of Hybrid Renewable/Alternative Energy Systems for Electric Power Generation: Configurations, Control, and Applications", Sustainable Energy, IEEE Transactions on, On page(s): 392 - 403 Volume: 2, Issue: 4, Oct. 2011

[7] Corcau, J.I.; Dinca, L.; Grigorie, T.L. "Fuzzy logic controller development for a Solid Oxide Fuel Cell system", Computational Intelligence and Informatics (CINTI), IEEE 12th International Symposium on, On page(s): 139 – 142, 2011.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[8] R.A. Ufa, Y.Y. Malkova, V.E. Rudnik, M.V. Andreev, V.A. Borisov, ″A review on distributed generation impacts on electric power system″, International Journal of Hydrogen Energy, Pages 20347-20361. Volume 47, Issue 47, 2022.

[9] X. Yao.; L.Xing; P.Xin; ″Distributed generation parameter optimization method based on fuzzy C-means clustering under the Internet of Things architecture″ Energy Reports, pages: 106-115 volume:7 ,2021.

[10] Hredzak, B.; Agelidis, V.G.; Demetriades, G.D. "A Low Complexity Control System for a Hybrid DC Power Source Based on Ultracapacitor–Lead–Acid Battery Configuration", Power Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 2882 - 2891 Volume: 29, Issue: 6, June 2014

[11] Hajizadeh, A.; Golkar, M.A.; Feliachi, A. "Voltage Control and Active Power Management of Hybrid Fuel-Cell/Energy-Storage Power Conversion System Under Unbalanced Voltage Sag Conditions", Energy Conversion, IEEE Transactions on, On page(s): 1195 - 1208 Volume: 25, Issue: 4, Dec. 2010

[12] Bhattacharya, A.; Chakraborty, C.; Bhattacharya, S. "Parallel-Connected Shunt Hybrid Active Power Filters Operating at Different Switching Frequencies for Improved Performance", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 4007 - 4019 Volume: 59, Issue: 11, Nov. 2012

[13] Orlando, N.A.; Liserre, M.; Mastromauro, R.A.; Dell'Aquila, A. "A Survey of Control Issues in PMSG-Based Small Wind-Turbine Systems", Industrial Informatics, IEEE Transactions on, On page(s): 1211 - 1221 Volume: 9, Issue: 3, Aug. 2013

[14] Gomez Jorge, S.; Busada, C.A.; Solsona, J.A. "Frequency-Adaptive Current Controller for Three-Phase Grid-Connected Converters", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 4169 - 4177 Volume: 60, Issue: 10, Oct. 2013

[15] Zhe Zhang; Thomsen, O.C.; Andersen, M.A.E. "Optimal Design of a Push-Pull-Forward Half-Bridge (PPFHB) Bidirectional DC–DC Converter With Variable Input Voltage", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 2761 - 2771 Volume: 59, Issue: 7, July 2012.

[16] Yong Li; Longfu Luo; Rehtanz, C.; Ruberg, S.; Fusheng Liu "Realization of Reactive Power Compensation Near the LCC-HVDC Converter Bridges by Means of an Inductive Filtering Method", Power Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 3908 - 3923 Volume: 27, Issue: 9, Sept. 2012

[17] Vandoorn, T.L.; De Kooning, J.D.M.; Meersman, B.; Guerrero, J.M.; Vandevelde, L. "Voltage-Based Control of a Smart Transformer in a Microgrid", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, On page(s): 1291 - 1305 Volume: 60, Issue: 4, April 2013

[18] M.Shahzad Nazir, Ahmad N. Abdalla, Huanyu Zhao, Zhang Chu, Hafiz M. Jamsheed Nazir, M.Shoaib Bhutta, M.Sufyan Javed, . Sanjeevikumar, " Optimized economic operation of energy storage integration using improved gravitational search algorithm and dual stage optimization" Journal of Energy Storage,Volume 50, 2022, 104591.

رزومه



سامان صباغ در اهواز متولد شده است (۱۳۶۰). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کاردانی الکترونیک در دانشگاه فنی یاسوج ، کارشناسی برق- ابزار دقیق در دانشگاه آزاد شوشتر(۱۳۹۲) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- کنترل را در دانشگاه آزاد دزفول (۱۳۹۷) سپری کرده است. در حال حاضر در قسمت اتوماسیون صنعتی شرکت فولاد خوزستان مشغول به فعالیت می‌باشد.



فریده اله وردی تحصیلات دانشگاهی خود را در رشته مهندسی برق تا مقطع دکتری پیش برده اند. (کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک، کارشناسی- ارشد مهندسی برق- کنترل و دکتری مهندسی برق- کنترل). در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اندیمشک می‌باشد.

زیرنویس‌ها

1. Distributed generation
2. Green energy
3. Wind turbine
4. Photo cell
5. Genetics
6. Global
7. Local
8. Particle Swarm Optimization
9. Simulated AnnealingAlgorithm
10. Tabu–Search Method
11. AntColonyOptimization
12. Fuzzy Logic Algorithm
13. Evolutionary Programming
14. Expert Systems
15. Competency
16. Gravitational Search Algorithm
17. Fuzzy System
18. Fitness function
19. Distribution index
20. Van-type

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

Control of distributed generation sources in order to reduce the cost of electricity production using the combined fuzzy-gravitational method

Saman Sabagh[1], Farideh Allahverdi[2]

1- Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
2- Assistant Professor ,Department of Electrical Engineering, Andimeshk Branch, Islamic Azad University, Andimeshk, Iran

Abstract: The expansion of big cities, the ever-increasing demand for electricity consumption, the use of renewable energy sources, the creation of an electricity market, the high cost of creating new electrical networks and many other issues have caused the use of distributed generation in the power system to increase; Therefore, with the increase in the share of distributed generation in the supply of electrical energy, planning the use of these units is considered one of the important issues in planning the development of production and distribution networks. Wind and solar power plants are among the most important renewable sources that are used to produce electricity today, but these sources are somewhat unpredictable and their injected power to the grid fluctuates. In these systems, energy storage systems are usually used to compensate in case of power loss, or in case of power increase, to store energy in itself to inject it into the power grid when needed. The simultaneous use of several distributed generation sources of production should be such that the cost of production and the amount of losses are minimal. The lifespan of the batteries used in these cases is completely dependent on the number of charges and discharges and the frequency of the current passing through them. So, the life of the used battery can also be one of the influential parameters in how to plan this system for production. In this research, a network with three wind turbine units, three solar power generation units and three battery units is considered. This system is programmed using the optimization method of gravity search based on fuzzy logic in such a way that the cost of production and the amount of losses are minimized and the life of the battery is also increased.

Keywords: Renewable energy; wind power plant; solar power plant; distributed generation; gravity method based on fuzzy logic.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.1.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022