برنامه‌ریزی ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی در شبکه‌های توزیع فعال با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی

وهاب درفشدار[۱]، محمد تبریزیان*[۲]، حمیدرضا شاهمیرزاد[۳]

۱- کارشناس ارشد برق قدرت، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام خمینی(ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
v.darafshdar@gmail.com

*۲- استادیار گروه برق قدرت، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام خمینی(ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
mm_tabrizian@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد برق قدرت، دانشکده مهندسی برق، واحد یادگار امام خمینی(ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
hr.shahmirzad@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۳/۳۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۶/۲۹

چکیده: در حال حاضر برخی از شبکه‌های برق دنیا، به دلیل عدم مدیریت انرژی مناسب و عدم کاربرد ذخیره‌سازها، قدری ناکارآمد بوده و لذا نیروگاه‌ها برای حفظ کیفت توان، ناگزیر به تولید بیشتر هستند. در صورت استفاده از ذخیره‌سازها در شبکه برق، نیاز به ساخت نیروگاه‌های بزرگ کاهش یافته و پایداری شبکه بهبود می‌یابد و در نتیجه بسیاری از این ناکارآمدی‌ها برطرف خواهد شد. با استفاده از ذخیره‌سازها مصرف‌کنندگان ترغیب می‌شوند تا با مدیریت بهینه مصرف خود، در ساعات پیک به شبکه برق فروخته و سبب افزایش پایداری شبکه شده و بهره‌بردار شبکه نیز در ساعات اوج مصرف، کمبود توان شبکه را از طریق نزدیک‌ترین ذخیره‌ساز جبران نماید که به دلیل نزدیکی ذخیره‌ساز به مصرف‌کننده کمترین تلفات را در خط انتقال خواهیم داشت. در این مقاله، با پیشنهاد مسأله بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی فازی برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی سیستم‌های ذخیره انرژی(ESS) در شبکه‌های توزیع فعال(ADS) تأثیر راهبرد بهره‌برداری بهینه ESS تحلیل گردیده و از شبکه توزیع اصلاح شده ۳۳ باسه استاندارد IEEE برای بررسی قابلیت پیاده‌سازی و کارایی مدل پیشنهادی استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم ذخیره انرژی، شبکه توزیع فعال، بازار برق، بهینه‌سازی چندهدفه، بهینه‌سازی چندسطحی

۱- مقدمه

یکی از مسائل عمده‌ای که همواره مورد توجه برنامه‌ریزان و بهره‌برداران سیستم قدرت قرار دارد، تغییرات زیاد و غیریکنواخت بودن منحنی بار در ساعات مختلف شبانه‌روز است. این موضوع باعث شده است تا فقط در ساعات اوج بار از کل ظرفیت تولید نصب شده در سیستم قدرت استفاده شود و در ساعات کم‌باری و میان‌باری مقدار زیادی از این سرمایه‌گذاری اولیه و ظرفیت منصوبه، خارج از مدار و بلا استفاده باشد. این مشکل در برخی شبکه‌های قدرت که دارای منحنی بار با تغییرات زیاد هستند نیز مشاهده می‌شود. این موضوع پژوهشگران را بر آن داشته تا با نگاهی به تجربیات بشر و پیش زمینه‌های گذشته، در اندیشه تحقق ذخیره انرژی الکتریکی باشند. از آنجایی که در فضای بازار رقابتی برق، هزینه تولید برق و قیمت فروش آن در ساعات مختلف شبانه‌روز تغییر می‌کند، لذا ایده ذخیره‌سازی برق در ساعات غیراوج و استفاده از آن در ساعات اوج بار مطرح شد. استفاده از انرژی با ظرفیت بالا به‌منظور هم‌تراز کردن منحنی مصرف و افزایش ضریب بار از کاربردهای اولیه ذخیره انرژی در سیستم قدرت جهت بهره‌برداری اقتصادی است. امروزه گسترش فناوری

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی(ESS) برای تامین توان، جایگاه ویژه‌ای در شبکه قدرت پیدا کرده است. از آنجایی که سیستم قدرت در حال تغییرات عمده‌ای است، ذخیره‌سازی انرژی در سیستم قدرت، یک انتخاب بسیار مهم برای تحت پوشش قرار دادن مسائلی از قبیل تجدیدساختار صنعت برق و شکل‌گیری بازار برق، کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر و تقویت بهره‌برداری تولیدات پراکنده، بهبود کیفیت توان و کمک به عملکرد شبکه تحت مقررات حفاظت زیست‌محیطی است. به‌طور خلاصه مزایای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی عبارتند از: بهبود پایداری شبکه، بهبود کیفیت توان، افزایش بازدهی نیروگاه‌های سوخت فسیلی با ثابت نگه‌داشتن سطح تولید، ثبات در تأمین توان مورد نیاز مصرف‌کنندگان، تطابق همزمان عرضه و تقاضا و اصلاح اوج بار برای مصرف‌کنندگان.

در سال های اخیر، گرمایش زمین منجر به افزایش قابل توجهی در وقوع شرایط فاجعه آمیز شده است. این رویدادها همیشه اثرات مخربی بر سیستم های توزیع داشته و منجر به کاهش بار گسترده می شود. بنابراین ساختار سیستم های توزیع باید از استحکام و مقاومت کافی برای مقابله با این حوادث برخوردار باشد. مرجع[۱] یک چارچوب چند مرحله‌ای را برای رسیدگی به اهداف متعدد به شیوه‌ای طبقه‌بندی شده برای ادغام همزمان واحدهای DG و سیستم ذخیره‌سازی انرژی باتری (BESS) در یک شبکه توزیع پیاده‌سازی می‌کند. یک تکنیک فراابتکاری ترکیبی جدید توسعه داده شده و با رویکرد تکنیک ترتیب اولویت با شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) و تکنیک فاصله ازدحام برای تولید راه‌حل‌های بهینه پارتو از اهداف چندگانه فنی، اقتصادی و محیطی ترکیب شده است. مرجع[۲] یک چارچوب سه مرحله ای ارائه می‌دهد که در آن استراتژی ریزشبکه برای مشارکت در بازار برق با در نظر گرفتن شاخص های اقتصادی، فنی و زیست محیطی تعیین می شود. در مرحله اول، ریزشبکه ها برنامه‌ریزی روزانه خود را انجام می‌دهند و پیشنهادات را به اپراتور سیستم مستقل (ISO) ارسال می‌کنند. در مرحله دوم، ISO قیمت تسویه ساعتی بازار (MCP) را با توجه به پیشنهادات ریزشبکه ها تعیین می کند و در نهایت، در مرحله سوم، ISO مشکل پیکربندی مجدد فیدر توزیع (DFR) را با توجه به محدودیت های جریان برق حل می‌کند. روش ارزش شرطی در معرض خطر (CVaR) برای مقابله با عدم قطعیت های تقاضا و منابع انرژی تجدیدپذیر (RER) استفاده می شود، و مسئله نهایی به عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم عدد صحیح مختلط (MIQCP) فرموله می‌شود. مدل پیشنهادی بر روی یک سیستم توزیع ۶۹ شینه پیاده‌سازی شده و نتایج نشان می‌دهد که حضور همزمان سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی (EES) و برنامه پاسخ تقاضا (DR) قیمت‌های حاشیه‌ای ریزشبکه‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه انعطاف پذیری ISO را افزایش می دهد و بنابراین منجر به کاهش در MCP می شود. مرجع[۳] یک چارچوب برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) را برای قرار دادن بهینه سوئیچ‌های مقطعی و ژنراتورهای توزیع شده پشتیبان (DGs) برای افزایش انعطاف‌پذیری در شرایط اضطراری ارائه می‌کند. در مدل پیشنهادی بارهای با اولویت کم، اولویت متوسط و با اولویت بالا در نظر گرفته شده و یک برنامه پاسخ به تقاضا (DR) نیز اجرا شده است. در مرجع[۴] به منظور بهبود نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر برای شبکه‌های توزیع، یک مدل برنامه‌ریزی مشترک از تولیدات پراکنده (DGs)و ذخیره‌سازی انرژی برای یک شبکه توزیع فعال با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی پیشنهاد شده‌است. در این مدل، سطح بالا به دنبال مکان و ظرفیت بهینه DG ها و ذخیره انرژی است، در حالی که سطح پایین عملکرد دستگاه های ذخیره انرژی را بهینه می کند. برای حل این مدل، یک الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری مبتنی بر بهینه‌سازی آشوب توسعه یافته است و برنامه‌ریزی مشترک بهینه از طریق تکرارهای متناوب بین دو سطح به دست می‌آید. نتایج شبیه‌سازی بر روی سیستم توزیع ۶۹ شینه PG & E نشان می‌دهد که رویکرد ارائه‌شده موفق به کاهش انحراف برنامه‌ریزی ناشی از عدم قطعیت خروجی‌های DG و بهبود قابل ملاحظه مشخصات ولتاژ و اقتصاد عملیاتی سیستم‌های توزیع می‌شود. در مرجع[۵] به منظور حل موثر مشکلات اتلاف منابع و آلودگی محیطی ناشی از افزایش تدریجی مقیاس از کار انداختن باتری های برق، باتری های برق بازنشسته مورد استفاده در شبکه توزیع فعال(ADN) یکی از راه حل ها می باشد. با در نظر گرفتن تفاوت حالت اولیه هر سلول، یک روش تخصیص ظرفیت سیستم ذخیره انرژی (ESS) برای ADN با در نظر گرفتن ارزیابی خطر سلامت پیشنهاد شده است. در مرجع[۶] روشی را برای مکان‌یابی و اندازه‌بندی بهینه سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های توزیع فعال که میزبان مقدار زیادی از منابع انرژی تجدیدپذیر توزیع‌شده تصادفی هستند، پیشنهاد می‌کند. هدف بهینه سازی به حداقل رساندن خطای ارسال محاسبه شده ADN در روز آینده است. تخصیص ESS در حالی تعیین می شود که از ویژگی های عملیاتی آنها در مورد قابلیت ارسال ADN استفاده می شود. برای تایید روش پیشنهادی، شبیه‌سازی‌های گسترده بر روی یک شبکه سوئیسی واقعی که ظرفیت تولید PV قابل توجهی را تعبیه کرده است، انجام می‌شود. در مرجع[۷] سیستم ذخیره‌سازی انرژی پراکنده روشی مؤثر در سازگاری با افزایش نفوذ DGها و نقش

