تعیین توزیع توان اقتصادی غیر متمرکز در سیستم انتقال با کمک الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی

سید میلاد دهون[۱]، بابک مظفری[۲*]، سودابه سلیمانی مورچه خورتی[۳]، حسین محمدنژاد شورکائی[۴]، مهرنوش وطنی[۵]
۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران milad_dehvan@yahoo.com
*۲-دانشیار، گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران mozafari@srbiau.ac.ir
۳-استاد، گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران s.soleymani@srbiau.ac.ir
۴-استادیار،گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران h-mohammadnejad@srbiau.ac.ir
۵-استادیار، گروه مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران m.vatani@srbiau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۳

چکیده: توزیع اقتصادی در بهره برداری از سیستم قدرت مدرن اهمیت زیادی دارد. تقاضای سیستم از نظر اقتصادی بین ژنراتورهای چند ناحیه‌ای مختلف با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌ها، باید اختصاص یابد. توزیع اقتصادی بار در چند ناحیه (MAED) می‌تواند چندین محدودیت را به طور همزمان برآورده کند. در این راستا، استفاده از الگوریتم‌ها می‌تواند کمک کننده باشد. این مطالعه با هدف تعیین توزیع توان اقتصادی غیر متمرکز در سیستم انتقال با کمک الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی انجام شد. در این مطالعه، از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی در نرم‌افزار MATLAB به صورت ترکیبی با کمک سیستم منطق فازی بمنظور دست یافتن به بهترین برنامه تولید نیروگاه‌ها برای یک دوره ۲۴ ساعته در حضور خطوط انتقال HVDC و HVAC استفاده شد. نتایج این مطالعه در شبکه IEEE 118 BUS نشان داد که الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی با در نظر گرفتن بار نقطه‌ای نتایج رضایت بخشی برای کاهش تلفات و هزینه‌های تولید توانستند بدست آورند. بنابراین، استفاده از این الگوریتم‌ها برای بهبود دادن توزیع توان اقتصادی غیر متمرکز در سیستم انتقال پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پخش بار اقتصادی، رویکرد غیرمتمرکز، سیستم انتقال، الگوریتم اسب وحشی و گرگ خاکستری

۱- مقدمه

توزیع اقتصادی در بهره برداری از سیستم قدرت مدرن از اهمیت زیادی برخوردار است. تقاضای سیستم از نظر اقتصادی بین ژنراتورهای چند ناحیه‌ای مختلف با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌ها، اختصاص داده شده است [۱]. توزیع اقتصادی برای مناطق مختلف ممکن است با محدودیت‌هایی همراه باشد. تأسیسات بزرگ و کوچک محدودیت‌های زیادی برای انتقال نیرو از طریق خطوط اتصال دارند. تمامی تأسیسات و سیستم‌های برق دارای مشخصات تولید و الگوهای بارگذاری متفاوت برای بخش‌های مدرن برق، از جمله ذخایر چرخشی می‌باشند. بنابراین، هدف اصلی توزیع اقتصادی پایین آوردن هزینه‌ی سوخت برای تمامی ژنراتورها و کاهش دادن تمام محدودیت‌ها همانند تعادل توان، تلفات و محدودیت‌های تولیدی می‌باشد [۲]. توزیع اقتصادی چند محیطی[×] یا MAED شکلی از مدل توزیع اقتصادی است که چندین محدودیت را به طور همزمان می‌تواند برآورد نماید. در کنار تمامی این مزایا، این روش‌ها به تلاش محاسباتی قابل توجهی برای حل مسأله توزیع اقتصادی نیاز داشتند. در چند ناحیه، مسئله توزیع اقتصادی سیستم قدرت به هم پیوسته بزرگ با ویژگی‌های هزینه متفاوت پیچیده می‌گردد. بنابراین، برای کاهش دادن این محدودیت ها، باید از روش‌های فرابتکاری استفاده کرد. بنابراین، از این روش‌ها در توزیع اقتصادی، توسط پژوهشگران مختلف استفاده می شود. در این راستا، الگوریتم‌های تکاملی، مانند بازپخت شبیه سازی شده [۲]، الگوریتم ژنتیک [۳]، برنامه ریزی تکاملی [۴]، شبکه عصبی مصنوعی [۵]، بهینه سازی کلونی مورچه‌ها [۶]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات [۷]،

× Multiarea economic dispatch

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

سیستم ایمنی مصنوعی [۸]، تکامل تفاضلی [۹]، الگوریتم جستجوی باکتری‌ها [۱۰] و بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی [۱۱]، با موفقیت برای حل مسئله پیچیده توزیع اقتصادی بدون هیچ محدودیتی در اندازه و شرایط منحنی‌های هزینه به کار گرفته شده‌اند. شولتز و همکاران [۱۲] توزیع اقتصادی را با در نظر گرفتن محدودیت‌های واردات و صادرات برای مشکلات تک ناحیه‌ای و سه ناحیه‌ای ایجاد کردند. شورت و همکاران [۱۳] محدودیت های انتقال را برای سیستم‌های قدرت دو ناحیه در نظر گرفته‌اند و از رویکرد ANN برای حل مسئله توزیع اقتصادی استفاده کرده‌اند. سیفرت [۱۴] از روش‌های برنامه ریزی خطی استفاده کرد و هزینه افزایشی را برای هر منطقه محاسبه کرد و با توجه به توان هزینه کل، هزینه و مقادیر خط متداخل تنظیم می شود. این روش در سیستم‌های قدرت بزرگ به هم پیوسته امکان پذیر نبود. چن و همکاران [۱۵] از روش فضای مستقیم برای حل مسائل توزیع اقتصادی چند محیطی استفاده کرده‌اند و یک الگوریتم MAGS برای ایجاد رابطه بین قابلیت اطمینان و امنیت سیستم ایجاد کرده است. منوهاران و همکاران [۱۶] الگوریتم ارزیابی و معیار Karush- (KKT را بر اساس تایید بهینه برای مسئله توزیع اقتصادی چند محیطی اعمال کرده‌اند. متغیرهای آموزش‌دیده KKT برای بررسی بهینه بودن نتایج به‌دست‌آمده توسط الگوریتم‌های ارزیابی اعمال شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از معیار KKT با نتایج برنامه‌ریزی خطی (LP) و برنامه‌نویسی پویا (DP) مقایسه شد. نویسندگان نتیجه گرفتند که این تکنیک زمان CPU و انحراف استاندارد بهتری را فراهم می‌کند. شارما و همکاران [۱۷] تکامل دیفرانسیل را با تکنیک جهش متغیر با زمان برای حل توزیع اقتصادی چند محیطی با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت خط متقاطع ارائه کرد. ونکاتاکریشنان و همکاران [۱۸] روش GWO را برای حل مسئله توزیع اقتصادی با در نظر گرفتن دریچه های حرارتی به کار برد. روش‌های بهینه سازی مبتنی بر تکامل به دلیل مزایایی که دارند، مانند عدم وجود فرضیات تحدب، قابلیت جستجوی بهتر و سادگی، برای مسائل توزیع اقتصادی محبوب‌تر می‌شوند. بررسی‌های انجام شده، نشان داد که تکنیک‌های فرابتکاری و تکاملی به دلیل سادگی، نرخ هم‌گرایی سریع، انعطاف‌پذیری بیشتر برای جستجوی نقاط بهینه سراسری و پیاده‌سازی آسان، برای حل مسائل توزیع اقتصادی محبوب‌تر هستند.

با این حال، تمام تکنیک های تکاملی نیاز به تعادل مناسب بین جستجوی جهانی و جستجوی محلی داشتند. تعداد کمی از محققین بر روی زمان همگرایی، تنظیم پارامترهای بهینه، همگرایی زودرس و غیره تمرکز کرده‌اند. محققان سعی کرده‌اند با استفاده از استراتژی‌های مختلف، مانند تکنیک‌های تکاملی اصلاح‌شده [۲۰] و ترکیب‌سازی الگوریتم‌ها [۲۱، ۲۲] این مسائل را مدیریت کنند. مطالعه حاضر بر استفاده از WHO و GWO با جهش بهینه برای ارائه یک راه حل دقیق و عملی برای مسئله توزیع اقتصادی چند محیطی متمرکز است.

اشکال اصلی رویکردهای کلاسیک ضربه زدن به بهینه محلی است و ممکن است بهترین راه حل را ارائه ندهد. دوما، تمام روش‌های کلاسیک بر این فرض استوارند که تابع هدف آن‌ها پیوسته و قابل تمایز است، در حالی که سیستم قدرت عملی پیچیده‌تر است. تکنیک‌های هوشمند امروزی این مزیت را دارند که در مدیریت محدودیت‌های کیفی همه کاره هستند. با این حال، اشکال اصلی آن‌ها این است که زمان محاسبات به صورت تصاعدی با افزایش اندازه مسئله افزایش می‌یابد، و زمان همگرایی نامشخص است (همگرایی تضمین شده است). برای غلبه بر این کاستی‌ها از رویکردهای فرابتکاری با تابع هدف تعریف شده فازی، استفاده شده است.

با توجه به مطالب فوق‌الذکر، این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه روش‌های موجود در توزیع توان اقتصادی برای سیستم‌های چند ناحیه‌ای گردآوری شده و ملزومات و امکان اجرای آن‌ها در شبکه‌های انتقال مورد بررسی، مدل‌سازی سیستم و تعیین مدل برای مزرعه مزارع) بادی ونیروگاه آبی با کمک شبیه سازی سیستم‌های مذکور و تعریف تابع هدف در سناریوهای مختلف با توجه به نوع شبکه و عناصر جدید مدل‌سازی شده میزان هزینه‌های موجود به منظور برآورده‌سازی تقاضای هر ناحیه با در نظرگیری تبادل توان بین ناحیه‌ها و قیود مختلف (در نظر گرفتن ذخیره سازها وقیود انتقال توان وآلایندگی ونرخ تولید و خطوط HVDC و HAVAC به طور جداگانه) انجام شد. همچنین در این مطالعه، شبیه‌سازی و بررسی نتایج بدست آمده از اجرای خروجی طرح پیشنهای نیز بمنظور کاهش هزینه‌های هر ناحیه و بطبع کاهش هزینه‌های کلی سیستم به کاهش تلفات اکتیو و راکتیو در شبکه نیز انجام می‌شود. این مطالعه همچنین راه حل به دست آمده با استفاده از روش WHO و GWO را برای یافتن کاربرد مناسب و دقت این تکنیک‌ها مقایسه می‌کند. با توجه به دانش نویسندگان، Fuzzy-WHO و Fuzzy-GWO پیشنهادی با تمام انواع تکنیک‌های PSO و GWO هنوز با در نظر گرفتن بار نقطه‌ای دریچه روی این سیستم آزمایشی مقایسه شده است.

