



Computational Intelligence in Electrical Engineering  
Vol. 14, No. 3, 2023  
Research Paper

## Presenting a fuzzy multi-objective hybrid evolutionary approach for dynamic reconfiguration of distribution feeders in the presence of distributed generation units and electric vehicles

Hossein Lotfi<sup>1</sup>, Mohammad Hasan Nikkhah<sup>2</sup>, Aliasghar Shojaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

<sup>2</sup> Department of Electrical and Computer Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

### Abstract:

The presence of electric vehicle technology in distribution networks as controllable resources provides advantages such as voltage regulation, power peaking, and loss reduction. This technology has a positive effect on the performance of the distribution network, but the simultaneous presence of electric vehicles and distributed generation sources requires optimal planning because the lack of access to an application reduces the life of these technologies and can cause blackouts in the power network. Therefore, in this study, the dynamic reconfiguration of the distribution network in the simultaneous presence of distributed generation sources and electric vehicles is proposed. Also, the time-of-use mechanism has been proposed as one of the demand response applications to improve the power consumption of subscribers. The objective functions in this study include the reduction of energy loss, operational cost and energy not supplied as the objective function of reliability. In general, the optimization problem of distribution network reconfiguration is complex and non-convex. Also, considering the effect of distributed generation units and electric vehicles makes the problem more complicated than before. Therefore, finding a practical method to solve the optimization problem is one of the main challenges of this paper. For this purpose, a novel hybrid algorithm based on a combination of an improved particle swarm optimization-artificial bee colony is presented to overcome the complexities of the optimization problem. The proposed method has

**Keywords:** Feeder reconfiguration, Distributed generation sources, Energy not supplied, Smart distribution network, Hybrid optimization method.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/isee.2023.134672.1577>

## ارائه یک رویکرد تکاملی ترکیبی چندهدفه فازی به منظور تجدید آرایش دینامیکی شبکه

## توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده و خودروهای برقی

حسین لطفی<sup>۱</sup>، محمد حسن نیک خواه<sup>۲</sup>، علی اصغر شجاعی<sup>۳\*</sup>

۱- دکتری تخصصی، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

hossein-lotfi@hsu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

hasan.nikkhah@sun.hsu.ac.ir

۳- دکتری تخصصی، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد نیشابور، نیشابور، ایران

a.shojaei@iau-neyshabur.ac.ir

**چکیده:** حضور تکنولوژی خودروهای برقی در شبکه‌های توزیع به‌عنوان منابع کنترل‌پذیر مزایایی از قبیل تنظیم ولتاژ، پیک‌سایه توان و کاهش تلفات را فراهم می‌کند. این تکنولوژی تأثیر مثبتی بر عملکرد شبکه توزیع دارد؛ اما حضور هم‌زمان خودروهای برقی و منابع تولید پراکنده نیاز به یک برنامه‌ریزی دقیق دارد؛ زیرا دسترسی نداشتن به یک برنامه کاربردی موجب کاهش عمر این تکنولوژی‌ها و خاموشی‌هایی در شبکه برق می‌شود؛ از این رو، در این مطالعه، تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع در حضور هم‌زمان منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی پیشنهاد شده است. همچنین، مکانیسم زمان استفاده به‌عنوان یکی از برنامه‌های کاربردی پاسخگویی بار به‌منظور اصلاح مصرف توان مشترکین مطرح شده است. توابع هدف در این مطالعه شامل کاهش تلفات توان، هزینه بهره‌برداری و انرژی توزیع‌نشده به‌عنوان تابع هدف قابلیت اطمینان است. به‌طورکلی، مسئله بهینه‌سازی تجدید آرایش شبکه توزیع یک مسئله پیچیده و غیرمحدب است. همچنین، در نظر گرفتن اثر واحدهای تولید پراکنده و خودروهای برقی موجب پیچیدگی بیشتر مسئله نسبت به قبل می‌شود؛ از این رو، یافتن یک روش کاربردی برای حل مسئله بهینه‌سازی یکی از چالش‌های اصلی این مقاله است. به همین منظور، الگوریتم ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل به‌منظور غلبه بر پیچیدگی‌های مسئله بهینه‌سازی ارائه شده است. با توجه به اینکه توابع هدف مدنظر در این مطالعه یکسان نیست، از مفهوم منطق فازی در الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله چندهدفه تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع استفاده شده است. روش پیشنهادی روی سیستم ۹۵ باسه تست شده است و نتایج آن با سایر روش‌ها مقایسه شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی، انرژی توزیع‌نشده، تجدید آرایش، واحدهای تولید پراکنده، شبکه توزیع

هوشمند.