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

مهمی در عملکرد ADN خواهد داشت. با این حال، هزینه سرمایه بالا و چرخه عمر محدود، توسعه بیشتر سیستم ذخیره‌سازی انرژی پراکنده را محدود می کند. در این مطالعه، یک روش مبتنی بر استراتژی عملیاتی برای ارزیابی اقتصادی سیستم ذخیره‌سازی انرژی پراکنده پیشنهاد شده است. که اثربخشی روش ارزیابی اقتصادی بر روی فیدر آزمایشی ۳۳ گره اصلاح‌شده IEEE تأیید می‌شود. مرجع[۸] به استفاده از توربین‌های بادی همراه با ذخیره‌سازها جهت افزایش قابلیت اطمینان شبکه پرداخته است. به‌منظور بررسی عدم قطعیت از مدل ARIMA و نیز نمونه‌برداری توسط شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. در مرجع[۹] تمرکز بر ترکیب دو نوع ذخیره‌ساز مختلف انرژی به عنوان سیستم ذخیره‌سازی انرژی ترکیبی است. سیستم‌های ذخیره‌ساز ترکیبی به‌طور مطلوب با ویژگی‌های مکمل یکدیگر مشخص شده‌اند و هدف اتصال آنها، بهره‌گیری از نقاط قوت هر کدام است. در این مرجع ذخیره‌سازهای مورد بحث شامل خودرو الکتریکی، سلول‌های فتوولتائیک، باطری‌های اسیدی و باطری وانادیم ریدوکس است. مرجع[۱۰] نظریه پورتفولیو، برای تخصیص ظرفیت ذخیره‌ساز در بازار ارزیابی انرژی، بهره‌برداران شبکه توزیع و بازار خدمات جانبی جهت بیشینه‌سازی مزایا و کاهش ریسک در بازار برق بریتانیا معرفی شده است. سه مدل بازار برای نشان دادن رابطه بین برگشت سرمایه و ریسک طراحی شده‌اند. بازار ارزیابی انرژی بر اساس خرید و فروش انرژی با قیمت‌های متفاوت مدل‌سازی شده‌است. تئوری پورتفولیو برای بهینه‌سازی سهم ظرفیت ذخیره‌ساز در بازارهای مختلف طراحی شده و هدف آن کاهش ریسک و افزایش بازده مورد انتظار است و روش لاگرانژ برای حل مسئله بهینه‌سازی پورتفولیوی برتر استفاده شده است. در مرجع[۱۱] ارزیابی جامعی از درآمد انباشته تولید شده از سیستم‌های ذخیره انرژی متصل به شبکه (ESS) ارائه شده است. درآمد انباشته شده از ESS صرفاً با تجمیع مزایای برنامه‌های مختلف قابل محاسبه نیست، زیرا ESS ممکن است در همه بازه-های زمانی مشابه در دسترس نباشد. این مرجع، انواع مختلفی از برنامه‌های کاربردی برای ESS های متصل به شبکه را شناسایی کرده و یک مدل شامل قابلیت اطمینان، محدودیت های عملکرد سیستم قدرت و محدودیت های عملکرد سیستم ذخیره ساز را برای ارزیابی درآمد حاصل از این برنامه‌ها ارائه کرده است. مرجع[۱۲] یک نمونه مکانیزم محلی مبتنی بر حراج برای تخصیص حقوق ذخیره فیزیکی(PSR) پیشنهاد کرده است که شرکت‌کنندگان در بازار محلی (از جمله تولیدکنندگان تجدیدپذیر و مصرف‌کنندگان) را قادر می سازد تا به ذخیره سازی انرژی دسترسی یابند. بدین ترتیب، آنها می‌توانند در قالب PSR ذخیره سازی نموده و در یک زمان معین با هدف بیشینه‌سازی عملکرد مطلوب خود، آن را تحویل نمایند. در این مرجع برای اولین بار اثبات شده است که مدل تعادل اولیه نش(Nash) می‌تواند با بهینه سازی اعتباری آن جایگزین شود و تضمین کننده همان دارایی های اقتصادی مطلوب در بازار باشد. در مرجع[۱۳] سیستم ذخیره انرژی (ESS) برای مدیریت متناوب منابع انرژی تجدیدپذیر(RES) استفاده شده است. یکی از موضوعات مهم در ریزشبکه ها، تأمین توان با کیفیت بالا به مصرف کنندگان است. در این مرجع استفاده از باطری با انرژی هیبریدی برای بهبود کیفیت انرژی در شرایط بار نامتعادل برای کاربردهای ریزشبکه ها پیشنهاد شده است. مهمترین مزیت طرح پیشنهادی مدیریت انرژی، کاهش نوسانات باتری، بهبود عملکرد سیستم در شرایط بار نامتوازن و بهبود کیفیت انرژی تحت شرایط نامتعادل است. عملکرد روش پیشنهادی و راهبرد کنترلی آن با استفاده از شبیه سازی مطالعات در محیط نرم افزار MATLAB تأیید شده است. در مرجع[۱۴] این موضوع مطرح گردیده که نفوذ زیاد سیستم فتوولتائیک در بخش داخلی و کاهش چشمگیر تعرفه ها باعث شده است که وقتی مقادیر بیشتری از انرژی روزانه اختصاص یابد، نیاز به سیستم های ذخیره‌سازی بیشتر و بیشتر شود. سیستم های ذخیره‌سازی انرژی ترکیبی(HESS) یک فناوری نوپا است که می تواند با هموار کردن پیک بار به بیشینه‌سازی مصرف انرژی خود و پایداری شبکه کمک کند. در چارچوب این مقاله از ظرفیت یک HESS استفاده شده است. HESS طراحی شده از دو دستگاه ذخیره ساز، یعنی یک سیستم باتری سرب اسید (LAB) و یک باتری جریان وانادیوم ردوکس (VRB) تشکیل شده است و همچنین از یک تجهیز فتوولتائیک پشتیبانی می‌کند. برای موفقیت در استفاده بهینه از سیستم ذخیره سازی دوگانه، الگوریتم جدیدی مبتنی بر فرآیند تصمیم گیری مارکوف پیشنهاد شده است که براساس آن، اولویت برای فرآیند شارژ و تخلیه به نوعی از باطری اختصاص یافته است که عملکرد مطلوبی را تحت شرایط داده شده نشان دهد. مرجع[۱۵] اهمیت و نقش اساسی ذخیره انرژی(ES) در ارائه خدمات جانبیمتعدد در چندین نمونه بازار برق را نشان می‌دهد. با این حال، مزایا و مخاطرات این بازارها در زمانهای مختلف، متفاوت است که اهمیت بهینه سازی سهم ظرفیت ES در بازارهای مختلف را توجیه می‌کند. در این مرجع، یک رویکرد مبتنی بر تئوری نمونه‌گیری برای مدیریت بهینه ES در بازارهای مختلف برای به حداکثر رساندن مزایا و کاهش ریسک مالکان آن ارائه شده است. این مطالعه به ویژه برای هدایت نحوه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