بنابراین این مطالعه دارای نوآوری‌هایی در مقایسه با مطالعات قبلی بود شامل مدلسازی عناصر مختلف در شبکه و در نظرگیری تاثیر همزمان آن ها از جمله قیود خطوط انتقال و ارتباطی و عدم قطعیت نیروگاه بادی و ذخیره سازها ومدل سازی چند نیروگاه بادی و آبی در شبکه قدرت و قیود آلایندگی و نرخ تولید نیروگاه‌های تجدید ناپذیر در حضور خطوط اتصالیAC برای نیروگاه‌های تجدید پذیر، افزایش روند تکامل بررسی سیستم های قدرت چند ناحیه ای در حضور واحدهای تولیدی تجدید پذیر، حل مسئله با در نظرگیری خطوط HVDC برای انتقال توان نیروگاه‌های تجدید پذیر به شبکه‌ی قدرت مورد بررسی و خطوط ارتباطی بین نواحی در حضور تمام قیود، تعیین میزان تولید بهینه هر ناحیه و هماهنگی بهینه نواحی با حضور واحد تولیدی تجدیدپذیر به منظور تبادل توان با در نظر گیری قیود موجود و بررسی طرح کنترل توان اکتیو و راکتیو شبکه به منظور کاهش تلفات با محدودیت های

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

موجود با توجه به نرخ ساعتی قیمت انرژی. بنابراین، مطالعه‌ی حاضر با هدف تعیین توزیع توان اقتصادی غیر متمرکز در سیستم انتقال با کمک الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی انجام شد. در ادامه، در بخش دوم مقاله درباره کلیات تحقیق از جمله مساله هماهنگی مناطق کنترل برای اطمینان از امنیت تامین تقاضا و بهینه‌سازی ناحیه‌ای بحث خواهد شد. در بخش سوم توزیع اقتصادی چند منطقه‌ای تشریح شده است. در این راستا مدل پیشنهادی مربوط به توزیع اقتصادی و محدودیت‌های مربوط به آن تشریح شده است. در بخش چهارم مقاله تشریح الگوریتم‌های بهینه سازی گرگ خاکستری، اسب وحشی، سیستم فازی در کنار تابع هدف مساله و محدودیت‌های حاکم بر مساله مورد مطالعه در مقاله ارائه شده است. در بخش پنجم مطالعه موردی مقاله، پارامترهای ورودی و معرفی شبکه IEEE 118 BUS تشریح شده است و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری نهایی مقاله تدوین و ارائه شده است.

۲-کلیات تحقیق

۲-۱- هماهنگی مناطق کنترل برای اطمینان از امنیت

به منظور تضمین امنیت عملیاتی بین مناطق کنترل، شبکه اروپایی اپراتورهای سیستم انتقال برق (Entso-E[†]) دستورالعمل‌هایی را در کتابچه راهنمای عملیات منتشر کرد [۲۳]. این دستورالعمل‌ها به عنوان تعهدات اپراتور سیستم انتقال[‡] TSO، تبادل اطلاعات بین TSO و رویه‌های مربوط به هماهنگی TSO خلاصه شد. TSOها موظفند امنیت عملیاتی را در منطقه کنترل خود تضمین کنند و ابزارهایی برای ارسال مجدد تولید موجود داشته باشند. یک مدل آنلاین برای ارزیابی وضعیت شبکه و ارزیابی وضعیت امنیتی پیاده سازی شده است. محدوده مدل آنلاین، ناحیه قابل مشاهده شامل خود و بخش‌هایی از شبکه همسایه است. همکاری TSOها ضروری است و شامل تبادل اطلاعات مرتبط در مورد خطرات و آماده سازی اقدامات اصلاحی هماهنگ شده یک روز قبل در صورت لزوم می‌باشد. مناطق کنترل نمی‌توانند بطور مستقل عمل کنند و استراتژی‌های عملیاتی اغلب بر TSOهای همسایه تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، یک مدیریت بهینه سیستم قدرت در سطح جهانی شامل همکاری TSOها است. اثرات مطلوب کمک بین TSO در صورت خرابی و جلوگیری از اختلال است. ارتباط بین همسایگان برای تغییر الگوی تولید در خارج از کشور و سازوکارهای تعریف شده برای راه اندازی تعامل فرامرزی باید اجرا شود. TSO ها می‌توانند اطلاعات مربوط به هزینه های ارسال مجدد (دریافت) را با یکدیگر به اشتراک بگذارند. اظهارات فوق، به ویژه آن‌هایی که در مورد همکاری TSOها هستند، مربوط به ارسال مجدد هستند و برای ارسال کوتاه مدت نیز قابل اجرا هستند.

۲-۲- بهینه‌سازی چند ناحیه ای

بر اساس شرایط چارچوب بیان شده در [۲۳]، بهینه‌سازی چند ناحیه‌ای ارائه‌شده از ویژگی‌های زیر استفاده می‌کند: TSOs هزینه‌های ارسال (دریافت) را مبادله می‌کند و یک مدل شبکه جامع، شامل تمام مناطق کنترل مشارکت‌کننده را آماده می‌کند. علاوه بر این، TSO ها بار و پیش بینی‌های تغذیه RES، وضعیت‌های فعلی شبکه و الگوهای تولید را مبادله می‌کنند. مشارکت‌های جدید اصلی این مطالعه عبارتند از:

- محاسبه انرژی دریافت تعاونی و ارسال مجدد با RES و دستگاه-های ذخیره سازی.
- در نظر گرفتن چندین حوزه کنترل.
- دستیابی به نتایج نزدیک به پارتو بهینه.
- کاهش پیچیدگی کلی مساله و محدب سازی روش پیشنهادی با کمک سیستم منطق فازی.

در این مطالعه، یک الگوریتم جدید اصلاح شده بهینه‌سازی اسب وحشی (WHO) و گرگ خاکستری (GWO)، برای حل MAED پیشنهاد شد. برای بهینه سازی تابع هدف از یک الگوریتم سیستم منطق فازی برای اصلاح تابع هدف و محدودیت‌های مفروض در این کار و محدب سازی تابع هدف بهره گرفته شد. این الگوریتم‌ها به تنهایی ساده است، اما با افزایش ابعاد مسئله، عملکرد الگوریتم کاهش می‌یابد و تعریف راه حل بهینه تضمین نمی‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن همه حالت‌های ممکن (مانند حرکت افراد به سمت بدترین راه حل یا دور شدن افراد از بهترین راه حل یا حالت‌های دیگران) تلاش می‌شود، مسأله حل شود. علاوه بر این، یک عملگر جهش برای افزایش سرعت همگرایی در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، روش پیشنهادی برای مسئله توزیع اقتصادی چند ناحیه‌ای تحت شرایط مختلف اعمال می‌شود. روش‌های فراابتکاری ترکیبی با منطق فازی یکی از ابزارهای موفق برای حل مسئله است که در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۴-۲۷].

۳- توزیع اقتصادی چند منطقه‌ای

۳-۱- پخش بار اقتصادی

پخش بار اقتصادی به عنوان یکی از مهمترین مسائل بهینه سازی در حوزه سیستم قدرت محسوب می‌شود. هدف اصلی این مساله، تعریف

[†] European Network of Transmission System Operators for Electricity

[‡] Transmission system operator

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 3-Autumn2023

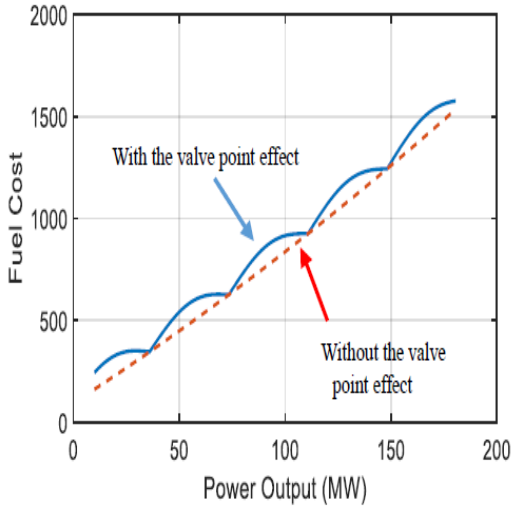
سطح تولید به گونه‌ای است که هزینه را به حداقل برساند و در عین حال همه محدودیت‌ها ارضا شوند. به‌منظور مدل سازی توزیع اقتصادی، از یک تابع درجه دوم استفاده می‌شود. با این حال، در ژنراتورهای بزرگ، اثر نقطه شیر بخار و مناطق عملیاتی ممنوع می‌تواند منجر به غیر خطی و غیر محدب بودن تابع هزینه شود. بنابراین، برای مدل‌سازی ژنراتورهای بزرگ، باید یک عبارت سینوسی به عنوان اثر نقطه شیر بخار به تابع هزینه اضافه شود:

$$\text{Min H (X)} = \sum_{i=1}^{N_g} F_{i\,(p_{gi})},\ F_{i\,(p_{gi})} = a_i \times p_{gi}^2 + b_i \times p_{gi} + c_i + \left|e_i \times \sin(f_i \times (p_{gi\,min} - p_{gi}\right|$$

$$\text{Where, Z} = [p_{g1}, p_{g2}, p_{g3}, \ldots, p_{gN_g}]$$

(۱)

شکل ۱ منحنی سوخت ژنراتور برق را با و بدون اثر نقطه شیر بخار نشان می دهد.