## ۱- مقدمه

افزایش تقاضای انرژی و کاهش ذخایر منابع فسیلی همراه با تغییرات ناگهانی آب‌وهوایی تبدیل به یکی از چالش‌های جوامع مدرن شده است. برقرسانی توسط سیستم حمل‌ونقل یک راه‌حل کاربردی و پایدار برای غلبه بر این مشکل و کاهش وابستگی به ذخایر انرژی فسیلی است. توسعه و استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی به دلیل آلودگی و هزینه‌های بهره‌برداری کم، رشد چشمگیری در سال‌های اخیر داشته است [۱]؛ با این حال، پیش‌بینی

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

نام نویسنده مسئول: علی اصغر شجاعی

نشانی نویسنده مسئول: ایران، نیشابور، دانشگاه آزاد نیشابور، گروه مهندسی برق

مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع و جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات و هزینه بهره‌برداری ارائه شده است [۶-۷]. در [۸]، به منظور بهره‌برداری بهینه از شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده از رویکرد تجدید آرایش شبکه توزیع با توجه به قیدهای عملیاتی و حفاظتی به منظور کاهش تلفات استفاده شده است. با توجه به اینکه بار الکتریکی روزانه و قیمت برق در سیستم‌های توزیع واقعی در حال تغییر با زمان هستند، مطالعات [۳-۸] تغییرات بار الکتریکی و قیمت برق با زمان را در حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع برای ارزیابی توابع هدف لحاظ نکرده‌اند و مسئله را در یک لحظه یا ساعت حل کرده‌اند که نمی‌تواند نقطه کار بهینه سیستم در فضای واقعی شبکه توزیع باشد.

بخش دیگری از مطالعات مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع را در حضور منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی، سیستم‌های ذخیره انرژی در قالب دینامیک بررسی کرده‌اند [۹-۲۳]. در [۹]، الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، با توجه به تغییرات بار الکتریکی روزانه به منظور بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه بهره‌برداری ارائه شده است. در [۱۰]، به منظور ارائه یک برنامه بهینه برای تولید توان اکتیو منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی (شارژ و دشارژ) در یک شبکه توزیع غیربالانس، از رویکرد تجدید آرایش دینامیکی با هدف بهبود شاخص پایداری ولتاژ و کاهش هزینه بهره‌برداری استفاده شده است. الگوریتم ترکیبی اجتماع ذرات و جهش قورباغه به منظور حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع و جایابی خازن در حضور منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی با توجه به تغییرات بار الکتریکی روزانه به منظور کاهش هزینه بهره‌برداری و بهبود شاخص پایداری ولتاژ استفاده شده است [۱۱]. در مطالعات [۹-۱۱]، پروفیل قیمت برق روزانه به طور دقیق تعریف نشده است؛ برای مثال، مقدار قیمت برق در بیست و چهار ساعت یا ثابت در نظر گرفته شده یا با ۲ یا ۳ مقدار مربوط به بار کم، بار میانی و بار پیک تعریف شده که ممکن است در ارزیابی توابع هدف به خصوص هزینه بهره‌برداری مقدار بهینه به دست نیاید.

به منظور بهره‌برداری بهینه از یک شبکه توزیع هوشمند

گسترش خودروهای الکتریکی باعث ایجاد نگرانی‌ها و چالش‌هایی مربوط به تقاضای شارژ بدون هماهنگی و متعاقباً تأثیرات آنها بر شبکه توزیع خواهد شد و عدم ارائه برنامه‌ریزی دقیق شارژ و دشارژ این خودروها ممکن است موجب اتفاقاتی از قبیل اضافه بار ترانسفورمرها و خطوط توزیع، افزایش تلفات و هزینه‌های بهره‌برداری در شبکه توزیع شود؛ بنابراین، استراتژی بهینه شارژ و دشارژ این خودروها علاوه بر استفاده از ظرفیت آنها در ناوگان حمل‌ونقل، می‌تواند اثرات مثبتی بر روی شبکه از قبیل کاهش تلفات، پیک بار و افت ولتاژ شبکه داشته باشد [۲].