مشارکت در بازار برق و بهره برداری از ES برای به دست آوردن حداکثر بازده اقتصادی همراه با حداقل ریسک، بسیار مفید است. در پژوهش این مقاله، با استفاده از اطلاعات منحنی بار، به مدیریت انرژی و بهینه سازی ذخیره سازها در شبکه های توزیع فعال پرداخته تا کمبود ظرفیت تولیدی نیروگاه‌ها در ساعات پیک از طریق ذخیره‌سازها جبران شود. این امر باعث می‌شود تا علاوه بر راه‌اندازی بازار فروش برق، در ساعاتی که تقاضای بار بیش از توان تولیدی نیروگاه است از آن در راستای جبران این کمبود استفاده شود. در بازار برق مقررات زدایی شده، برنامه‌ریزی غیرمتمرکز ریزشبکه‌ها یک مشکل پیچیده با موانع فنی و اقتصادی بسیاری است. دستیابی به یک مدل جامع که تمامی محدودیت های فنی، امنیتی و اقتصادی را برآورده کند و از قدرت بازار جلوگیری کند، یکی از دغدغه های اپراتورهای سیستم توزیع است. بنابراین در مرجع[۱۶]، یک چارچوب دو مرحله‌ای را ارائه شده که در آن DFR برای برآورده کردن محدودیت‌های فنی و امنیتی پیاده‌سازی می‌شود و برنامه‌ریزی روزانه ریزشبکه‌ها با یک رویکرد تئوری بازی برای اجتناب از قدرت بازار انجام می‌شود. مدل پیشنهادی بر روی یک شبکه توزیع ۶۹ شینه اصلاح شده با اجرای یک برنامه پاسخگویی بار اجرا می‌شود. این مشکل به عنوان یک مدل دو مرحله‌ای فرمول‌بندی شده است: در مرحله اول، مشکل پیکربندی مجدد فیدر توزیع (DFR) برای کاهش تلفات حل می‌شود، در حالی که در مرحله دوم، مشکل زمان‌بندی روز آینده DISCO و ریزشبکه‌ها حل می‌شود. در مرجع[۱۷] تعداد سیستم‌های انرژی باتری (BES) متصل به شبکه به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این دارایی‌ها می‌توانند برخی از مسائل عملیاتی مانند افزایش تقاضا و نوسانات گاه به گاه برق مرتبط با منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) متصل به شبکه را کاهش دهند. با این وجود، هم شارژ بیش از حد و هم استفاده مکرر به شدت بر وضعیت سلامتی آنها تأثیر می گذارد و طول عمر آنها را کاهش می‌دهد. یک چارچوب سیستم مدیریت انرژی (EMS) با یک الگوریتم خطی و تحلیل عمیق تمدید عمر BES ارائه شده است که جنبه‌های فنی-اقتصادی یک شبکه توزیع فعال (ADN) متصل به RES را بهینه می‌کند. این تکنیک که از دقت منصفانه و در عین حال سرعت بالا برخوردار است، برای زمان بندی BES ها به منظور افزایش دوام و کاهش هزینه های شبکه استفاده می‌شود. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ذاتی مرتبط با تقاضا و تولید RES، یک روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای (SP) در مدل پیشنهادی اجرا می‌شود. از نظر ارزیابی از دست دادن سلامت باتری (LoH)، یک روش طول عمر باتری خطی معرفی شده است. در نهایت، یک سیستم آزمایش توزیع شعاعی ۳۳ شینه با برنامه قیمت‌گذاری در زمان واقعی (RTP) برای اعمال الگوریتم پیشنهادی و ارزیابی کارایی آن انتخاب شد. مرجع[۱۸] یک چارچوب بهینه‌سازی چند هدفه برای حل مشکل پیکربندی مجدد فیدر توزیع (DFR) و عملکرد آن با در نظر گرفتن برنامه پاسخ تقاضا (DR)، منابع انرژی تجدیدپذیر (RES)، و ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی (EES) پیشنهاد شده‌است. مدل پیشنهادی بر روی سیستم‌های توزیع شعاعی ۳۳ شینه و ۱۱۸ شینه اجرا می‌شود در حالی که عدم قطعیت‌های توان خروجی RES، تقاضای بار و قیمت برق در نظر گرفته می‌شود. رویکرد شبیه‌سازی مونت کارلو برای تولید سناریوها استفاده می‌شود در حالی که رویکرد کاهش سناریوی عقب‌نشینی برای کاهش تعداد سناریوها استفاده می‌شود. نتایج نشان می دهد که کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان سیستم، تولید واحدهای تولید محلی را افزایش می دهد و در نتیجه هزینه های عملیاتی را افزایش می دهد.

۲- مدل‌سازی و روش پیشنهادی

در این بخش به‌منظور برنامه‌ریزی بهینه سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های توزیع فعال براساس بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی فازی که بر روی مسأله برنامه‌ریزی سیستم ذخیره‌ساز انرژی ریزشبکه‌ها (MESS) درADS ها تمرکز دارد و شاملWG، PV و چندین MG است، جهت تعیین اندازه، مکان و نوع مناسبESS، یک مدل برنامه‌ریزی بهینه دو سطحی چندهدفه فازی با چندین ویژگی عمده پیشنهاد داده شده است. در ابتدا برای دستیابی به مسائل بهره‌برداری که بر روی مراحل برنامه‌ریزی تأثیرگذارند، یک مدل دوسطحی برای دستیابی به بهینه‌سازی مشارکتی میان برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ESS اتخاذ شده است. برای قواعد چندگانه MESS در ADS ها، یک مدل چندهدفه فازی اتخاذ شده است که حاوی پیک‌سایی بار، تعدیل نوسانات و بهبود قابلیت رزرو ESS است. علاوه بر این، داده‌های وابسته به زمان برای نشان دادن ماهیت متغیر با زمان تولیدات انرژی تجدیدپذیر(REGs)، MG ها و ESS ها به‌جای مدل‌های احتمالاتی در نظر گرفته شده است. برای سهولت بار محاسباتی، این پروفیل‌های سری زمانی شناسایی شده و به چندین سناریوی روزانه نمونه بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی میانگین C فازی (FCM) و تکنیک سناریوهای چندگانه دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت برای حل مؤثر این مسأله بهینه‌سازی عدد صحیح مختلط دو سطحی، یک الگوریتم آشوب سلسله مراتبی چند زیرگروهی بر اساس DE و PSO معرفی شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

۱-۲- مدل مشخصه توان ریزشبکه

زمانیکه خروجی REG ها بیشتر از تقاضای بار محلی باشد، DESS باید شارژ شود. در این لحظه اگر این توان مازاد بزرگتر از تقاضای شارژ DESS باشد، DESS توسط REG ها به تنهایی شارژ می‌شود. اگر این توان مازاد کوچکتر از تقاضای شارژ DESS باشد و قیمت برق در شبکه خارجی کمتر از قیمت قرارداد REG ها باشد، DESS توسط هر دوی REG ها و شبکه خارجی شارژ می‌شود. اگر این توان مازاد کوچکتر از تقاضای شارژ DESS باشد و قیمت برق سیستم خارجی از قیمت قرارداد REG ها بیشتر باشد، DESS تنها توسط REG ها و یا در صورت نیاز تا زمانیکه DESS SOC به مقدار از پیش تعیین شده (λ) برسد توسط REG ها و سیستم خارجی شارژ می‌شود. زمانیکه خروجی REG ها نتواند تقاضای بار محلی MG را برآورده کند و DESS همراه با REG انرژی کافی برای برآورده کردن تقاضای بار محلی را نداشته باشد، DESS شروع به شارژ شدن توسط سیستم خارجی می‌شود تا زمانیکه SOC به مقدار از پیش تعیین شده (λ) برسد. زمانی که خروجی REG ها نتواند تقاضای بار محلی MG را برآورده کند و DESS همراه با REG انرژی کافی برای برآورده کردن تقاضای بار محلی را داشته باشد، DESS شروع به تخلیه(دشارژ) می‌کند و اولویتی برای برآورده کردن تقاضای بار قبل از سیستم خارجی دارد. مدل توان DESS بصورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$P_{DES}(t) = P_C^{Max} \quad 0 \le P_C^{Max} \le \Delta P(t) \tag{۱}$$

$$P_{DES}(t) = P_C^{Max} \quad \left(0 \le \Delta P(t) < P_C^{Max}\right) \,\&\, (EP_G(t) \le EP_R) \tag{۲}$$

$$P_{DES}(t) = min\left\{P_{DES}^R, \frac{\left(E_{DES,\lambda} - E_{DES}(t-1)\right)\eta_C}{\Delta t}\right\} \quad \left(0 \le \Delta P(t) < P_C^{Max}\right) \,\&\, (EP_G(t) > EP_R) \,\&\, (SOC_{DES}(t-1) < \lambda) \tag{۳}$$

$$P_{DES}(t) = \Delta P(t) \quad \left(0 \le \Delta P(t) < P_C^{Max}\right) \,\&\, (EP_G(t) > EP_R) \,\&\, (SOC_{DES}(t-1) \ge \lambda) \tag{۴}$$

$$P_{DES}(t) = \min\left\{\mathrm{P_{DES}^R}, \frac{\left(E_{DES,\lambda} - \mathrm{E_{DES}(t\text{-}1)}\right)\eta_C}{\mathrm{\Delta t}}\right\} \quad (\Delta P(t) < 0) \,\&\, \left(P_{REG}^{MG}(t) + P_D^{Max}(t) < P_{load}^{MG}(t)\right) \,\&\, (SOC_{DES}(t-1) < \lambda) \tag{۵}$$

$$P_{DES}(t) = \min\left\{|\Delta \mathrm{P(t)}|, \mathrm{P_D^{Max}}\right\} \tag{۶}$$

$$\mathrm{P_C^{Max}} = \min\left\{\mathrm{P_{DES}^R}, \frac{\left(\mathrm{E_{DES}^{Max}} - \mathrm{E_{DES}(t\text{-}1)}\right)}{\mathrm{\Delta t \times \eta_C}}\right\} \tag{۷}$$

$$P_D^{Max} = \min\left\{P_{DES}^R, \frac{(E_{DES}(t-1) - E_{DES}^{Min})\eta_D}{\Delta t}\right\} \tag{۸}$$

$$E_{DES}^{Max} = E_{DES}^R SOC_{DES}^{Max} \tag{۹}$$

$$E_{DES}^{Min} = E_{DES}^R SOC_{DES}^{Min} \tag{۱۰}$$

$$E_{DES}(t) = \begin{cases} E_{DES}(t-1) + P_{DES}(t)\Delta t\, \eta_C & P_{DES}(t) > 0 \\ E_{DES}(t-1) + \frac{P_{DES}(t)\Delta t}{\eta_D} & P_{DES}(t) \le 0 \end{cases} \tag{۱۱}$$

در سایر حالات DESS دشارژ می‌شود.

داریم: که Δt ،t=1, 2, ..., 24 طول بازه زمانی مشارکت بر حسب ساعت، $P_{DES}(t)$ ، $E_{DES}(t)$ و $SOC_{DES}(t)$ بترتیب توان شارژ/دشارژ، انرژی ذخیره شده در مجموعه(بانک) باتری و حالت شارژ DESS در زمان t هستند. η_C و η_D بازده شارژ و دشارژ می‌باشند. $\Delta P(t)$ اختلاف بین خروجی REG ها و تقاضای بار در MG است. P_{DES}^R و E_{DES}^R بترتیب توان نامی و ظرفیت انرژی DESS هستند، E_{DES}^{Max} و E_{DES}^{Min} نشانگر محدوده مجاز انرژی ذخیره شده DESS است. P_C^{Max} و P_D^{Max} مقادیر حداکثر توان شارژ/دشارژ تحت محدودیت SOC است. $\mathrm{E_{DES,\lambda}}$ انرژی ذخیره شده DESS زمانیکه $SOC = \lambda$ باشد و EP_R و EP_G به ترتیب قیمت برق سیستم خارجی و قیمت قرارداد REG ها هستند. بعلت ساختار ساده MG ها، تلفات توان نادیده گرفته شده است. پس مدل مشخصه توان MG می‌تواند بصورت یک واحد الکتریکی با توان نشان داده شده در رابطه(۱۲) بیان شود.

$$P_{MG}(t) = P_{load}^{MG}(t) + P_{DES}(t) - P_{REG}^{MG}(t) \tag{۱۲}$$

که $P_{REG}^{MG}(t)$ و $P_{load}^{MG}(t)$ به ترتیب خروجی REG ها و تقاضای بار محلی در MG در زمان t می‌باشند.