شکل (۱): تابع هزینه با و بدون اثر نقطه شیر بخار

۳-۲- توزیع اقتصادی چند منطقه‌ای

توزیع اقتصادی چند منطقه‌ای (MAED) یک مسئله توزیع اقتصادی پیشرفته است. هدف MAED تعیین تولید برق و انتقال نیرو در بین تمام مناطق است به طوری که تابع هزینه به حداقل می‌رسد، در حالی که تقاضای بار و محدودیت‌ها هنوز برآورده می‌شوند [۲۸-۳۴]. مدل‌سازی ریاضی مسئله توزیع اقتصادی چند ناحیه‌ای، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها در عبارت زیر به تفصیل آمده است:

$$\text{Min H (X)} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_{gi}} F_{ij}(P_{gij})$$

به طوری که

$$F_{ij\,(p_{gij})} = a_{ij} \times p_{gij}^2 + b_{ij} \times p_{gij} + c_{ij} + \left|e_{ij} \times \sin(f_{ij} \times (p_{gij\,min} - p_{gij}\right|$$

$$\text{Also, Z} = [p_{g1}^r, p_{g2}^r, p_{g3}^r, \ldots, p_{gM}^r, \overset{+}{T1}, \overset{+}{T2}, \ldots, \overset{+}{TM}]$$

$$[p_{g1}^{+}, p_{g2}^{+}, p_{g3}^{+}, \ldots, p_{gM}^{+}] = [p_{g_{11}}, p_{g_{12}}, p_{g_{13}}, \ldots\ldots, p_{g_{1G_1}}], [p_{g_{21}}, p_{g_{22}}, p_{g_{23}}, \ldots\ldots, p_{g_{2G_2}}], \ldots, [p_{g_{M1}}, p_{g_{M2}}, p_{g_{M3}}, \ldots\ldots, p_{g_{MG_M}}]$$

$$[\overset{+}{T1}, \overset{+}{T2}, \ldots, \overset{+}{TM}] = [T_{1,1}, T_{1,2}, \ldots, T_{1,M}], [T_{2,3}, T_{2,4}, \ldots, T_{2,M}], \ldots, [T_{M-1,M}]$$

(۲)

در برخی از نیروگاه‌ها از چند نوع سوخت به عنوان منبع به جای یک سوخت خاص برای تولید برق استفاده می شود. بنابراین، ضرایب تابع هزینه در هر افق متغیر است [۳۵]. بنابراین، با اعمال اثر نقطه شیر بخار، مناطق عملیاتی ممنوع و محدودیت ظرفیت خط اتصال، ارسال اقتصادی چند ناحیه ای منجر به یک مسئله پیچیده، غیر خطی و غیر محدب می شود. در نتیجه، یک روش بهینه سازی قوی و موثر برای حل مسئله مورد نیاز است [۳۶].

۳-۳- محدودیت‌ها

الف- محدودیت تولید برق

تولید برق هر ژنراتور دارای محدودیت‌هایی به شرح زیر است:

$$P_{gi\,min} \le P_{gi} \le P_{gi\,max} \qquad (۳)$$

ب- محدودیت تعادل بار

ژنراتورهای برق باید کل تقاضای بار و تلفات شبکه انتقال را تامین کنند. بنابراین، در چند ناحیه، تقاضای بار در هر ناحیه به صورت عبارت زیر نشان داده می‌شود:

$$= P_{Li} + P_{Li} + \sum_{j=1, j\neq i}^{N} T_{ij} \qquad i=1,2,\ldots,M\ P_{Gi} \qquad (۴)$$

P به عنوان تلفات شبکه انتقال در ناحیه i به صورت زیر نشان داده می شود [۳۵]:

$$= \sum_{q=1}^{N_{gi}} \sum_{j=1}^{N_{gi}} P_{gij}\ B_{qj}^{i} P_{giq} + \sum_{j=1}^{N_{gi}} B_{0j}^{i} P_{gij} + B_{00}^{i} P_{Li} \qquad (۵)$$

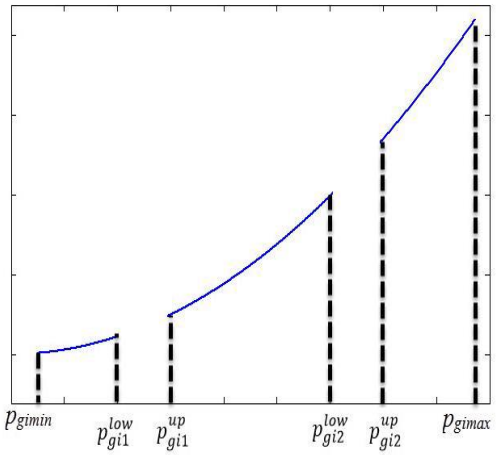
ج- محدودیت منطقه عملیاتی ممنوع

به دلیل برخی محدودیت‌های عملی که به ناپایداری نیروگاه یا شبکه آسیب می‌رساند، در برخی فواصل هر ژنراتور نباید برق تولید کند. بنابراین تولید برق در این فواصل ممنوع است. شکل (۲)، منحنی سوخت ژنراتورهای برق را با دو منطقه عملیاتی ممنوع نشان می‌دهد. علاوه بر این، معادله (۶) محدودیت منطقه عملیاتی ممنوع را به صورت زیر نشان می‌دهد:

$$P_{gi} = \begin{cases} P_{gi\,min} \le P_{gi} \le P_{gi,l-1}^{Low} \\ P_{gi,l-1}^{Up} \le P_{gi} \le P_{gi,l}^{Low} \\ P_{gi,L_i}^{Up} \le P_{gi} \le P_{gi\,max} \end{cases} \qquad i = 1,2,\ldots\ldots, N_g$$

$$l = 2,3,\ldots, \ldots\ldots, L_i \qquad (۶)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۲): منحنی سوخت نیروگاه با دو منطقه عملیاتی ممنوع

د- محدودیت ظرفیت خط تقاطع

ظرفیت خط انتقال یکی از مهمترین محدودیت ویژگی‌های متمایز در MAED است. تبادل برق بین مناطق باید بین حداقل و حداکثر ظرفیت خط انتقال به شرح زیر باشد:

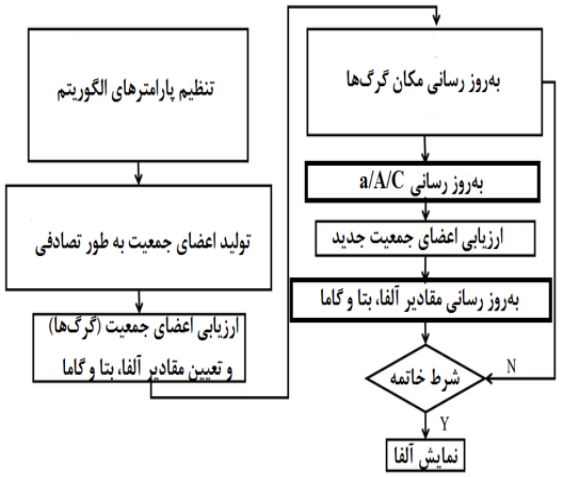
$$-T_{i,j\max} \le T_{i,j} \le T_{i,j\max} \quad (۷)$$

۴- تکنیک‌های پیشنهادی

۴-۱- الگوریتم گرگ خاکستری[§](GWO)

گرگ خاکستری از خانواده Canidae است. گرگ‌های خاکستری به عنوان شکارچیان راس در نظر گرفته می‌شوند، به این معنی که آن‌ها در بالای زنجیره غذایی قرار دارند. گرگ‌های خاکستری بیشتر زندگی در یک گله را ترجیح می‌دهند. اندازه گروه به‌طور متوسط ۵-۱۲ عدد است. رهبران یک مرد و یک زن هستند که آلفا نامیده می‌شوند. [۳۷]. گرگ‌های آلفا فقط مجاز به جفت گیری در گله هستند. بتاها گرگ‌های تابعی هستند که به آلفا در تصمیم گیری یا سایر فعالیت‌های گله کمک می‌کنند. کمترین رتبه گرگ خاکستری امگا است. امگا نقش گوسفند را بازی می‌کند. گرگ‌های امگا همیشه باید تسلیم همه گرگ‌های غالب دیگر شوند. آن‌ها آخرین گرگ‌هایی هستند که مجاز به خوردن غذا هستند. اگر گرگ آلفا، بتا یا امگا نباشد، سیگما را زیردست می‌نامند (یا در برخی منابع دلتا). علاوه بر سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌ها، شکار گروهی یکی دیگر از رفتارهای جالب اجتماعی گرگ‌های خاکستری است. به گفته مورو و همکاران [۳۸] مراحل اصلی شکار گرگ‌های خاکستری به شرح زیر است:

در این کار از این روش شکار و سلسله مراتب اجتماعی گرگ‌های خاکستری به منظور طراحی GWO و انجام بهینه سازی، از نظر ریاضی مدل سازی شده است.فلوچارت الگوریتم GWO بصورت شکل ۳ است:



شکل (۳): فلوچارت الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری

مراحل حل مساله پخش بار اقتصادی براساس مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری عبارتست از:

۱. تعیین متغیرها: در این مرحله، متغیرهای مساله مانند توان تولید، توان مصرفی و قیمت‌های واحد برق برای هر یک از بارها و نیز محدودیت‌های مانند ظرفیت تولید و مصرف، محدودیت‌های ولتاژ و محدودیت‌های اقتصادی تعیین می‌شوند.

۲. ایجاد مدل ریاضی: در این مرحله، براساس مدل ریاضی پخش بار اقتصادی ارائه شده که شامل تابع هدف (که بیانگر کمینه کردن هزینه‌ها است) و مجموعه محدودیت‌ها است، مساله قابل حل خواهد شد. هدف اصلی در این مساله، بهینه‌سازی سیستم قدرت به گونه‌ای است که هزینه تولید برق کمینه شود و محدودیت‌ها رعایت شوند.

۳. محاسبه اولیه مقادیر گرگ‌ها: در این مرحله، مقادیر اولیه برای متغیرها (توان تولید و مصرف) با استفاده از الگوریتم‌های تصادفی یا روش‌های تخمینی محاسبه می‌شوند. این مقادیر اولیه برای گرگ‌ها در مرحله بعدی استفاده می‌شوند.

۴. بهبود مقادیر گرگ‌ها: در این مرحله، با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری، مقادیر گرگ‌ها بهبود داده می‌شوند. الگوریتم گرگ خاکستری بر اساس مفهوم تغییرات تصادفی و تقریبی کار می‌کند. گرگ‌ها در این الگوریتم به صورت تصادفی در محدوده‌ای حرکت می‌کنند و با ترکیب وزن‌دهی و تعامل با گرگ‌های دیگر، مقادیر بهبود می‌یابند.

۵. تکرار مراحل: مراحل ۳ و ۴ تا جایی که شرایط مساله بهبود یابد و یا به یک شرط توقف مشخص برسد، تکرار می‌شوند. این تکرارها ادامه

§ Grey Wolf Optimizer

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 3-Autumn2023

می‌یابند تا به یک حل بهینه برسیم یا به شرط توقف مشخصی برسیم، مانند رسیدن به تعداد تکرار مشخص یا دستیابی به یک مقدار خطای مورد قبول.

۶. ارزیابی و اعمال حل: در این مرحله، حل بهینه که توسط الگوریتم گرگ خاکستری به دست آمده است، ارزیابی می‌شود. اگر حل بهینه برای مساله بدست آمده باشد، آن را می‌توان در سیستم قدرت اعمال کرد و بهبودهای مورد انتظار را در عملیات سیستم مشاهده کرد.