تجدید آرایش شبکه توزیع یک روش کاربردی برای افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده و خودروهای الکتریکی در سیستم‌های توزیع است. در یک شبکه توزیع، تجدید آرایش با استفاده از مدیریت سویچ‌های کنترل‌پذیر انجام می‌شود. در عملیات تجدید آرایش، فیدرهای شبکه توزیع برای اهداف خاصی در شبکه توزیع از قبیل کاهش تلفات، هزینه بهره‌برداری یا بهبود قابلیت اطمینان به وسیله مدیریت سویچ‌ها بازآرایی می‌شوند؛ در حالی که قیود عملیاتی و مداری شبکه توزیع همیشه باید برقرار باشند [۳]. با توجه به تأثیر بالقوه این عملیات در شبکه توزیع، مطالعات زیادی در سال‌های اخیر درباره تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، خودروهای برقی و سیستم‌های ذخیره انرژی انجام شده است. بخشی از مطالعات، مسئله تجدید آرایش در حضور واحدهای تولید پراکنده را در قالب استاتیک بررسی کرده‌اند [۳-۸].

در [۳]، الگوریتم جستجوی گرانشی برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات ارائه شده است. همچنین، این الگوریتم برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با هدف بهبود شاخص پایداری گذرا و کاهش تلفات در [۴] نیز استفاده شده است. الگوریتم ترکیبی اجتماع ذرات و جهش قورباغه برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با هدف بهبود شاخص پایداری ولتاژ و کاهش هزینه بهره‌برداری ارائه شده است [۵]. دو الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی جدید مبتنی بر جمعیت اولیه تصادفی به منظور حل

در حضور خازن‌ها و منابع تولید پراکنده از رویکرد دینامیکی تجدید آرایش شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات شبکه، هزینه بهره‌برداری و بهبود قابلیت اطمینان استفاده شده است [۱۲]. در [۱۳] یک روش دو مرحله‌ای برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع با توجه به تغییرات بار الکتریکی با زمان ارائه شده است. در ابتدا برای هر روز با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی یک آرایش بهینه به دست می‌آید و سپس به منظور به دست آوردن آرایش‌های بهینه فیدرها در بازه زمانی یک‌ساله، سال به چند بازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شود و با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا، طرح بهینه آرایش فیدرها با هدف کاهش تلفات و هزینه سوییچینگ ارائه می‌شود. در [۱۴] الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک به منظور دستیابی به بازه‌های زمانی بهینه برای حل مسئله تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات شبکه ارائه شده است. در این مطالعه بازه مطالعاتی به چند بازه زمانی کوچکتر تقسیم می‌شود که در آن بازه‌ها، آرایش شبکه از لحاظ تلفات شبکه بهینه باشد. سپس روند تجدید آرایش در بازه‌های زمانی جدید ایجاد شده با الگوریتم ژنتیک ادامه می‌یابد تا جواب نهایی حاصل شود. در [۱۵]، روشی مبتنی بر حل مسئله تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع در چند ساعت به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک معرفی شده است. سپس استراتژی بهینه تجدید آرایش شبکه متغیر با زمان براساس نتایج به دست آمده از مرحله قبل و با استفاده از روش برنامه‌نویسی پویا ارائه می‌شود. در [۱۶]، یک روش تکاملی ترکیبی شامل الگوریتم‌های بازار ارز و دسته‌بندی وحشی برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در قالب دینامیک به منظور کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان ارائه شده است. آرایش نهایی فیدرها در مطالعات [۱۵-۱۳]، بسیار به آرایش اولیه بستگی دارد. به عبارت دیگر، اگر آرایش اولیه شبکه بهینه نباشد، توپولوژی نهایی شبکه نزدیک به راه‌حل مطلوب نخواهد بود. در این مطالعات، ابتدا آرایش اولیه شبکه برای یک بازه زمانی کوتاه‌مدت به دست می‌آید، سپس با استفاده از روش‌هایی از قبیل برنامه‌ریزی پویا و یا الگوریتم‌های تکاملی، آرایش نهایی شبکه در بازه زمانی بلندمدت با استفاده از نتایج مربوط به آرایش اولیه

ارائه می‌شود.