۲-۲ فرمول‌بندی مسأله سطح بالا: ملاحظات برنامه‌ریزی

بردار کنترلی سطح بالا شامل توان نامی (P_{ESS}^R)، ظرفیت انرژی (E_{ESS}^R) و مکان (L_{ESS}) ESS است و مدل مربوطه به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

۱-۲-۲- تابع هدف مسأله سطح بالا

$$\min F_{upper} = \min C_{total}(P_{ESS}^R, E_{ESS}^R, L_{ESS}) = C_{cap,d} + C_{FOM,d} + C_{VOM,d} + C_{load,d} + C_{loss,d} - B_{def,d} \tag{۱۳}$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

روش محاسبه مولفه‌های فوق ذیلا بیان شده است:

الف) هزینه سرمایه روزانه: هزینه سرمایه ESS می‌تواند بصورت تابع دو قسمتی ارائه شود، یک قسمت مربوط به هزینه سیستم تبدیل انرژی و دیگری مربوط به همه هزینه‌های ایجاد بانک‌های ذخیره‌سازی انرژی یا رزروها می‌باشد که بصورت رابطه (۱۴) نشان داده شده است:

$$C_{cap,d} = \frac{1}{365}(C_{PCS} \times P_{ESS}^{R} + C_{B\&R} \times E_{ESS}^{R})CRF \quad (۱۴)$$

که C_{PCS} و $C_{B\&R}$ به‌ترتیب هزینه پریونیت سالانه سیستم تبادل توان و بخش ذخیره‌سازی انرژی است. ضریب بازگشت سرمایه (CRF) نسبتی است که برای محاسبه مقدار کنونی جریان‌های نقدی سالانه معادل همانند رابطه (۱۵) استفاده می‌شود و مشروط به نرخ جذب r در طول عمر T_{ESS} است.

$$CRF = \frac{r(1+r)^{T_{ESS}}}{(1+r)^{T_{ESS}} - 1} \quad (۱۵)$$

ب) هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری روزانه *ESS*: هزینه‌های *O&M* روزانه شامل دو قسمت اصلی است: هزینه ثابت ($C_{FOM,d}$) و متغیر ($C_{VOM,d}$) که به‌ترتیب در روابط (۱۶) و (۱۷) بیان شده‌اند:

$$C_{FOM,d} = \frac{1}{365} C_{FOM,a} P_{ESS}^{R} \quad (۱۶)$$

$$C_{VOM,d} = n\, C_{VOM} P_{ESS}^{R} \quad (۱۷)$$

که $C_{FOM,a}$ هزینه پریونیت سالانه O&M ثابت، C_{VOM} هزینه ساعتی پریونیت O&M متغیر و n تعداد ساعت بهره‌برداری روزانه ESS است.

ج) هزینه‌های بهره‌برداری روزانه ADS منطقه‌ای: هزینه‌های بهره‌برداری روزانه ADS منطقه‌ای ($C_{ope,d}$) شامل هزینه‌های تقاضای بار ($C_{load,d}$) و تلفات شبکه ($C_{loss,d}$) است و بازده اقتصادی طرح‌های برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. علاوه بر این قیمت‌های برق از نوع زمان استفاده (TOU) در نظر گرفته می‌شوند:

$$C_{load,d} = \sum_{t\in t_p} C_P P_{NL}(t) + \sum_{t\in t_f} C_f P_{NL}(t) + \sum_{t\in t_v} C_v P_{NL}(t) \quad (۱۸)$$

$$C_{loss,d} = \sum_{t\in t_p} C_P P_{loss}(t) + \sum_{t\in t_f} C_f P_{loss}(t) + \sum_{t\in t_v} C_v P_{loss}(t) \quad (۱۹)$$

که C_P، C_f و C_v به‌ترتیب قیمت‌های TOU در طول ساعت‌های پیک (t_p)، هموار (t_f) و دره (t_v) هستند. $P_{NL}(t)$ تقاضای بار خالص در زمان t است که به‌صورت رابطه (۲۰) قابل بیان است و $P_{loss}(t)$ تلفات توان اکتیو در زمان t است که توسط محاسبات پخش بار قابل محاسبه است.

$$P_{NL}(t) = P_{load}(t) + P_{MG}(t) + P_{ESS}(t) - P_{REG}(t) \quad (۲۰)$$

که $P_{load}(t)$ تقاضای بار ADS در زمان t و $P_{REG}(t)$ خروجی توان REG ها در زمان t هستند. $P_{MG}(t)$ و $P_{ESS}(t)$ به‌ترتیب خروجی/مصرف توان MG و ESS است.

د) منافع روزانه تعویق توسعه سیستم: ادغام ESS امکان آزادسازی ظرفیت ADS ها و تعویق توسعه سیستم را به ما می‌دهد که منافع آن ($B_{def,d}$) مطابق رابطه (۲۱) ارائه شده است:

$$B_{def,d} = \frac{1}{365} C_{DE,a}\left(P_{NL}^{Max} - P_{NL'}^{Max}\right)CRF \quad (۲۱)$$

که $C_{DE,a}$ هزینه سرمایه پریونیت سالانه تجهیزات توزیع و P_{NL}^{Max} و $P_{NL'}^{Max}$ بترتیب حداکثر بار خالص بدون ESS و با ESS است.

لازم به ذکر است که $C_{VOM,d}$ ، $C_{load,d}$ ، $C_{loss,d}$، و $B_{def,d}$ به نحوه بهره‌برداری ESS و ADS منطقه‌ای در سناریوهای مختلف روزانه بستگی دارد. بنابراین، تابع هدف سطح بالا طبق رابطه (۲۲) در نظر گرفته می‌شود:

$$\min F_{upper} = \min C_{total}(P_{ESS}^{R}.E_{ESS}^{R}.L_{ESS}) = C_{cap,d} + C_{FOM.d} + \sum_{s=1}^{S} \eta_s \left(C_{VOM.s} + C_{load.s} + C_{loss.s} - B_{def.s}\right) \quad (۲۲)$$

که η_s احتمال وقوع سناریوی s است، $C_{VOM.s}$ هزینه O&M متغیر روزانه ESS در سناریوی s، $C_{load.s}$ هزینه تقاضای بار روزانه در سناریوی s، $C_{loss.s}$ هزینه تلفات شبکه در سناریوی s و $B_{def.s}$ نشان دهنده منافع در سناریوی s است.

۲-۲-۲- قیود مسأله سطح بالا

قیود اصلی مسئله سطح بالا با روابط (۲۳) تا (۲۷) ارائه شده است.

الف) معادله تعادل توان اکتیو/راکتیو:

$$S_{MG}(t) + S_{ESS}(t) = S_{grid}(t) + S_{REG}(t) \quad (۲۳)$$
$$S_{load}(t) + S_{loss}(t)$$

که $S_{load}(t)$، $S_{ESS}(t)$ ، $S_{REG}(t)$ ، $S_{MG}(t)$، و $S_{grid}(t)$ به‌ترتیب بار الکتریکی، بار شارژ/دشارژ ESS، خروجی REG،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

خروجی/مصرف MG و تبادل توان شبکه اصلی در زمان t بوده و $S_{loss}(t)$ تلفات توان شبکه است.

ب) معادلات پخش بار:

$$P_i(t) = U_i(t)\sum_{j=1}^{N_{bus}} U_j(t)\big(G_{ij}\cos\theta_{ij}(t) + B_{ij}\sin\theta_{ij}(t)\big) \quad (۲۴)$$

$$Q_i(t) = U_i(t)\sum_{j=1}^{N_{bus}} U_j(t)\big(G_{ij}\sin\theta_{ij}(t) - B_{ij}\cos\theta_{ij}(t)\big) \quad (۲۵)$$

که $P_i(t)$ و $Q_i(t)$ به‌ترتیب توان اکتیو و راکتیو باس i، $U_i(t)$ دامنه ولتاژ باس i، G_{ij} و B_{ij} بترتیب کانداکتانس و ساسپتانس انتقالی بین باس i و باس j و $\theta_{ij}(t)$ اختلاف زاویه ولتاژ بین باس i و باس j است.

ج) قیود امنیت:

قیود امنیت شامل دامنه‌های ولتاژ و میزان بارگذاری خطوط انتقال است:

$$U_{i,Min} \le U_i(t) \le U_{i.Max} \quad (۲۶)$$

$$S_l(t) \le S_{l.Max} \quad (۲۷)$$

که $U_{i.Min}$ و $U_{i.Max}$ به محدوده مجاز دامنه ولتاژ برای باس i اشاره دارند و $S_{l.Max}$ حداکثر شارش توان برای خط l است.

۲-۳- فرمول‌بندی مسأله سطح پایین: ملاحظات بهره‌برداری

بردار کنترلی سطح پایین از توان شارژ/دشارژ ESS در زمان t در هر سناریوی نمونه تشکیل می‌شود. مدل به‌صورت زیر قابل تشریح است:

۲-۳-۱-تابع هدف مسأله سطح پایین

مدل چندهدفه فازی به‌عنوان تابع هدف سطح پایین با در نظر گرفتن پیک‌سایی بار، کاهش نوسانات و بهبود قابلیت رزرو ESS مطابق روابط (۲۸) تا (۳۱) بیان می‌شود.