۷. اتمام الگوریتم و بهینه‌سازی و تنظیم‌های پیشرفته احتمالی : در این مرحله، ضمن دستیابی به مقدار بهینه (حداقل هزینه تولید انرژی) الگوریتم به اتمام خواهد رسید. در اینجا می‌توان تنظیم‌ها و بهینه‌سازی‌های پیشرفته‌تری را روی حل بهینه اعمال کرد تا نتیجه بهبود یابد. این فرآیند ممکن است نیازمند تغییر پارامترها و روش‌های الگوریتمی نیز باشد.

۲-۴- الگوریتم بهینه ساز اسب وحشی (WHO)

الگوریتم‌های بهینه‌سازی معمولاً از رفتار طبیعی یک عامل الهام می‌گیرند که می‌تواند انسان، حیوان، گیاه یا یک عامل فیزیکی یا شیمیایی باشد. رفتار پرورش اسب به گونه‌ای است که کره اسب ها قبل از رسیدن به سن بلوغ گروه را ترک کرده و به گروه‌های دیگر می‌پیوندند. الهام‌بخش اصلی الگوریتم پیشنهادی رفتار مؤدبانه اسب است [۳۹].

بهینه ساز اسب وحشی شامل پنج مرحله اصلی به شرح زیر است:

۱- ایجاد جمعیت اولیه و تشکیل گروه های اسب و انتخاب رهبران.

۲- چرا و جفت گیری اسب;

۳- رهبری و رهبری گروه توسط رهبر (نریان)

۴- تبادل و انتخاب رهبران.

۵- بهترین راه حل را ذخیره کنید.

مراحل زیر، حل مساله پخش بار اقتصادی با الگوریتم اسب وحشی است:

۱- تعریف مساله:

- تعیین تعداد ژنراتورها (نودها) و توان تولیدی هر ژنراتور به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری.

- تعریف تابع هدف به صورت کمینه کردن کل هزینه تولید برق با توجه به توان تولیدی هر ژنراتور و تابع هزینه آن.

۲- تولید اولیه:

- ایجاد جمعیت اولیه از اسبان وحشی، که هر کدام یک حلقه از توان تولیدی ژنراتورها را نمایندگی می‌کنند.

۳- تابع هدف:

- تعریف تابع هدف به عنوان مجموع هزینه تولید برق بر حسب توان تولیدی هر ژنراتور با در نظر گرفتن توان مصرفی بارها.

۴- اعمال الگوریتم:

- انتخاب والدین:

- انتخاب اسبان وحشی بر اساس ارزش فاصله آن‌ها از مرکز گله. فاصله می‌تواند بر اساس تابع هدف و یا فاصله فیزیکی میان اسبان وحشی محاسبه شود.

- تولید نسل جدید:

- تولید اسبان وحشی جدید با ترکیب والدین انتخاب شده و اعمال عملیات تصادفی برای ایجاد تنوع.

- جستجوی بهبودها:

- اعمال جستجوی محلی بر روی اسبان وحشی تا به حلقه‌های بهینه‌تر برسیم.

- به‌روزرسانی جمعیت:

- انتخاب بهترین حلقه‌ها برای باقی‌ماندن در جمعیت.

۵- اتمام الگوریتم:

- ادامه اجرای الگوریتم تا رسیدن به شرایط پایانی مانند تعداد تکرارها یا دستیابی به مقدار تابع (حداقل هزینه تولید انرژی)

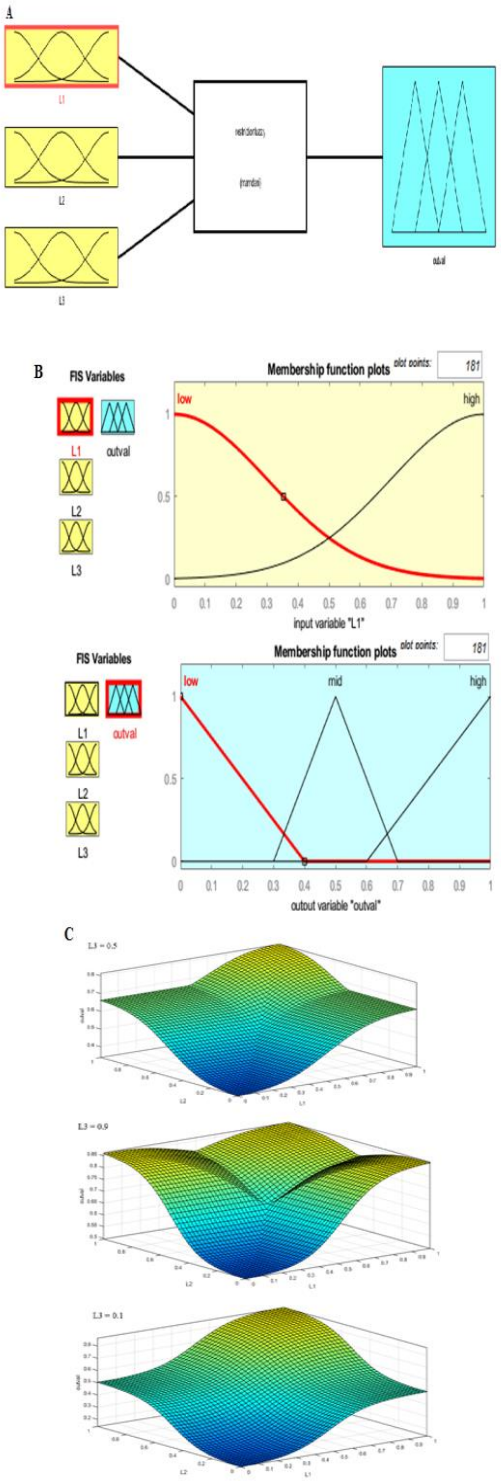
۳-۴- سیستم منطق فازی پیشنهادی

در این مرحله برای تابع هدف از سه محدودیت و قیود به منظور دستیابی به بهترین پاسخ بهره گرفته شد. برای حصول به نتیجه بهینه نهایی این قیود در شکل ورودی‌های سیستم فازی پیشنهادی شکل ۷ معرفی شد. این قیود به ترتیب شامل محدودیت ولتاژ شین بالا و پایین و محدودیت حداکثر جریان عبوری از خطوط انتقال بود. خروجی سیستم فازی به صورت یک ضرب در مقدار نهایی تابع هدف ضرب می‌شود تا یک مینیمم نهایی با حصول قیود معرفی شده حاصل شود. شکل (۴) نمایش سیستم فازی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۴-۴- فرمول مسأله

هدف MADEED از سیستم برق آبی-بادی گرمایی برای بهینه-سازی هزینه کل و سطح انتشار به طور همزمان برای تامین بار برای همه مناطق در حالی که محدودیت‌های برابری و نابرابری را برآورده می‌کند، ابداع شده است. اهداف و محدودیت‌های بعدی در فرمول‌بندی مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۴): نمایش سیستم فازی پیشنهادی. الف) نمای سیستم فازی، توابع عضویت ورودی و خروجی (ب)، مشخصه ورودی و خروجی به ازای مقادیر مختلف ورودی L3 (ج).

اهداف

هزینه:

با هزینه نهایی ناچیز نیروگاه برق-آبی، هزینه عملیاتی یک سیستم آبی-بادی حرارتی اساساً به هزینه سوخت نیروگاه‌های حرارتی همراه با هزینه واحدهای تولید برق بادی کاهش می‌یابد. هزینه کل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$F_C=\sum_{t=1}^{T}\left[\sum_{i=1}^{M}\left\{\sum_{j=1}^{N_{si}} f_{sij}(P_{sij}^t)+\sum_{j=1}^{N_{wi}} f_{wij}(P_{wij}^t)\right\}\right] \quad (۸)$$

تابع هزینه سوخت jامین ژنراتور حرارتی متعهد در ناحیه i در زمان t با در نظر گرفتن اثر نقطه شیر بخار، به صورت زیر بیان شده است.

$$f_{sij}(P_{sij}^t)=a_{sij}+b_{sij}P_{sij}^t+c_{sij}(P_{sij}^t)^2=||d_{sij}\times Sin\{e_{sij}\times(P_{sij}^{min}-P_{sij}^t)\}|) \quad (۹)$$

هزینه انرژی بادی شامل سه عبارت است، هزینه مستقیم، هزینه جریمه زیر برآورد (C_{pij}) برای عدم استفاده از تمام نیروی بادی موجود و هزینه ذخیره (C_{rij}) به دلیل برآورد بیش از حد توان بادی در زمانی که نیروی بادی موجود کمتر از نیروی باد برنامه‌ریزی شده است.

بنابراین هزینه انرژی باد jمین واحد تولید برق بادی در ناحیه i در زمان t را می‌توان به صورت روابط (۱۰)-(۱۳) محاسبه کرد:

$$f_{wij}=\{(K_{dij}\times P_{wij}^t))+C_{pij}(P_{wij,av}^t-P_{wij}^t)+C_{rij}(P_{wij}^t-P_{wij,av}^t)\}$$

$$C_{pij}(P_{wij,av}^t-P_{wij}^t)=K_{pij}\times\int_{P_{wij}^t}^{P_{wrij}}(w-P_{wij}^t)f_w(w)dw$$

$$C_{rij}(P_{wij}^t-P_{wij,av}^t)=K_{rij}\times\int_{0}^{P_{wij}^t}(P_{wij}^t-w)f_w(w)dw$$

$$f_w(w)=\frac{K_s h v_{in}}{P_{wr}C}\left[\frac{\left(1+\frac{hw}{P_{wrij}}\right)v_{in}}{C}\right]^{K_s-1}\times\exp\left\{-\left[\frac{\left(1+\frac{hw}{P_{wij}^t}\right)v_{in}^{k_s}}{c}\right]\right\}$$

(۱۳)-(-۱۰)

مشخصات نیروی باد با استفاده از Weibul pdf، $f_w(w)$ انجام می‌شود. اینجا h= (v_r/v_{in})-1. شرح جزئیات را می‌توان در مراجع [۴۸و۴۹] یافت.