در [۱۷]، یک چارچوب تصادفی براساس رویکرد تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع به منظور بهره‌برداری بهینه شبکه توزیع در حضور هم‌زمان توربین‌های بادی و خودروهای برقی با هدف کاهش تلفات ارائه شده است. در [۱۸-۱۹]، از تجدید آرایش پویا شبکه توزیع به منظور عملکرد بهینه خودروهای برقی در شبکه توزیع در چارچوب تصادفی با توجه به عدم قطعیت‌های مربوط به مکان خودروها و حالت شارژ باتری‌ها استفاده شده است. همچنین، برای حل مسئله بهینه‌سازی تصادفی از الگوریتم تکاملی عنکبوت با هدف کاهش تلفات و هزینه بهره‌برداری شبکه استفاده شده است. در [۲۰]، یک رویکرد تصادفی تجدید آرایش شبکه توزیع براساس الگوریتم جستجوی گرانشی با هدف کاهش تلفات و هزینه بهره‌برداری شبکه در حضور بهینه خودروهای برقی در شبکه توزیع ارائه شده است. به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت بار مصرفی از روش مونت کارلو استفاده شده است. در [۲۱]، یک رویکرد تصادفی تجدید آرایش شبکه توزیع به منظور به دست آوردن طرح بهینه شارژ و دشارژ خودروهای برقی با توجه به عدم قطعیت‌های مربوط به تقاضای برق و قیمت برق ارائه شده است. همچنین، به منظور حل مسئله تصادفی از الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی گله‌گوریل‌ها با هدف کاهش تلفات شبکه استفاده شده است. در مطالعات [۲۱-۱۷]، خودروهای برقی در زیر ناوگان‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند و هر خودروی برقی به‌عنوان یک منبع انرژی جمع‌شده لحاظ شده‌اند و بعضی از محدودیت‌های خودروهای برقی شامل حالت شارژ اولیه، ظرفیت باتری‌ها در این مطالعات لحاظ نشده‌اند.

در بخش مختصری از مطالعات [۲۳-۲۲]، اثر برنامه‌های پاسخگویی بار در حل مسئله تجدید آرایش به منظور بهبود عملکرد سیستم توزیع لحاظ شده است. یکی از رایج‌ترین برنامه‌های پاسخگویی بار که در سیستم توزیع استفاده می‌شود، مکانیسم زمان استفاده است. در این برنامه، مشترکین مصرف خود را از ساعات پیک که برق قیمت بیشتری دارد، به ساعات غیر پیک که برق ارزان‌تر است، شیفت می‌دهند. در [۲۲]، از مکانیسم زمان استفاده مربوط

به برنامه پاسخگویی بار برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه در حضور منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی به منظور کاهش تلفات و هزینه بهره‌برداری شبکه استفاده شده است. همچنین، این مکانیسم در [۲۳] نیز برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه با توجه به تغییرات بار الکتریکی روزانه به منظور کاهش تلفات شبکه و بهبود قابلیت اطمینان شبکه استفاده است.

بررسی مطالعات بالا در زمینه تجدید آرایش شبکه توزیع نشان می‌دهد در بیشتر تحقیقات، مسئله بهینه‌سازی در فضای قطعی و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای سیستم قدرت نظیر بار الکتریکی حل شده است. از لحاظ متدولوژی، مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع در قالب پویا یک مسئله پیچیده و غیر محدب است. همچنین، در نظر گرفتن اثر منابع تولید پراکنده و خودروهای الکتریکی به‌طور هم‌زمان این پیچیدگی را بیشتر نسبت به قبل می‌کند؛ از این رو، ارائه یک روش کارا برای غلبه بر پیچیدگی‌های این مسئله لازم است. به همین منظور، در این مطالعه، الگوریتم ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل ارائه شده است. الگوریتم اجتماع ذرات به دلیل اجرای ساده آن در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی سیستم قدرت بسیار استفاده می‌شود. همچنین، الگوریتم کلونی زنبور عسل یک الگوریتم قدرتمند مبتنی بر جمعیت اولیه تصادفی است که از زندگی زنبورهای عسل الگو می‌گیرد. مانند سایر الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت، الگوریتم‌های اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل در برخی موارد از اشکالاتی همچون به دام افتادن در بهینه محلی یا همگرایی زودرس رنج می‌برند؛ از این رو، یک استراتژی جهش جدید برای بهبود تنوع جمعیت و توانایی جستجوی به الگوریتم ترکیبی پیشنهادی اضافه شده است. در الگوریتم پیشنهادی برای برآورده کردن توابع هدف مسئله به‌صورت هم‌زمان از مفهوم بهینگی پارتو استفاده شده است؛ زیرا در مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به جای یک جواب بهینه با مجموعه‌ای از جواب‌ها (جبهه پارتو) روبه‌رو هستیم.