الف) پیک‌سایی بار: کمینه‌سازی تغییرات بار خالص برای نشان دادن هدف پیک‌سایی بار طبق رابطه (۲۸) لحاظ می‌شود:

$$\min f_1 = \min\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24}\big(P_{NL}(t) - P_{NL.average}\big)^2 \quad (۲۸)$$

که $P_{NL.average}$ متوسط تقاضای بار خالص ADS در طول سناریوی نمونه است.

ب) تعدیل نوسانات: بر اساس توانایی تزریق و جذب سریع توان، ESS می‌تواند برای کاهش اثرات منفی نوسانات REG ها و بار طبق رابطه (۲۹) به کار گرفته شود:

$$\min f_2 = \min\sum_{t=2}^{24}\big(P_{NL}(t) - P_{NL}(t-1)\big)^2 \quad (۲۹)$$

ج) بهبود قابلیت رزرو ESS: زمانیکه ADS بد عمل می‌کند، ESS می‌تواند بارهای اساسی را تغذیه کند. قابلیت رزرو ESS به‌عنوان حداکثر توانی که ESS می‌تواند ADS را مشروط به قیود بهره‌برداری در زمان t تغذیه کند طبق رابطه (۳۰) ارائه می‌شود:

$$P_{ava}(t) = \min\left\{P_{ESS}^{R}.\frac{\big(E_{ESS}(t-1) - E_{ESS}^{Min}\big)\eta_D}{\Delta t}\right\} \quad (۳۰)$$

که $E_{ESS}(t)$ انرژی ذخیره شده در بانک باتری ESS در زمان t و E_{ESS}^{Min} حد کمینه انرژی ذخیره شده در بانک باتری ESS است.

بیشینه‌سازی قابلیت رزرو ESS به‌عنوان هدف سوم مسئله سطح پایین طبق رابطه (۳۱) بیان می‌شود:

$$\min f_3 = \min\left(\frac{1}{\sum_{t=1}^{24} P_{ava}(t)}\right) \quad (۳۱)$$

با هدف حصول نتایج معقول‌تر بهینه‌سازی، از روش بیشینه‌سازی فازی برای رویارویی با این مسأله چند هدفه استفاده شده است.

۲-۳-۲- قیود مسأله سطح پایین

قیود سطح پایین اساساً قیود بهره‌برداری ESS شامل قیود برابری و نابرابری نظیر روابط (۳۲) تا (۳۷) است.

الف) قید برابری رفتار تناوبی ESS:

$$E_{ESS}(t) = \begin{cases} E_{ESS}(t-1) + P_{ESS}(t)\Delta t\,\eta_C, & P_{ESS}(t) > 0 \\ E_{ESS}(t-1) + \dfrac{P_{ESS}(t)\Delta t}{\eta_D}, & P_{ESS}(t) \le 0 \end{cases} \quad (۳۲)$$

ب) قید برابری انتقال حالت:

$$\sum_{t=1}^{24}\left(P_{ESS}(t)\Delta t\,\eta_C + \frac{P_{ESS}(t)\Delta t}{\eta_D}\right) = 0 \quad (۳۳)$$

ج) قید نابرابری SOC:

$$SOC_{ESS}^{Min} \le SOC_{ESS}(t) \le SOC_{ESS}^{Max} \quad (۳۴)$$

د) قید نابرابری توان پیک:

$$-P_{ESS}^{R} \le P_{ESS}(t) \le P_{ESS}^{R} \quad (۳۵)$$

ه) قید نابرابری توان در طول t_p و t_v:

$$P_{ESS}(t) \le 0 \quad t \in t_p \quad (۳۶)$$

$$P_{ESS}(t) \ge 0 \quad t \in t_v \quad (۳۷)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

که $SOC_{ESS}(t)$ حالت شارژ ESS در زمان t است و SOC_{ESS}^{Max} و SOC_{ESS}^{Min} بیانگر محدوده مجاز SOC است.

۴-۲-راهبرد ترکیبی حل مسأله چند سطحی

از نظر ریاضی، مدل پیشنهادی یک مسأله بهینه‌سازی مشارکتی غیرخطی دو سطحی همراه با اعداد صحیح و مختلط است. برای نشان دادن این مسأله، یک الگوریتم ترکیبی آشوب سلسله مراتبی چند زیرگروهی (MHCDEPSO) بر اساس [۱۹] در نظر گرفته شده است.

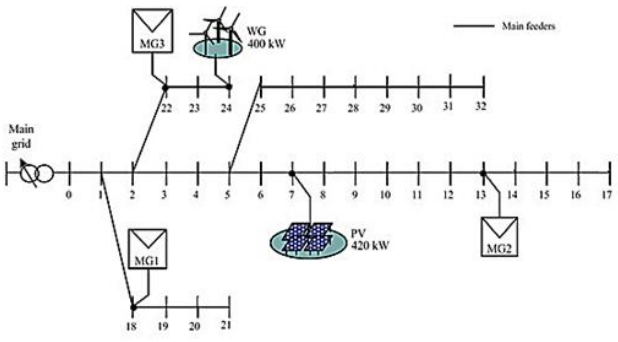
DE و PSO الگوریتم‌های هوشمند مفیدی برای حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی دارای چندین نقطه اکسترمم هستند. هر چند PSO ممکن است به راحتی توسط جواب بهینه محلی گمراه شود و DE نیز دارای مشکلاتی نظیر سرعت پایین همگرایی است لذا در اینجا برای حل این مشکلات، این دو الگوریتم با هم ترکیب شده‌اند.

در روش جایگزین پیشنهادی CIWOPSO، الگوریتم بهینه-سازی IWO بجای الگوریتم DE در روش MHCDEPSO استفاده می‌شود. الگوریتم IWO دارای خاصیت زیرگروهی است که می‌تواند با مکانیزم تولید دانه‌ها همانند روند زیرگروهی در الگوریتم MHCDEPSO عمل نماید. همچنین این روش دارای مقاومت بالا جهت رسیدن به مقدار بهینه کلی است. روندنمای CIWOPSO با ویژگی آشوب مطابق شکل(۲) نشان داده شده است. در اجرای پخش بار شبکه توزیع، جهت محاسبه شارش‌های خطوط و شاخه‌ها، همچنین دامنه و زاویه ولتاژ باس‌ها در سیستم قدرت باید از روش‌های حل مسأله پخش بار استفاده شود. روش پیشنهاد شده در[۲۰] را به عنوان یکی از مؤثرترین و قابل اعتمادترین راه‌حل پخش بار شبکه توزیع می‌توان فرض کرد. همچنین این روش پخش بار محاسبات کمتری نسبت به روش جایگشت پسرو/پیشرو نشان می‌دهد. این ویژگی به دلیل حذف ماتریس‌های ژاکوبین یا ادمیتانس گنجانده شده در روش‌های متداول است. پخش بار مستقیم ارائه شده دو ماتریس به نام تزریق باس به جریان شاخه(BIBC) همچنین جریان شاخه به ولتاژ باس (BCBV) را تعیین می‌کند.

۳- شبیه سازی و نتایج عددی

جهت راستی‌آزمایی و تحلیل عملکرد مدل برنامه‌ریزی و راهبرد حل ترکیبی، مطالعات شبیه‌سازی بر روی شبکه توزیع ۳۳ باسه اصلاح شده IEEE نشان داده شده در شکل(۱) انجام گردیده و نتایج حاصله در جدول (۱) ارائه شده است.

شبکه مورد نظر ما دارای توان اکتیو ۳/۷۱۵ مگاوات، توان راکتیو ۲/۳ مگاولت‌آمپر راکتیو و ولتاژ مرجع ۱۲/۶ کیلو ولت است. به منظور استفاده از توان REG ها بطور محلی، PV و WT به‌ترتیب در باس‌های ۷ و ۲۴ قرار گرفته‌اند و سه نوع MG در نواحی مسکونی، خدمات تجاری و صنعتی به‌ترتیب در باس‌های ۱۸، ۱۳ و ۲۲ نصب شده‌اند. داده های مسئله شامل: پارامترهای WG، PV و تجهیزات توزیع، پارامترهای الگوریتم‌های بهینه‌سازی، منحنی تابش نور خورشید، منحنی سرعت باد، قیمت TOU بر اساس[۱۹]، و داده های MG براساس[۲۰] در نظر گرفته شده است. سه نوع ESS کاندید شامل باتری lead-acid (LAB)، باتری sodium-sulfur (NaS) و li-ion (LIB) انتخاب شده‌اند. که اطلاعات آن‌ها بر اساس[۱۹] در نظر گرفته شده است. محدوده مجاز توان نامی و ظرفیت انرژی ESS بترتیب۵۰۰-۱۰۰۰ کیلووات و ۵۰۰-۳۰۰۰ کیلو وات ساعت فرض شده است و باس‌های ۱-۳۲ باس‌های کاندید هستند. با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی، داده‌های پیش‌بینی سالانه WG، PV و تقاضای بار با مدل‌های PV و WT دسته‌بندی شده به چهار نوع توسط FCM محاسبه می‌شوند. سناریوها و احتمالات مربوطه برای منابع فتوولتائیک و توربین‌های بادی بشرح جدول(۱) لحاظ شده است[۱۹]. کمینه‌سازی هزینه-های کل از رابطه(۲۲) برای هدف سطح بالا انتخاب شده است. همچنین سناریوی ۵ از جدول(۱) با بیشترین احتمال وقوع برای ارائه نتایج در نظر گرفته شده است. شکل(۲) روند همگرایی روش-های بهینه‌سازی مورد نظر جهت حل مسأله برنامه‌ریزی بهینه ESS در شبکه‌های توزیع با استفاده از ESS نوع LAB، LIB و NaS را نشان می‌دهد. از این شکل می‌توان مشاهده نمود که روش پیشنهادی CIWOPSO هم در تکرار اول و هم در تکرار نهایی نتیجه بهتری را نسبت به روش قبلی MHCDEPSO داشته است.