انتشار:

آلاینده‌های جوی مانند اکسیدهای گوگرد (SO_x)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و دی اکسید کربن (CO_2) ناشی از مولد حرارتی را می‌توان به طور جداگانه مدل کرد. با این حال، به دلایل ارزیابی، انتشار کل این آلاینده‌ها به صورت مجموع یک تابع درجه دوم و یک تابع نمایی بیان می‌شود [۵۰]. مجموع انتشار ژنراتورهای حرارتی متعهد همه مناطق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$F_E=\sum_{t=1}^{T}[\sum_{i=1}^{M}\{\sum_{j=1}^{N_{si}}\alpha_{sij}+\beta_{sij}P_{sij}^t+\gamma_{sij}(P_{sij}^t)^2+\eta_{sij}\exp(\delta_{sij}P_{sij}^t)\}] \quad (۱۴)$$

تحت محدودیت‌های تعادل توان:

$$\sum_{j=1}^{N_{si}}P_{sij}^t+\sum_{j=1}^{N_{wi}}P_{wij,av}^t+\sum_{j=1}^{N_{hi}}P_{hij}^t=P_{Di}^t+P_{Li}^t+\sum_{l,l\neq i}T_{il}^t$$

$i\in M$ and $t\in T$ (۱۵)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

که در آن T^t_{il} خط اتصال انتقال توان واقعی از ناحیه i به ناحیه l است. وقتی توان از ناحیه i به ناحیه l جریان می‌یابد، T^t_{il} مثبت است و زمانی که توان از ناحیه l به ناحیه i جریان می‌یابد، T^t_{il} منفی است.

تولید برق-آبی تابعی از میزان تخلیه آب و سر آب مخزن است که به نوبه خود تابعی از ذخیره‌سازی است.

$$P^t_{hij} = C_{1\,ij}(V^t_{hij})^2 + C_{2\,ij}(Q^t_{hij})^2 + C_{3\,ij}V^t_{hij}Q^t_{hij} + C_{4\,ij}V^t_{hij} + C_{5\,ij}Q^t_{hij} + C_{6\,ij}$$

$$j \in N_{hi}, \mathrm{I} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۱۶)$$

کل تلفات انتقال P^t_{Li} را می‌توان با استفاده از ضریب B بیان شده به صورت زیر محاسبه کرد:

$$P^t_{Li} = \sum_{k=1}^{N_t}\sum_{j=1}^{N_t} P^t_{ik}\,B_{ij}\,P^t_{ij} + \sum_{j=1}^{N_t} B_{0i}\,P^t_{ij} + B_{00} \qquad (۱۷)$$

در اینجا، تعداد کل نیروگاه‌های $N_{ti} = N_{si} + N_{hi} + N_{wi}$ و P^t_{ij} تولید برق حرارتی، آبی و بادی مربوطه در منطقه i در زمان t است.

محدودیت‌های تولید:

$$P^{min}_{hij} \le P^t_{hij} \le P^{max}_{hij} \quad \mathrm{j} \in N_{hi}, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۱۸)$$

$$P^{min}_{sij} \le P^t_{sij} \le P^{max}_{sij} \quad \mathrm{j} \in N_{si}, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۱۹)$$

$$P^{min}_{wij} \le P^t_{wij} \le P^{max}_{wij} \quad \mathrm{j} \in N_{wi}, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۰)$$

نرخ رمپ ژنراتور حرارتی محدودیت‌ها را محدود می‌کند:

محدودیت‌های نرخ شیب‌دار هر ژنراتور حرارتی باید در محدوده نرخ شیب بالا UR_{ij} و حد نرخ شیب پایین DR_{ij} باشد، به طوری که

$$P^t_{sij} - P^{(t-1)}_{sij} \le UR_{ij}, \mathrm{j} \in N_{si},\ i \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۱)$$

$$P^{(t-1)}_{sij} - P^t_{sij} \le DR_{ij}, \in N_{si},\ i \in \mathrm{M},\ \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۲)$$

محدودیت‌های شبکه هیدرولیک:

محدودیت‌های مجهز هیدرولیک شامل معادلات تعادل آب برای هر واحد آبی علاوه بر محدودیت‌های ذخیره و رهاسازی مخزن است. این محدوده‌ها با توجه به محدودیت‌های مخزن فیزیکی و سیستم و همچنین ضرورت چند منظوره سیستم آبی تعیین می‌شوند. این محدودیت‌ها شامل:

(الف) محدودیت‌های فیزیکی در حجم ذخیره‌سازی مخزن و نرخ تخلیه،

$$V^{min}_{hij} \le V^t_{hij} \le V^{max}_{hij}, \mathrm{j} \in N_h, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۳)$$

$$Q^{min}_{hij} \le Q^t_{hij} \le Q^{max}_{hij}, \mathrm{j} \in N_h, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۴)$$

(ب) معادله تداوم برای شبکه مخزن آبی

$$V^{(t+1)}_{hij} = V^t_{hij} + I^t_{hij} - Q^t_{hij} - S^t_{hij} + \sum_{i=1}^{R_{uj}}(Q^{(t-\tau ijl)}_{hil} - S^{(t-\tau ijl)}_{hil})$$

$$\mathrm{j} \in N_h, \mathrm{i} \in \mathrm{M}, \mathrm{t} \in \mathrm{T} \qquad (۲۵)$$

مدل نیروی باد:

توان خروجی [۴۷] jامین واحد تولید برق بادی در منطقه i در زمان t برای سرعت باد معین به صورت زیر بیان می‌شود.

$$P^t_{wij,av} = 0 \quad \text{برای} \quad v^t_{wi} < v_{in} \ \&\ v^t_{wi} > v_{out}$$

$$P^t_{wij,av} = P_{wrij}\left(\frac{v^t_{wi} - v_{in}}{v_r - v_{in}}\right), \quad \text{برای} \quad v_{in} \le v^t_{wi} \le v_r$$

$$P^t_{wij,av} = P_{wrij}, \quad \text{برای} \quad v_r \le v^t_{wi} \le v_{out} \qquad (۲۶)$$

محدودیت‌های ظرفیت خط اتصال:

انتقال توان خط اتصال T^t_{il} در زمان t از ناحیه i به ناحیه l نباید بیشتر شود.

ظرفیت انتقال خط اتصال برای ملاحظات امنیتی

$$-T^{max}_{il} \le T^t_{il} \le T^{max}_{il} \qquad (۲۷)$$

که در آن T^{max}_{il} حد جریان توان از ناحیه i به ناحیه l و T^{max}_{il} حد جریان توان از ناحیه l به ناحیه i است.

اصل بهینه‌سازی چند هدفه:

مسئله بهینه‌سازی چند هدفه شامل تعدادی هدف و تعدادی محدودیت برابری و نابرابری را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\mathrm{Minimize} f_i(x),\ \mathrm{i}=1,\ldots,N_{obj} \qquad (۲۸)$$

$$\left.\begin{matrix} g_k(x) = 0 \\ h_l(x) \le 0 \end{matrix}\right\},\ \mathrm{k}=1,\ldots,\mathrm{K}\ \text{and}\ \mathrm{l}=1,\ldots,\mathrm{L} \qquad (۲۹)$$

که در آن f_i تابع هدف iام است، x یک بردار تصمیم است.

MADEED یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه است. در اینجا، هزینه (F_C) و انتشار (F_E) توسط معادلات (۸) تا (۱۴) ارائه شده است. به ترتیب دو هدف متضاد هستند. محدودیت‌ها، محدودیت‌های موازنه توان هستند. محدودیت‌های حد تولید توسط معادلات (۱۸) تا (۲۰)، نرخ رمپ ژنراتور حرارتی محدودیت‌های ارائه شده توسط معادلات (۲۱) و (۲۲) را محدود می‌کند. محدودیت‌های شبکه هیدرولیک ارائه شده توسط معادلات (۲۳) تا (۲۵) و محدودیت‌های ظرفیت خط اتصال که توسط معادله (۲۷) ارائه شده است.

۵- مطالعه موردی

در این بخش نتایج بهینه سازی پیشنهادی توسعه یافته ارائه شده است. چون بهینه سازی متمرکز و غیر متمرکز شبکه های در نظر گرفته

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

شده هنوز قابل حل است، می توان کیفیت بهینه سازی مشارکتی محاسبه شده را با هم مقایسه کرد. شبکه IEEE 118 باس به منابع تولید پراکنده و دستگاه های ذخیره سازی اضافی مجهز شده‌اند.

۱-۵- مراحل اولیه و مقدماتی جهت اجرای مدل پیشنهادی

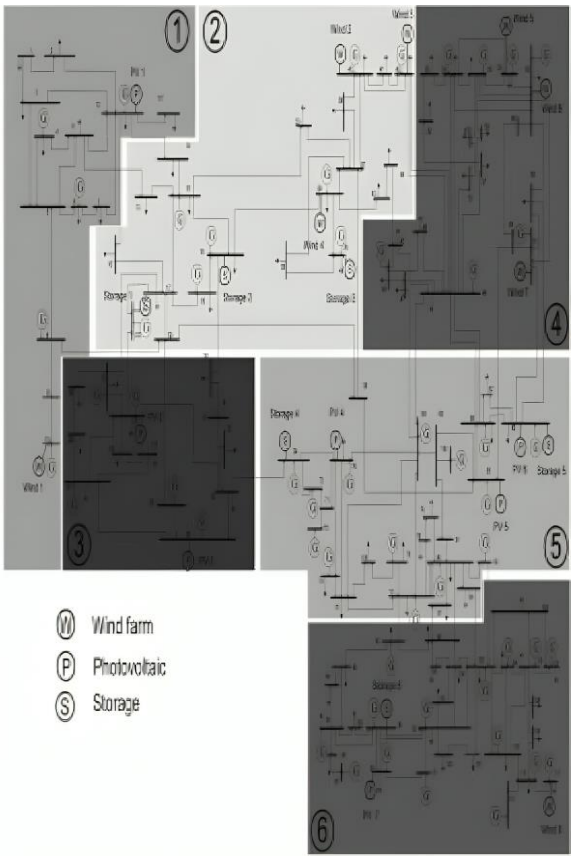
اجرای مدل پیشنهادی با مفروضاتی انجام می‌شود. مدل فرآیند دارای پیش‌بینی دقیق برای بار و تغذیه RES است، بنابراین دارای آینده‌نگری کامل است. زیرسیستم‌های خارجی نمی-توانند تولید منابع تجدیدپذیر سیستم های همسایه را ارسال کنند. محدودیت‌های خط طبق [۴۰] تعریف می‌شوند. سناریوها با یک پروفایل بار برای هر بار برای مدت ۲۴ ساعت تعریف می‌شوند. علاوه بر این، سرعت باد و تابش خورشیدی برای یک بازه زمانی تعریف شده‌اند. شبیه سازی‌ها با استفاده از نرم افزار متلب تحت کدنویسی M-file انجام شد.