مشارکت اصلی این مطالعه به شرح زیر است:

- فرمول‌بندی مسئله تجدید آرایش دینامیکی شبکه توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده و خودروهای

برقی در قالب بهینه‌سازی تک و چندهدفه.

- در نظر گرفتن مکانیسم زمان استفاده یکی از برنامه‌های پاسخگویی بار در حل مسئله پیشنهادی به‌منظور بهبود عملکرد سیستم توزیع.

- در نظر گرفتن شاخص انرژی توزیع نشده به‌عنوان تابع هدف قابلیت اطمینان در این مطالعه و بهبود این شاخص توسط حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع.

- در نظر گرفتن اثر عدم قطعیت مربوط به بار الکتریکی در حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع.

- ارائه الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل براساس استفاده از یک استراتژی جهش جدید.

این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، تعریف مسئله شامل متغیرهای مسئله، توابع هدف، قیود مسئله و مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه شده‌اند. استراتژی حل مسئله چندهدفه به‌همراه الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی در بخش‌های سوم و چهارم بیان شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری در بخش‌های پنجم و ششم ارائه شده‌اند.

## ۲- فرمولاسیون مسئله

توابع هدف، محدودیت‌های مسئله و فرمولاسیون مکانیسم زمان استفاده در این بخش شرح داده شده‌اند:

### ۲-۱- توابع هدف

در این مطالعه، توابع هدف شامل حداقل‌سازی تلفات توان، انرژی توزیع نشده و هزینه بهره‌برداری شبکه است.

- تلفات توان

تلفات توان در بیست و چهار ساعت از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۵].

$$f_1 = \sum_{l=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_{brch}} R_i |I_i^l|^2 \quad (1)$$

$R_i$  و  $I_i^l$  به ترتیب مقاومت و جریان حقیقی خط  $l$ ام در زمان  $t$  ام هستند.  $N_{brch}$  بیان‌کننده تعداد خطوط شبکه است.

• انرژی توزیع نشده

انرژی توزیع نشده یکی از شاخص‌های مهم قابلیت اطمینان است که نمایشی از رفتار سیستم قدرت در هنگام خاموشی ارائه می‌دهد. انرژی توزیع نشده با  $N_{am}$  [۲۴] از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$ENS_i = P_i \sum_{i,j \in V, i \neq j} (U_{i,j} + U'_{i,j}) \quad (2)$$

در رابطه فوق  $V$  مجموعه باس‌هایی است که از یک فیدر تغذیه می‌شوند.  $U_{i,j}$  و  $U'_{i,j}$  به ترتیب بیان‌کننده زمان تعمیر (ساعت در سال) و زمان مربوط به بازیابی (ساعت در سال) شاخه‌های مرتبط با باس  $i$  هستند.  $\lambda_{i,j}$  و  $d_{i,j}$  به ترتیب نرخ خرابی و طول خط هستند.  $t_{i,j}$  و  $t'_{i,j}$  به ترتیب میانگین مدت زمان تعمیر و میانگین مدت زمان بازیابی خط بین باس‌های  $i$  و  $j$  ام هستند [۲۵]. رابطه نهایی انرژی توزیع نشده کل شبکه در بیست و چهار ساعت با در نظر گرفتن گره مرجع از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$f_2(x) = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=2}^{N_{Bus}} ENS_{i,t} \quad (3)$$

• هزینه بهره‌برداری

هزینه بهره‌برداری [۱۰] در این مطالعه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f_3(X) = \sum_{t=1}^{24} \left( \sum_{j=1}^{N_{DG}} Price_{DG,j}^t P_{DG,j}^t + \sum_{s=1}^{N_{Sub}} Price_{Sub,s}^t \right) + \sum_{k=1}^{N_{sw}} Price_{sw,k}^t (|S_k^t - S_k^{t0}|) \quad (4)$$