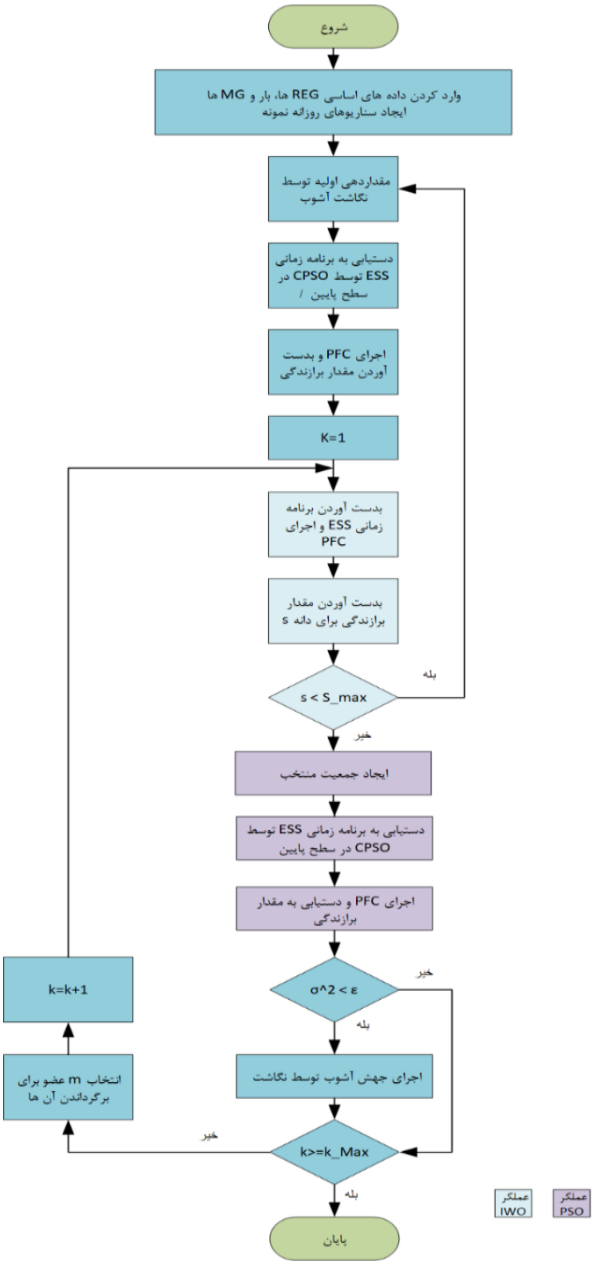


شکل (۱): شبکه توزیع ۳۳ باسه اصلاح شده IEEE

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

جدول (۱): سناریوهای نمونه مختلف و احتمالات مربوطه

سناریو	طرح			احتمال
۱	Load1	WT1	PV1	۰/۰۹۰۹
۲	Load1	WT1	PV2	۰/۰۷۹۷
۳	Load1	WT1	PV3	۰/۰۷۷۸
۴	Load1	WT1	PV4	۰/۰۹۳۸
۵	Load2	WT1	PV1	۰/۱۳۵۹
۶	Load2	WT1	PV2	۰/۱۱۹۱
۷	Load2	WT1	PV3	۰/۱۱۶۳
۸	Load2	WT1	PV4	۰/۱۲۰۱
۹	Load2	WT4	PV1	۰/۰۷۲۰
۱۰	Load2	WT4	PV4	۰/۰۷۴۲



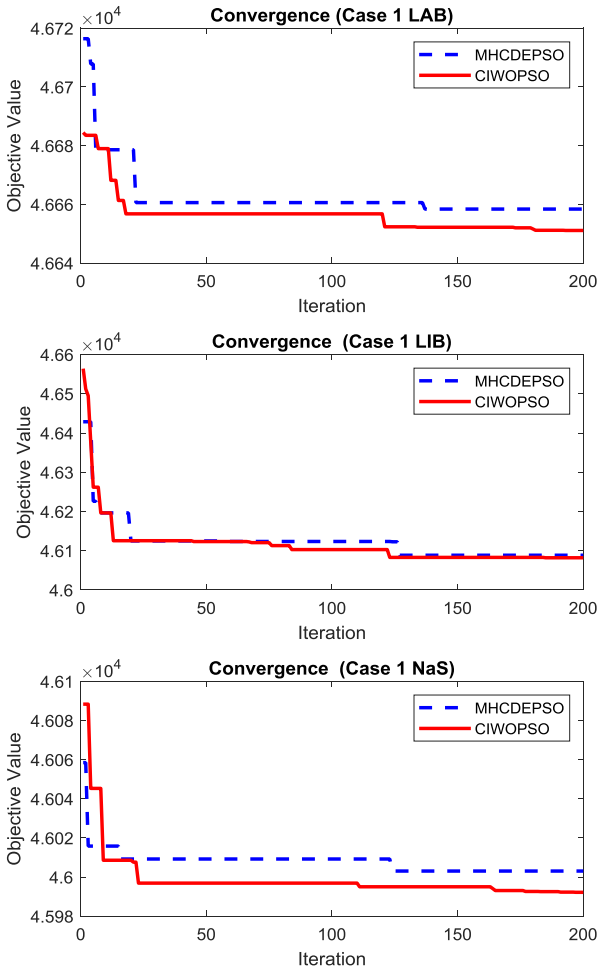
شکل(۲): روندنمای روش پیشنهادی CIWOPSO

زمان اجرا توسط CIWOPSO نیز برابر ۱۹۱ ثانیه بوده در حالیکه برای MHCDEPSO ۱۳۱۰ ثانیه است. در نتیجه عملکرد روش پیشنهادی از نظر سرعت و همگرایی بهتر از روش مورد مقایسه است. مقدار تابع هدف در ESS نوع NaS از سایر ESS ها کمتر بوده در حالیکه مقدار تابع هدف بدست آمده برای ESS نوع LAB از سایر ESS بیشتر است.

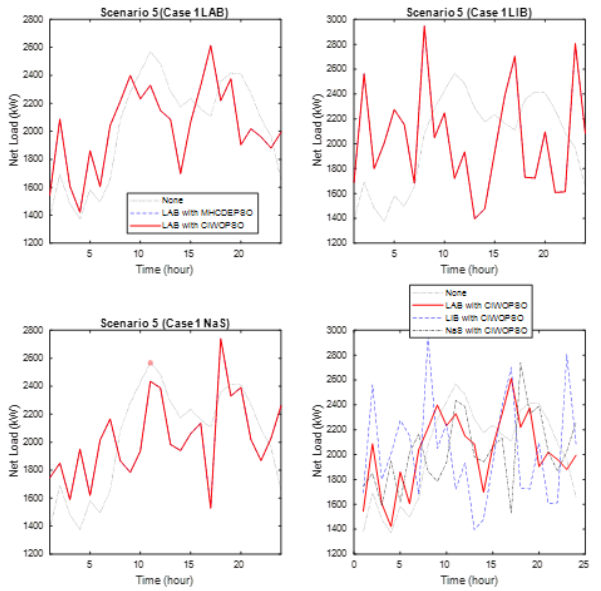
شکل(۵) بار خالص برای حالت‌های بدون ESS و ESS نوع LAB، LIB و NaS را با استفاده از روش‌های MHCDEPSO و CIWOPSO نشان می‌دهد. واضح است که عملکرد هر دو روش مشابه یکدیگر است زیرا حل مسأله سطح پائین که مربوط به بهره-برداری ESS است توسط روش PSO انجام شده است که در هر دو قسمت مشترک می‌باشد. لازم به ذکر است که بکار گرفتن ESS نوع LAB باعث هموارتر شدن پروفیل بار خالص نسبت به حالت بدون ESS شده است به گونه‌ای که در زمان‌های غیرپیک و مسطح قیمت‌گذاری TOU توان بیشتری استفاده می‌گردد و در زمان‌های پیک، بار کاهش می‌یابد و در نتیجه هزینه کاهش می-یابد. با مقایسه بار خالص بدست آمده توسط انواع ESS می‌توان مشاهده نمود که پروفیل بار ESS نوع LAB نسبت به سایر ESS نوسان کمتری دارد.

شکل(۶) توان ESS نوع LAB، LAB و NaS را با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مورد نظر برای حالت ۱ نشان می‌دهد. بعلت مقادیر کوچک توان نامی و ظرفیت انرژی، این ESS اثر کمی بر روی پیک‌سایی و پر کردن بار غیرپیک دارد که با منافع تعویق بروزرسانی مشخص می‌شود. از این شکل می‌توان مشاهده نمود که هر دو روش توان یکسانی را بدست آورده‌اند زیرا سطح پائین مسأله چند سطحی توسط روش PSO حل می‌شود. مطابق قید انتقال حالت برای سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، مجموع انرژی شارژ و تخلیه شده باتری باید برابر صفر باشد. در زمان‌هایی که قیمت برق کم باشد بعنوان مثال زمان‌های قیمت‌گذاری غیرپیک و مسطح، ESS شارژ می‌شود و در زمان‌هایی که قیمت برق بالا باشد این توان مجدداً جهت تأمین بار به شبکه بر می‌گردد (ESS دشارژ می‌شود). مقادیر مثبت توان نشان‌دهنده توان شارژ و مقادیر منفی توان نشان‌دهنده توان دشارژ ESS هستند. همانطور که مشاهده می‌شود منحنی توان بدست آمده توسط ESS نوع LAB نسبت به سایر ESS ها دارای نوسان کمتری است.