۲-۵- شبکه IEEE 118

شبکه معیار IEEE 118 برای نشان دادن قابلیت‌های الگوریتم توسعه‌یافته استفاده شد. مطالعه موردی به ویژه بر تولید و ذخیره سازی ارسال مرزی متمرکز است. هزینه‌ها، راندمان و حداکثر توان خروجی در جدول ۱تعریف شده است. این تولید شامل چهار نیروگاه زیست توده، یک نیروگاه آبی پمپی، ۱۹ پارک بادی، ۱۱۸ فیدر (نشان دهنده یک شبکه خارجی با ظرفیت زیاد) است. ظرفیت نیروگاه‌های ذخیره سازی تلمبه‌ای هر کدام ۵۰۰۰ مگاوات ساعت می‌باشد. این سناریو توسط [۴۱] توسعه داده شد. شبکه IEEE 118 به ۶ زیر سیستم تقسیم شده است که در شکل (۵) نشان داده شده است. از این رو، زیرسیستم‌ها برای دستیابی به یک زمان بندی بهینه نیاز به هماهنگی دستگاه‌های ذخیره سازی و نیروگاه های زیست توده دارند.

جدول (۱): اطلاعات سناریو ۱۱۸ باس

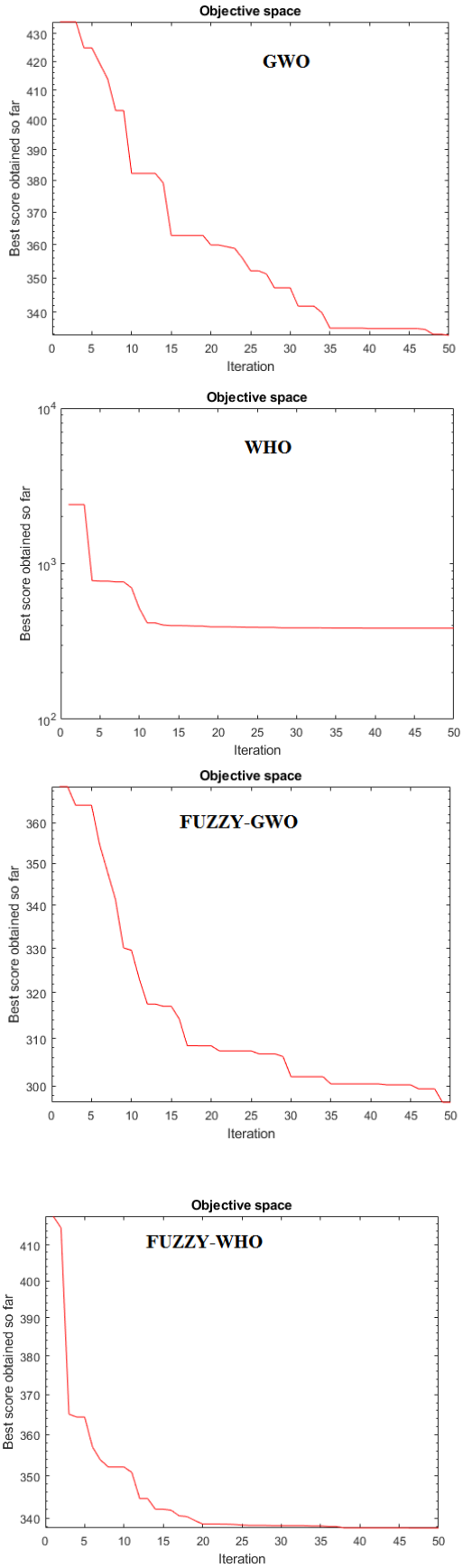
نام	Disp. costs €/MWh	Curtail. costs €/MWh	Pmax (MW)	η
Wind 1-4 & 8	۲/۳-۵۰/۵۰	۸۰۰	۵۰	۱
Wind 5-7	۲/۳-۵۰/۵۰	۸۰۰	۳۰	۱
PV 1-7	۱/۳-۳۰/۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱
Conv. 1-52	۱۰۰-۱۵	-	۷۰۰-۱۰۰	۰/۴۲
Feeder	۶۰۰	-	۱۰۰۰	۱
Storage 1-6	۲۵	-	۵۰	۰-/۹۰ ۰/۸۵



شکل (۵): شبکه گسترده IEEE 118 با تجهیزات RES و ذخیره سازی تقسیم شده به شش منطقه.

۱) راه حل غیر متمرکز: در ابتدای شبیه سازی، ما از یک مدل سیستماتیک غیر متمرکز برای بهره وری اقتصادی استفاده خواهیم برد. بر اساس مدل ارائه شده هر ناحیه به صورت ایزوله از هم بدون اتصالات بین ناحیه ای تحت الگوریتمهای مختلف پیشنهادی، بهینه سازی اقتصادی شدند. شکل (۶) نتایج شبیه سازی الگوریتم‌های Fuzzy-GWO و Fuzzy-WHO برای دوره‌های تکرار مختلف نمایش داده است. در نهایت جدول ۳ نتایج مقایسه برای پارامترهای مختلف شامل هزینه کل شبانه روز و تلفات کل برای یک دوره ۲۴ ساعته ارائه شده است. مقدار تابع هدف در این جدول شامل مولفه‌های فنی (پروفیل ولتاژ و تلفات) و اقتصادی (هزینه) می‌باشد.در این بخش اثرات HVDC لحاظ نشده است. شکل (۷) هم نتایج برای ولتاژ باسهای مختلف برای تکنیک‌های مختلف ارائه شده است. برای همه روشها تکنیک‌های اشاره شده محدودیت ولتاژ باسها رعایت شده است.

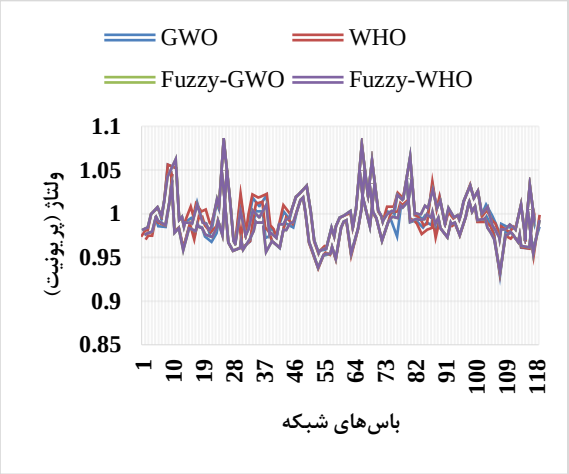
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۶): نتایج شبیه سازی عملکرد الگوریتم های پیشنهادی.

جدول ۲: نتایج شبیه سازی برای پارامترهای مختلف تحت الگوریتم-های پیشنهادی برای تکنیک‌های مختلف

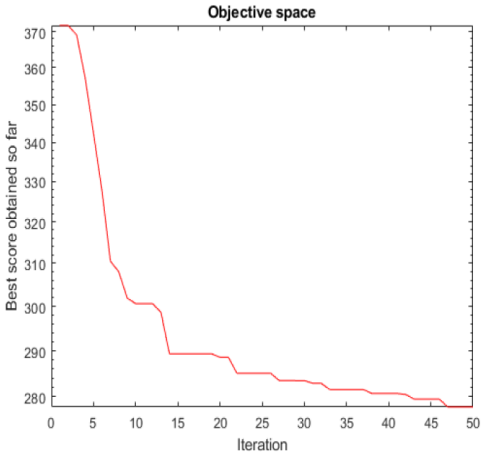
تکنیکهای پیشنهادی	مقدار نهایی تابع هدف	تلفات کل (MW)	اندازه تلفات (MW)	هزینه کل ($)
GWO	۱۲/۱۱	۱/٤-٤٥/٤٠	٤/٦٤	2.2964e+05
WHO	۱۱/٦٥	۱/٤-٣٤/٢٢	٤/٤٣	2.2965e+05
no	۱۳/۱۳	۱/٥-٢٩/٧٧	٥/٩٢	2.2956e+05



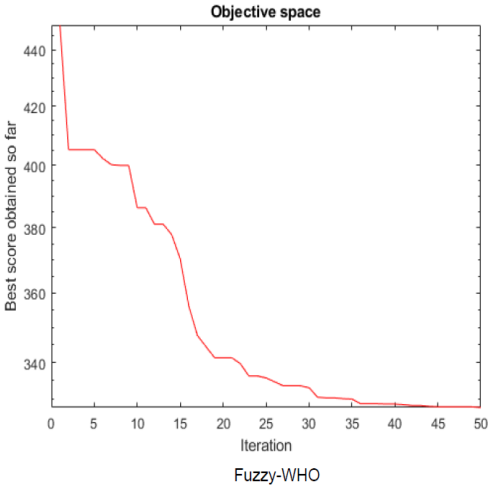
شکل (۷): نتایج ولتاژهای باس الگوریتم‌های پیشنهادی.

۲) راه حل متمرکز: در این روش تمام نواحی با هم متصل بوده و قادر به تبادل توان بین نواحی مختلف خواهند بود. کنترل کننده متمرکز دارای دانش کامل سیستم است و قادر است هر متغیر کنترلی را زمان بندی کند. در نتیجه، بهینه سراسری با مسیرهای راه حل مرکزی همانطور که در شکل (۸) و (۹) نشان داده شده است، تعریف می‌شود. تولید دستگاه-های ذخیره سازی دارای برخی اختلافات است. بهینه سازی متمرکز، ذخیره سازی را با حداکثر توان خروجی، در ساعات مختلف، بکار می-گیرد. در ساعات مختلف بیشبود انرژی تولید شده در ذخیره سازها برای ساعات کمینه مصرف ذخیره می‌شود و در ساعات بییشینه مصرف به بار تحویل داده می‌شود. تغذیه کننده حاصل از منبع آبی برای سناریوی متمرکز مورد نیاز است. یک اختلاف ممکن است بسته به تولید استفاده شده تنها منجر به حداقل هزینه اضافی شود. بهینه سازی متمرکز برای برآوردن تقاضا مقادیر مختلف هزینه می‌کند. نتایج مقادیر هزینه و تلفات در جدول ۳- آورده شده است. شکل ۱۰ هم پروفیل ولتاژ باسها را نمایش داده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



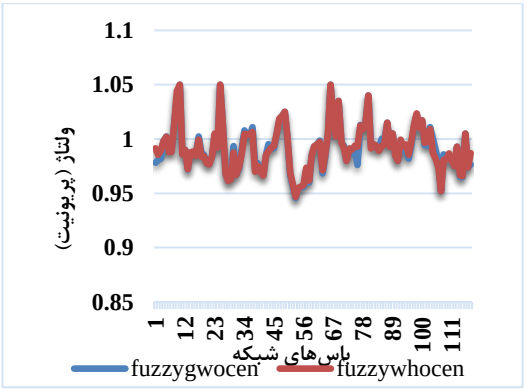
شکل (۸): نتایج شبیه‌سازی براساس رویکرد GWO



شکل (۹): نتایج شبیه‌سازی براساس رویکرد WHO

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی برای پارامترهای مختلف تحت الگوریتم‌های پیشنهادی برای تکنیک‌های مختلف.