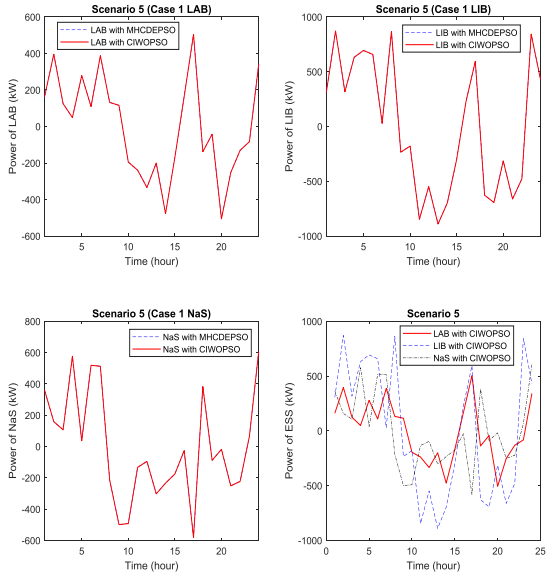
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]



شکل (۴): روند همگرایی روش‌های بهینه‌سازی با ESS های مختلف

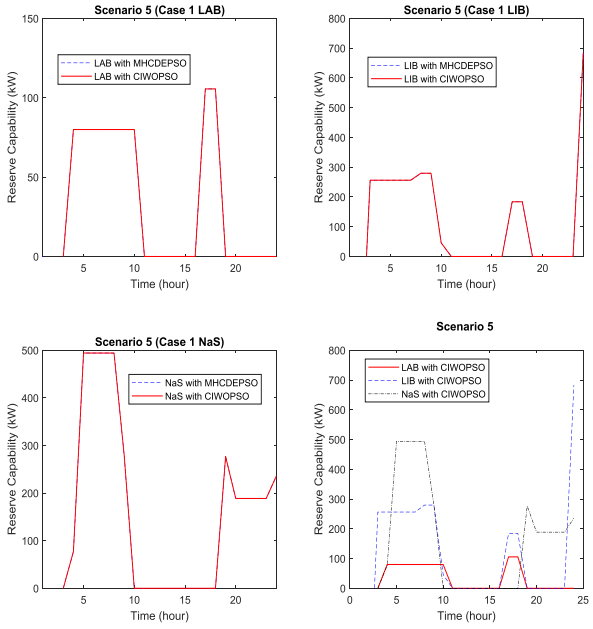


شکل(۵): پروفیل بار خالص با ESS های مختلف



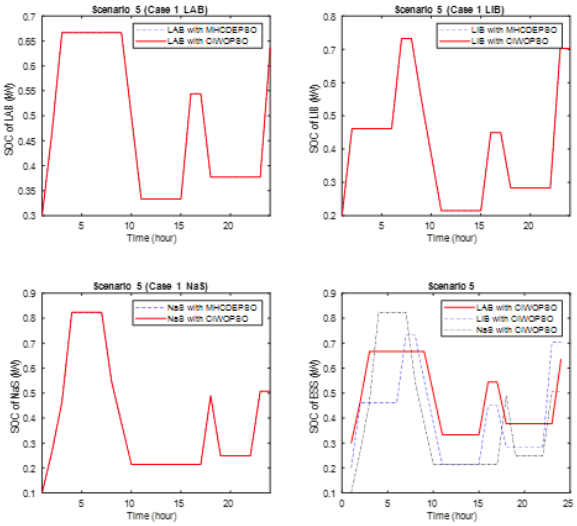
شکل(۶): منحنی تغییرات توان برای ESS های مختلف

شکل(۷) حالت شارژ ESS از نوع LAB، LIB و NaS را نشان می-دهد. حالت‌های صعودی نشان‌دهنده شارژ شدن و حالت‌های نزولی نشان‌دهنده تخلیه ESS است. از این شکل مشاهده می‌شود که محدوده حالت شارژ ESS نوع LAB نسبت به سایر ESS ها کمتر است. شکل(۸) قابلیت رزرو انواع ESS برای حالت ۱ با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. قابلیت رزرو NaS نسبت به سایر ESS ها بیشتر است زیرا ظرفیت انرژی و محدوده مجاز بیشتری دارد.



شکل (۷): نمودار حالت شارژ برای ESS های مختلف

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]



شکل(۸): نمودار قابلیت رزرو ESS نوع LAB

بر اساس سه نوع ESS، نتایج مختلف برنامه‌ریزی برای دو روش MHCDEPSO و CIWOPSO در جدول(۳) نشان داده شده است. همانطور که از نتایج این جدول مشاهده می‌شود، ظرفیت انرژی ESS ها صرف نظر از نوع آن به حد پایین نزدیک هستند. این امر به دلیل این است.که هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ESS بسیار بیشتر از منافع حاصل از آن است. به بیان دیگر هزینه سرمایه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ESS نقشی اساسی در فرآیند برنامه‌ریزی ایفا می‌کند. از نتایج جدول (۳) می‌توان مشاهده نمود که مقدار توان نامی بهینه بدست آمده برای ESS نوع LAB نسبت به سایر ESS ها کمتر است در حالی‌که مقدار توان نامی برای ESS نوع LIB نسبت به سایر ESS ها بیشتر است. همچنین مقادیر نامی توان ESS بدست آمده توسط روش CIWOPSO کمتر از MHCDEPSO است. مقدار هزینه سرمایه برای ESS نوع NaS نسبت به سایر ESS ها کمتر و برای ESS نوع LIB بیشتر است. در حالیکه مقدار هزینه بهره‌برداری ثابت و متغیر برای ESS نوع LAB کمتر و برای ESS نوع LIB بیشتر از سایر ESS ها است. مقدار هزینه بار و تلفات برای ESS نوع LIB کمتر و برای ESS نوع LAB بیشتر از سایر ESS ها است. منافع تعویق بروزرسانی بدست آمده با ESS نوع NaS و ESS نوع LAB بترتیب کمتر و بیشتر از سایر ESS ها است. در نهایت هزینه کل بدست آمده با ESS نوع NaS کمتر از سایر ESS ها می‌باشد در حالیکه این مقدار برای ESS نوع LAB از مابقی انواع ESS ها بیشتر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل بهینه‌سازیدوسطحی چندهدفه فازی برای مسأله برنامه‌ریزی ذخیره‌سازها(ESS) در شبکه توزیع فعال(ADS) پیشنهاد گردید. روش فازی جهت تبدیل مسأله چند هدفه به یک مسأله بهینه‌سازی تک هدفه مورد استفاده قرار گرفت. یک الگوریتم ترکیبی آشوب سلسله مراتبی برای رویارویی با مسأله بهینه‌سازی عدد صحیح ترکیبی دو سطحی توسعه یافت. بر اساس نتایج شبیه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که توسط بهینه‌سازی دو سطحی، مدل برنامه‌ریزی پیشنهادی به ما امکان ملاحظه کامل راهبرد بهره‌برداری ESS را می‌دهد که طرح برنامه‌ریزی را به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. توسط FCM و تکنیک سناریوهای چندگانه، داده‌های پیش‌بینی وابسته به زمان سالانه REG ها و تقاضای بار می‌توانند بطور مؤثر به سناریوهای روزانه پردازش شوند. این سناریوها می‌توانند ماهیت متغیر با زمان REG ها و

جدول (۳): نتایج بهینه‌سازی و مقدار هزینه‌ها در دو حالت با و بدون ESS

پارامتر	MHCDEPSO						CIWOPSO			بدون ESS	
	LAB		NaS		LIB		LAB	NaS	LIB	Without ess	
	[16]	result	[16]	result	[16]	result	result	result	result	[16]	result
باس	۳۱	۳۰	۸	۱۱	۳۱	۲۶	۳۰	۲۹	۷	–	–
P_{rate} (kW)	۵۰۰	۵۱۳/۴۴	۵۰۰	۶۲۳/۵۶	۵۰۰	۹۳۱/۸۰	۵۰۷/۵۰	۶۱۷/۵	۹۲۸/۶۸	۰	۰
E_{rate} (kWh)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰/۱	۵۰۰	۰	۰
$C_{cap,d}$ (10^3Y)	۱/۵۳	۱/۵۴	۰/۷۸	۰/۸۹	۱/۶۷	۲/۲۰	۱/۵۳	۰/۸۸	۲/۲۰	–	–
$C_{FOM,d}$ (Y)	۶۸/۲۲	۳۵/۸۷	۱۹۸/۹۵	۴۶/۱۲	۲۵۹/۸۵	۱۳۲/۱۱	۳۵/۴۵	۴۵/۶۷	۱۳۱/۶۷	–	–
$C_{VOM,d}$ (Y)	–	۳۳/۳۴	–	۲۰۲	–	۳۵۲/۱۵	۳۲/۹۶	۲۰۰/۰۳	۳۵۰/۹۷	–	–
$C_{load,d}$ (10^3Y)	۴۴/۴۹	۴۴/۸۹	۴۴/۳۳	۴۴/۵۵	۴۴/۳۰	۴۳/۱۶	۴۴/۸۹	۴۴/۵۵	۴۳/۱۶	۴۴/۳۹	۴۶/۸۵
$C_{loss,d}$ (10^3Y)	۱/۵۲	۰/۷۵	۱/۵۱	۰/۷۴	۱/۵۲	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۱	۱/۵۲	۰/۸۶
$B_{def,d}$ (10^3Y)	۲/۳۹	۰/۵۵	۵/۴۳	۰/۴۴	۳/۶۴	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۴۸	–	–
$C_{total,d}$ (10^3Y)	۴۷/۶۰	۴۶/۶۶	۴۶/۸۱	۴۶	۴۷/۷۴	۴۶/۰۹	۴۶/۶۵	۴۵/۹۹	۴۶/۰۸	۴۵/۹۱	۴۷/۷۱

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

تقاضای بار را در نظر بگیرند و بار محاسباتی را کاهش دهند. بر اساس شرایط کنونی اقتصادی و فنی ESS، هزینه‌های ESS نقشی حیاتی در فرآیند برنامه‌ریزی ESS در ADS ایفا می‌کنند. اما ترکیب ESS ها نیز چالش‌های مضاعفی را ایجاد می‌کند. همچنین به‌کارگیری انواع ESS در مدل برنامه‌ریزی نیز باعث تنوع مطالعات موردی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که از نظر همگرایی روش پیشنهادیCIWOPSO عملکرد بهتری نسبت به روش قبلی(متداول) MHCDEPSO دارد به‌گونه‌ای که مقدار بهینه بدست آمده توسط روش پیشنهادی دارای هزینه کمتری است. همچنین مدل پیشنهادی نشان داد استفاده از DLC و REG در شبکه و مکان‌یابی و بهره‌برداری بهینه ESS باعث بهبود پروفیل ولتاژ نیز می‌گردد.