تکنیکهای پیشنهادی	مقدار نهایی تابع هدف	تلفات کل ($)	هزینه کل ($)
Fuzzy-GWO	277.8323	0.9483 - 6.4875i	**2.40E+05**
Fuzzy-WHO	327.6321	0.9882 - 6.2784i	**4.01E+05**



شکل (۱۰): نتایج ولتاژ باس‌ها در الگوریتم‌های پیشنهادی.

برای شبکه IEEE 118 BUS استراتژی‌های بهره‌برداری مختلف ممکن است به یک راه حل اقتصادی بسیار نزدیک به بهینه سراسری منجر شود. در مساله این مقاله، کل تولید از ۵۳ ژنراتور، ۸ مزرعه بادی، و ۱نیروگاه برق آبی تلمبه‌ای تولید می‌شود. شبکه نیز به ۶ ناحیه کنترلی تقسیم شده است. همچنین در این طراحی از تکنیک HVDC در توربین‌های بادی و خطوط بین نواحی بهره گرفته شد.

سه نیروگاه بادی با حداکثر توان خروجی ۳۰۰ مگاوات در منطقه ۴ واقع شده است. دستگاه ذخیره سازی ۵ واقع در منطقه ۵ انرژی باد را ذخیره می‌کند. به منظور مطابقت با محدودیت‌های خط، محدود کردن مزارع بادی ۵ و ۶ در بهینه سازی تعاونی مورد نیاز است. راه حل مرکزی قادر است تغذیه کامل مزرعه بادی ۵ را یکپارچه کند. بهینه سازی متمرکز 2.40E+05 یورو برای برآوردن تقاضا هزینه می‌کند. در مقایسه، رویکرد تعاونی غیر متمرکز پس از ۵۰ تکرار 2.56E+05 یورو هزینه می‌کند. بنابراین، بهینه سازی پیشنهادی، هزینه را به ۹۳/۷۵ درصد از بهینه سراسری می‌رسد.

روش ارائه شده قادر به دستیابی به زمانبندی نزدیک به بهینه سراسری است. در نظر گرفتن دستگاه‌های ذخیره سازی به میزان قابل توجهی به پیچیدگی مسئله می‌افزاید. نتایج نشان می‌دهد که این روش قادر است دستگاه‌های تولید و ذخیره‌سازی را نزدیک به بهینه سراسری ارسال کند. مزایا شامل موارد زیر هستند

- روش تعریف شده و کنترل شده ارسال مجدد مرزی.
- TSOها حوزه مسئولیت و استقلال خود را حفظ می‌کنند.
- عملیات شبکه انعطاف پذیرتر و کارآمدتر.

کاهش هزینه ارسال در مقایسه با رویکرد غیرمتمرکز.

- همکاری دستگاه‌های ذخیره سازی و تعریف مدل فازی قیود حاکم بر مساله و ایجاد چندین ناحیه کنترل متمرکز برای دستیابی به رفع ازدحام، محاسبات موازی را فعال می‌کند و پیچیدگی کلی مسئله را کاهش می‌دهد.
- در نظر گرفتن پیش‌بینی‌های باد که بطور مداوم بروز می‌شوند.

همانطور که مطالعات قبلی [۴۲] نشان دادند، استفاده از اندازه گام کوچک برای بهینه سازی (۱۵ دقیقه) و در نظر گرفتن محدودیت های متغیر و ناپیوسته ضروری است. از آنجایی که حداقل/حداکثر توان خروجی نیروگاه حرارتی به نقطه عملیاتی واحد تولیدی بستگی دارد. هر دو الزامات با فرمول ارائه شده پرداخته شده است. اما این مساله با محدوده زمانی یک ساعت حل شده تا سرعت شبیه‌سازی بالاتر رود.

به منظور تضمین همگرایی یک OPF DC توزیع شده، محققین [۴۳] نیاز به یک "Super-TSO" را معرفی کردند. همگرایی روش ارائه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

شده با استفاده از محاسبه مقدار فازی همانطور که در بخش ۴-۳-۳ توضیح داده شده است، تضمین می‌شود.

همکاری مناطق کنترل باید TSO ها را قادر می‌سازد تا تعادل قدرت و دستگاه‌های ذخیره سازی مناطق همسایه را در نظر بگیرند. نتایج شبیه سازی ارائه شده ثابت می‌کند که همکاری چندین ناحیه کنترلی استفاده بهینه از توان موازنه در مناطق همسایه را ممکن می-سازد. از این رو، انرژی‌های تجدیدپذیر را می توان با در نظر گرفتن هزینه‌های جهانی به دستگاه‌های ذخیره سازی مناطق کنترل همسایه منتقل کرد.

مطالعات پیشین [۴۶] یک رویکرد OPF توزیع شده شامل دستگاه‌های ذخیره سازی را ارائه کردند. نتایج شبیه سازی مقاله مذکور از شبکه ۱۴ گرهی با یک دستگاه ذخیره سازی استفاده کرده است. این شبکه به دو زیر سیستم تقسیم شد. از این رو این سناریو یک کار توزیعی بسیار سخت را نشان می‌دهد. در این شرایط، تبادل انرژی برون مرزی اقتصادی از جمله استفاده از انبارها امکان پذیر است، زیرا این روش به صراحت مناطق کنترل را قادر می‌سازد از ظرفیت ذخیره‌سازی زیرسیستم های همسایه بر خلاف[۴۶] استفاده کنند.

این ادغام موفقیت آمیز برای شبکه IEEE 118 تحت فشار نیز نشان داده شد، عملکرد در این مورد به ۵۹ درصد از بهینه سراسری رسید. مطالعات پیشین از معادلات جریان برق AC استفاده کردند [۴۶]، در حالی که این مطالعه از یک مدل جریان برق DC و AC استفاده کرد. مشابه به مطالعات پیشین [۴۶]، پایبندی به اصل N-1 فرض می شود، اگر ظرفیت خط استفاده شده ۸۰٪ از ظرفیت خط نامی باشد. این محدودیت توسط [۴۴] برطرف شده است. رفتار تصادفی تولید تجدیدپذیر در مقاله ارائه شده مورد توجه قرار نگرفته است، نسخه‌های آینده ممکن است شامل اثرات تصادفی با کمک MPC تصادفی باشد [۴۵].

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تلاش شده است تا با استفاده از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی، توزیع پخش بار اقتصادی غیرمتمرکز در سیستم انتقال بهبود یابد. در این روش ترکیبی، توانسته‌ایم مزیت‌های الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی را بهره‌برداری کنیم. الگوریتم گرگ خاکستری به عنوان یک الگوریتم فرابتکاری مبتنی بر رفتار گروهی گرگ‌ها، قابلیت جستجوی گسترده و بهبود تدریجی را داراست. همچنین، الگوریتم اسب وحشی با الهام از رفتار گروهی اسب‌های وحشی، توانایی اکتشاف و بهبود جهت یافتن بهینه‌ها را داراست. با ترکیب این دو الگوریتم و استفاده از سیستم منطق فازی، توانستیم به نتایج قابل قبولی در بهبود توزیع توان اقتصادی در سیستم انتقال دست یابیم.

بهبود توزیع توان اقتصادی غیرمتمرکز در سیستم انتقال از اهمیت بالایی برخوردار است. این بهبود می‌تواند منجر به کاهش تلفات انرژی، بهینه‌سازی استفاده از منابع انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری اقتصادی شود. در نتیجه، پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در سیستم‌های قدرت بزرگ می‌تواند بهینه‌سازی عملکرد سیستم، کاهش هزینه‌ها و بهبود توزیع منابع را به همراه داشته باشد.

با توجه به نتایج این پژوهش، توصیه می‌شود که در آینده بیشتر به تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط با استفاده از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی در بهبود توزیع توان اقتصادی غیرمتمرکز در سیستم‌های انتقال پرداخته شود. این الگوریتم‌ها می‌توانند به عنوان ابزاربا استفاده از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی، می‌توان به بهبود قابل توجهی در توزیع توان اقتصادی غیرمتمرکز در سیستم انتقال دست یافت. این بهبود عملکرد می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید، بهره‌وری بالاتر، کاهش تلفات انرژی و بهینه‌سازی استفاده از منابع انرژی شود. سایر پیشنهادات برای ادامه تحقیقات در زمینه بهبود توزیع و پخش بار اقتصادی غیرمتمرکز در سیستم انتقال عبارتند از:

۱. بررسی تأثیر الگوریتم‌ها در شبکه‌های بزرگتر: در این پیشنهاد، مطالعات بیشتری بر روی نحوه عملکرد الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی در سیستم‌های انتقال بزرگتر انجام شود. شبکه‌های بزرگ انتقال انرژی می‌توانند شامل صدها یا حتی هزاران خط انتقال باشند و مطالعه تأثیر الگوریتم‌ها در این شبکه‌ها می‌تواند نقش مهمی در بهبود کارایی و بهره‌وری این سیستم‌ها ایفا کند.

۲. اعمال الگوریتم‌ها در شبکه‌های هوشمند: با گسترش استفاده از شبکه‌های هوشمند، که شامل اتصالات بیشتر بین سیستم‌های تولید و مصرف انرژی است، می‌توان اثربخشی الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی را در این شبکه‌ها بررسی کرد. اعمال الگوریتم‌های هوشمند در شبکه‌های هوشمند می‌تواند به بهبود کنترل توزیع توان و بهینه‌سازی استفاده از منابع انرژی منجر شود.

۳. ارزیابی پایداری و اعتبارسنجی: در آینده، مطالعات بیشتری برای ارزیابی پایداری و اعتبارسنجی الگوریتم‌های گرگ خاکستری و اسب وحشی در مقایسه با روش‌های دیگر می‌توان انجام داد.

مراجع

[1] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, "*Power Generation Operation and Control*", Wiley Publication, New York, NY, USA, 2013.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

differential evolution with time-varying mutation," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 3, pp. 753–766, 2011.

[18] G. R. Venkatakrishnan, J. Mahadevan, and R. Rengaraj, "Grey Wolf Optimizer for economic load dispatch with valve point loading," International Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 7, pp. 158–163, 2016.

[19] A. V. V Sudhakar, K. Chandaran, and A. Jaya Laxmi, "Differential evolution for solving multi-area economic dispatch," in *Proceedings of the 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Delhi, India, September 2014.

[20] M. Yoshimi, K. S. Swarup, and Y. Izui, "Optimal economic power dispatch using genetic algorithms," in *Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems [1993]*, pp. 157–162, Yokohama, Japan, April 1992.

[21] [21] K. Y. Lee and M. A. El-*Sharkawi*, *Modern Heuristic Search Techniques*, Wiley Publication, Hoboken, NJ, USA, 2008.

[22] V. K. Kamboj, S. K. Bath, and J. S. Dhillon, "Solution of nonconvex economic load dispatch problem using grey wolf optimizer," *Neural Computing & Applications*, vol. 25, no. 7, 2015.

[23] Entso-E, Operation handbook, 2004, Tech. Rep.

[24] C. Sun, and V. Jahangiri. "Bi-directional vibration control of offshore wind turbines using a 3D pendulum tuned mass damper." *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 2, pp. 338-360.

[25] V. Jahangiri, and M. Mohammad Ettefagh. "Multibody Dynamics of a Floating Wind Turbine Considering the Flexibility Between Nacelle and Tower." *International Journal of Structural Stability and Dynamics*,Vol. 2, No. 3, pp. 1850085.

[26] V. Jahangiri, H., Mirab, R. Fathi, and E. Mir Mohammad. "TLP Structural Health Monitoring Based on Vibration Signal of Energy Harvesting System." *Latin American Journal of Solids and Structures*, Vol. 13, no. 5, pp. 897-915, 2016.

[27] H. Mirab, R., Fathi, V. Jahangiri, M. Ettefagh, and R. Hassannejad. "Energy harvesting from sea waves with consideration of airy and JONSWAP theory and optimization of energy harvester parameters." *Journal of Marine Science and Application* Vol. 14, no. 4, pp. 440-449, 2015.

[28] M. Dabbaghjamanesh, Morteza, A. Kavousi-Fard, and S. Mehraeen. "Effective Scheduling of Reconfigurable Microgrids with Dynamic Thermal Line Rating." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 10, No. 4, pp, 245-256, 2018.

[29] M. Dabbaghjamanesh, S. Mehraeen, A. Kavousi Fard, and F. Ferdowsi. "A New Efficient Stochastic Energy Management Technique for Interconnected AC Microgrids." *arXiv preprint arXiv:1803.03320*, 2018.

[30] S. Ghaffari, and M. Ashkaboosi. "Applying Hidden Markov Model Baby Cry Signal Recognition Based on Cybernetic Theory." *IJEIR* 5, no. 3, 243-247, 2016.

[31] H. Davarikia, F. Znidi, M. R. Aghamohammadi, K. Iqbal. Identification of coherent groups of generators based on synchronization coefficient. 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). 2016.

[32] F. Znidi, H. Davarikia and K. Iqbal, "Modularity clustering based detection of coherent groups of generators with generator integrity indices," in 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2017, pp. 1-5.

[33] H. Davarikia, "Investment Plan Against Malicious Attacks on Power Networks: Multilevel Game-Theoretic Models

[2] K. P. Wong and C. C. Fung, "Simulated annealing based economic dispatch algorithm," *IEEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution*, vol. 140, no. 6, pp. 509– 515, 1993.

[3] D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, no. 3, pp. 1325–1332, 1993.

[4] H. T. Yang, P. C. Yang, and C. L. Huang, "Evolutionary programming based economic dispatch for units with nonsmooth fuel cost functions," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 112–118, 1996.

[5] C. T. Lin and C. T. Lin, "New approach with a Hopfield modeling framework to economic dispatch," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 541–545, 2000.

[6] Y. H. Hou, Y. W. Wu, L. J. Lu, and X. Y. Xiong, "Generalized ant colony optimization for economic dispatch of power systems," *Int. Conf. Power System Technology*, vol. 1, pp. 225–229, 2002.

[7] Z.-L. Gaing, "Particle Swarm Optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 18, no. 3, pp. 1187–1195, 2003.

[8] B. K. Panigrahi, S. R. Yadav, S. Agrawal, and M. K. Tiwari, "A clonal algorithm to solve economic load dispatch," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, no. 10, pp. 1381–1389, 2007.

[9] S.-K. Wang, J.-P. Chiou, and C.-W. Liu, "Non smooth/nonconvex economic dispatch by a novel hybrid differential evolution algorithm," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 1, no. 5, pp. 793–803, 2007.

[10] B. K. Panigrahi and V. Ravikumar Pandi, "Bacterial foraging optimisation: Nelder-Mead hybrid algorithm for economic load dispatch," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 2, no. 4, pp. 556–565, 2008.

[11] A. Bhattacharya and P. K. Chattopadhyay, "Biogeographybased optimization for different economic load dispatch problems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 2, pp. 1064–1077, 2010.

[12] R. Shoults, S. Chang, S. Helmick, and W. Grady, "A practical approach to unit commitment, economic dispatch and savings allocation for multiple-area pool operation with import/ export constraints," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 99, no. 2, pp. 625–635, 1980.

[13] T. Yalcinoz and M. J. Short, "Neural networks approach for solving economic dispatch problem with transmission capacity constraints," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 307–313, 1998.

[14] [14] D. Streiffert, "Multi-area economic dispatch with tie line constraints," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, no. 4, pp. 1946–1951, 1995.

[15] [15] C. L. Nanming Chen and N. Chen, "Direct search method for solving economic dispatch problem considering transmission capacity constraints," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, no. 4, pp. 764–769, 2001.

[16] P. S. Manoharan, P. S. Kannan, S. Baskar, and M. Willjuice Iruthayarajan, "Evolutionary algorithm solution and KKT based optimality verification to multi-area economic dispatch," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 31, no. 7-8, pp. 365–373, 2009.

[17] M. Sharma, M. Pandit, and L. Srivastava, "Reserve constrained multi-area economic dispatch employing

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

with Shared Cognition." PhD diss., University of Arkansas at Little Rock, 2017.

[34] [34] H. Davarikia, M. Barati, F. Znidi, K. Iqbal, "Real-Time Integrity Indices in Power Grid: A Synchronization Coefficient Based Clustering Approach," arXiv Preprint arXiv:1804.02793, 2018.

[35] M. Bagheri, M. Madani, R. Sahba, and A. Sahba. "Real time object detection using a novel adaptive color thresholding method." In Proceedings of the 2011 international ACM workshop on Ubiquitous meta user interfaces, pp. 13-16. ACM, 2011.

[36] M. Basu, "Teaching–learning-based optimization algorithm for multi-area economic dispatch," *Energy*, vol. 68, pp. 21-28, 2014.

[37] L. D. Mech, "Alpha status, dominance, and division of labor in wolf packs," *Canadian Journal of Zoology*, vol. 77, pp. 1196-1203, 1999.

[38] C. Muro, R. Escobedo, L. Spector, and R. Coppinger, "Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations," *Behavioural processes*, vol. 88, pp. 192-197, 2011.

[39] Naruei, I., and Keynia, F. Wild horse optimizer: A new meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems. Engineering with Computers, 2021, S. 1-32.

[40] *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors*, IEEE Std. 738-2006 (revision of IEEE Std 738-1993), IEEE, 2007, vol. 1, pp. c1-59, 2007.

[41] J. Lofberg, "Yalmip: A toolbox for modeling and optimization in matlab," in *Proc. 2004 IEEE Int. Symp. Computer Aided Control Systems Design*, pp. 284–289, 2004.

[42] J. Garcia-Gonzalez, A. San Roque, F. Campos, and J. Villar, "Connecting the intraday energy and reserve markets by an optimal redispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 2220–2231, Nov. 2007.

[43] P. Biskas, A. Bakirtzis, N.Macheras, and N. Pasialis, "A decentralized implementation of DC optimal power flow on a network of computers," *IEEE Trans. Power Syst.* vol. 20, no. 1, pp. 25–33, 2005.

[44] G. Hug-Glanzmann and G. Andersson, "N-1 security in optimal power flow control applied to limited areas," *IET Gener., Transm., Distrib.*, vol. 3, no. 2, pp. 206–215, 2009.

[45] R. Findeisen, F. Allgöwer, and L. T. Biegler, *Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control*. Berlin, Germany: Springer, vol. 358, 2007.

[46] Kahl, M., C. Freye, and T. Leibfried. A cooperative multi-area optimization with renewable generation and storage devices. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(5), 2386-2395, 2014.

[47] D.C. Walters, G.B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading." *IEEE Trans. Power System*. Vol. 8, No. 3, pp. 1325– 1332, 1993.

[48] J. Hetzer, D.C. Yu, K. Bhattarai, "*An economic dispatch model incorporating wind power*." IEEE Trans. Energy Convers. Vol. 23, no. 2, pp. 603– 611, 2008.

[49] H.M. Dubey, M. Pandit, B.K. Panigrahi, "Hydro-thermal-wind scheduling employing novel ant lion optimization technique with composite ranking index." *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* vol. 83, no. 2, pp.158–174, 2016.

[50] M.R. Gent, J.W. Lamont, "Description and Bibliography of Major Economy-Security Functions Part II-Bibliography (1959-1972)." *IEEE Trans*. Vol. 90, no. 2, pp. 2650–2660, 1971.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Determining the distribution of decentralized economic power in the transmission system with the help of gray wolf and wild horse algorithms

Milad Dehvan[1], Babak Mozafari[2]*, Soodabeh Soleymani Muchekhorti[3], Hossein Mohammadnezhad Shourkaei[4], Mehrnoosh Vatani[5]

1-Phd student,Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, milad_dehvan@yahoo.com

2*-Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mozafari@srbiau.ac.ir

3-Professor, Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, s.soleymani@srbiau.ac.ir

4-Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, h-mohammadnejad@srbiau.ac.ir

5-Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, m.vatani@srbiau.ac.ir

Abstract: Economic dispoatch in the operation of modern power systems is of great importance. The economic load dispatch, taking into account all constraints, needs to be allocated among different multi-area generators. Economically distributing the load in multi-area economic dispatch (MAED) can simultaneously satisfy multiple constraints. In this regard, the use of algorithms can be helpful. This study aimed to determine the decentralized economic power dispatch in the transmission system using Grey Wolf Optimization (GWO) and Wild Horse Optimization (WHO) algorithms. In this study, a combination of GWO and WHO algorithms, aided by a fuzzy logic system, was employed in MATLAB software to obtain the optimal power generation schedule for a 24-hour period in the presence of HVDC and HVAC transmission lines. The results of this study on the IEEE 118 BUS network demonstrated that the GWO and WHO algorithms, considering point load, achieved satisfactory results in reducing losses and generation costs. Therefore, the use of these algorithms is recommended for improving decentralized economic power dispatch in the transmission system.

Key words: economic load dispatch; decentralized approach; transmission system; wild horse and grey wolf algorithm

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]