مراجع

[۱]K.E.Adetunji, I.W.Hofsajer, A.M.Abu-Mahfouz & Ling Cheng, "Category-Based Multiobjective Approach for Optimal Integration of Distributed Generation and Energy Storage Systems in Distribution Networks", IEEE Access, vol. 9, pp. 28237-28250, 2021.

[2]H.Aziz, M.Tabrizian, M. Ansarian & Amir Ahmarinejad, "A three-stage multi-objective optimization framework for day-ahead interaction between microgrids in active distribution networks considering flexible loads and energy storage systems", Journal of Energy Storage, vol. 52, Part. A, 2022.

[3]S.Nourian, A. Kazemi, "Resilience enhancement of active distribution networks in the presence of wind turbines and energy storage systems by considering flexible loads", Journal of Energy Storage, vol. 48, 2022.

[4]Y. Li, Bo. Feng, B. Wang, S. Sun, "Joint planning of distributed generations and energy storage in active distribution networks: A Bi-Level programming approach", Energy, vol. 245, 2022.

[5]N. Yan, H. Zhao, T. Yan, S. Ma, "Research on capacity configuration method of energy storage system in active distribution network considering the assessment of health risk for retired electric vehicle batteries", Energy Reports, vol. 6(9), pp. 1106-1113, 2020.

[6]C. Sun, K. Yuan, T. Zhao, G. Song, X. Yang, Y. Song, "Operational Strategy Based Evaluation Method of Distributed Energy Storage System in Active Distribution Networks", Energy Procedia, vol. 158, pp. 1027-1032, 2019.

[7]M. chen, G. Zou, X. Jin, Z. Yao, Y. Liu, H. Yin, "Optimal Allocation method on Distributed Energy Storage System in Active Distribution Network", energy Procedia, vol. 141, pp. 525-531, 2017.

[8]D. Krishnamurthy, C. Uckun, Z. Zhou, P. R. Thimmapuram, and A. Botterud, "Energy Storage Arbitrage Under Day-Ahead and Real-Time Price Uncertainty", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 33, no. 1, pp. 84-93, 2018.

[9]S. Dimopoulou, A. Oppermann, E. Boggascha, and A. Raus, "A Markov Decision Process for managing a Hybrid Energy Storage System", Journal of Energy Storage, vol. 19, pp. 160-169, 2018.

[10]X. Yan, C .Gu, H. Wyman-Pain, and F. Li, "Capacity Share Optimization for Multiservice Energy Storage Management Under Portfolio Theory", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 2, pp. 1598-1607, 2018.

[11]Y. Tian, A. Bera, M. Benidris, and J. Mitra, "Stacked revenue and technical benefits of a grid-connected energy storage system", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1-7, 2017.

[12]D.Thomas, J.Kazempour, A.Papakonstantinou, "A Local Market Mechanism for phisical storage rights", IEEE transaction on power system, 2020.

[13]S.Hajiaghasi, A.Salemnia, M.Hamzeh,"Hybrid Energy Storage for Microgrid Performance Improvement Under unbalanced load Conditions", Journal of Energy Management and Technology (JEMT), Vol. 2, Issue 1, 2018.

[14]S. Dimopoulou, A. Oppermann, E. Boggascha, and A. Raus, "A Markov Decision Process for managing a Hybrid Energy Storage System", Journal of Energy Storage, vol. 19, pp. 160-169, 2018.

[15]X. Yan, C .Gu, H. Wyman-Pain, and F. Li, "Capacity Share Optimization for Multiservice Energy Storage Management Under Portfolio Theory", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 2, pp. 1598-1607, 2018.

[16]B.Javanmard, M.Tabrizian, M.Ansarian & A.Ahmarinejad, "Energy management of multi-microgrids based on game theory approach in the presence of demand response programs, energy storage systems and renewable energy resources", Journal of Energy Storage, vol. 42, 2021.

[17]A.Soleimani, V.Vahidinasab, J.Aghaei, "A Linear Stochastic Formulation for Distribution Energy Management Systems Considering Lifetime Extension of Battery Storage Devices", IEEE Access, vol. 10, pp. 44564-44576, 2022.

[18]F.Sheidaei, A.Ahmarinejad, M.Tabrizian & M.Babaei, " A stochastic multi-objective optimization framework for distribution feeder reconfiguration in the presence of renewable energy sources and energy storages", Journal of Energy Storage, vol. 40, 2021.

[16]He XH, Wang W, Jiang JC, "An improved artificial bee colony algorithm and its application to multi

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

objective optimal power flow", Energies 8(4):2412–2437, 2015.
[17]T. Sattarpour, D. Nazarpour and S. Golshannavaz, "A multi-objective hybrid GA and TOPSIS approach for sizing and siting of DG and RTU in smart distribution grids", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, pp. 1-18, 2016.
[18]Lu¨ TG, Ai Q, Sun SM et al, "Behavioral analysis and optimal operation of active distribution system with multi-micro grids", Proc CSEE 36(1):122–132, 2016.
[19]Rui, L. I., Wei, W. A. N. G., Zhe, C. H. E. N., & Xuezhi, W. U. "Optimal planning of energy storage system in active distribution system based on fuzzy multi-objective bi-level optimization". Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 6(2), 342-355, 2018.
[20]Lu.TG, Ai.Q, Sun.SM, "Behavioural analysis and optimal operation of active distribution system with multi-microgrids", Proc CSEE 36(1):122–132, 2016.

رزومه



وهاب درفشدار در خرداد سال ۱۳۶۷ متولد شده است، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند (۱۳۹۰) و در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(۱۳۹۸) سپری کرده است. علاقمندی و فعالیت های ایشان در زمینه های مدیریت سیستم های قدرت، بازار برق، سیستم های تجدید ساختارشده و تامین و بهره برداری از شبکه های توزیع و تاسیسات الکتریکی می‌باشد و در حال حاضر مدیر پروژه های شرکت فردیس نیروی شیراز، طراح و مجری رتبه یک پستهای فشار قوی و تاسیسات صنعتی است.



محمد تبریزیان در سال ۱۳۴۹ متولد شده است، تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه صنعتی شریف(۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت از دانشگاه فردوسی مشهد(۱۳۷۷) و دکترای مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تربیت مدرس(۱۳۸۹) سپری کرده است، فعالیت پژوهشی و علاقمندی ایشان در زمینه سیستم‌های قدرت تجدیدساختار شده و بازار برق، برنامه‌ریزی و مدیریت و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع و تاسیسات الکتریکی، مهندسی انرژی و مدیریت انرژی است و در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(ره) شهری می‌باشد، از نامبرده تاکنون بیش از سی مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی منتشر شده است.



حمیدرضا شاهمیرزاد در تهران متولد شده است(۱۳۶۴). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندس برق-الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی یزد(۱۳۸۹)، کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام(ره)(۱۳۹۸) سپری کرده است. علاقه‌مندی و فعالیتهای ایشان در زمینه های بهینه سازی و مدیریت انرژی، بازار برق، اینترنت اشیاء، طراحی، تامین و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع و تاسیسات الکتریکی پلنتهای صنعتی، بومی سازی تجهیزات خاص الکتریکی صنایع مادر تخصصی است و در حال حاضر کارمند شرکت بین المللی مهندسی ایران(ایریتک) از زیرمجموعه های سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران(ایمیدرو) می‌باشد. از نامبرده بیش از بیست مقاله در مجلات و کنفرانسهای معتبر داخلی منتشر شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

Scheduling energy storage in active distribution networks using multi-objective bi-level optimization

Vahab Darafshdar[1], Mohammad Tabrizian[2], Hamidreza Shahmirzad[3]

1- Department of Electrical Engineering-Yadegar-e-Imam Khomeini(Rah) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, v.darafshdar@gmail.com

2- Assistant Professor - Department of Electrical Engineering-Yadegar-e-Imam Khomeini(Rah) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mm_tabrizian@yahoo.com

3- Department of Electrical Engineering-Yadegar-e-Imam Khomeini(Rah) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, hr.shahmirzad@gmail.com

Abstract: Existing power grids are inefficient, due to the lack of energy management and the lack of storage, so power plants have to produce more to maintain power quality. But by using network savers, the need to build more power plants is reduced and network stability is improved and many of these inefficiencies will be remedied. By launching this market, consumers are encouraged to optimally manage their consumption, sell power to the grid during peak hours, increase network stability, and compensate grid shortages through the nearest storage network operator due to proximity to the storage. Consumers cause the least transmission line losses. In this paper, using the proposed multi-objective fuzzy multi-objective optimization problem for modeling of energy storage systems (ESS) planning in active distribution networks (ADS) considers the impact of ESS optimization strategy. Finally, the modified IEEE standard 33-bus distribution system will be used to evaluate the feasibility and performance of the proposed model by examining the two hybrid algorithms.

Keywords: Energy storage systems, Active distribution network, electricity market, Optimal planning Multi-objective Optimization

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.2.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023