$P_{Sub,s}^t$  و  $P_{DG,j}^t$  به ترتیب توان اکتیو تولید پراکنده  $j$  ام و پست  $s$  ام در زمان  $t$  ام هستند.  $Price_{Sub,s}^t$  و  $Price_{DG,j}^t$  به ترتیب قیمت خرید برق از تولید پراکنده  $j$  ام و پست  $s$  ام در زمان  $t$  ام هستند.  $Price_{sw,k}^t$  هزینه سوئیچینگ در زمان  $t$  ام است.  $N_{sub}$  و  $N_{sw}$  به ترتیب بیان‌کننده تعداد سوئیچ‌ها و پست‌ها هستند.  $S_k^t$  و  $S_k^{t0}$  به ترتیب بیان‌کننده وضعیت اولیه و ثانویه سوئیچ  $k$  ام در زمان  $t$  ام هستند [۲۵].

۲-۲- قیود مسئله

• شرط شعاعی بودن

قید مربوط به شعاعی بودن شبکه [۲۲] از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$N_{branch}^t = N_{Bus} - N_{source} \quad (5)$$

$N_{source}$  و  $N_{Bus}$  به ترتیب بیان‌کننده تعداد باس‌ها و پست‌های شبکه هستند [۲۲]. محدودیت فوق ممکن است نتواند ساختار شعاعی سیستم‌های توزیع را حفظ کند؛ بنابراین، یک ماتریس حلقه به منظور ایجاد متغیرهای تصمیمی تعریف می‌شود که توپولوژی شعاعی سیستم توزیع را برآورده کند. هر سطر از این ماتریس شامل شاخه‌های موجود در یک حلقه از شبکه توزیع را نشان می‌دهد و تعداد سطرهای ماتریس برابر با حلقه‌های اساسی یا تای سوئیچ‌ها است [۲۶]. برای تولید جمعیت اولیه در بهینه‌سازی، از هر ردیف ماتریس حلقه فقط یک شاخه انتخاب می‌شود. بر این اساس، ساختار شعاعی شبکه توزیع قابل حفظ است. علاوه بر این، ماتریس تلاقی نیز در طول فرآیند بهینه‌سازی به منظور بررسی شرط شعاعی سیستم اعمال شده است. درمیان ماتریس تلاقی طبق رابطه زیر باید برابر یک باشد.

$$|det(A)| = 1 \quad (6)$$

در تشکیل ماتریس تلاقی، هر ستون به یک باس و هر سطر به یک شاخه اختصاص داده می‌شود. در نهایت درایه‌های مربوط به ستون اول حذف می‌شود تا ماتریس تلاقی مربعی شود و درمیان آن تعریف شده باشد.

• معادلات پخش بار

معادلات پخش بار [۲۲] از روابط (۷) - (۶) محاسبه می‌شود:

$$P_j^t = \sum_{i=1}^{N_{Bus}} V_i^t V_j^t Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i^t + \delta_j^t) \quad (7)$$

$$Q_j^t = \sum_{i=1}^{N_{Bus}} V_i^t V_j^t Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i^t + \delta_j^t) \quad (8)$$

$$P_{DG}^{min} \leq P_{DG,i}^t \leq P_{DG}^{max}, \quad i=1,2,\dots,N_{DG} \quad (12)$$

تولیدی واحد نام در زمان نام هستند [۲۸].  
 به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر توان

- محدودیت‌های مربوط به خودروهای الکتریکی هر خودروی برقی در یک ساعت تنها می‌تواند در حالت شارژ یا دشارژ عمل کند. محدودیت‌های خودروهای برقی به‌عنوان یک سیستم ذخیره انرژی به شرح زیر بیان می‌شود [۲-۱]:

$$SOC_l^t = SOC_l^{t-1} + \sigma_{ch,l} P_{ch,l}^t \times \Delta t - \frac{1}{\sigma_{dis,l}} P_{dis,l}^t \times \Delta t \quad (13)$$

$$\Delta t = 1 \text{ hour}$$

$$l=1,2,\dots,N_{EVs}$$

$$SOC_l^{min} \geq SOC_l^t \geq SOC_l^{max} \quad (14)$$

$$P_{ch,l}^t \geq P_{ch,l}^{max}, \quad (15)$$

$$P_{dis,l}^t \geq P_{dis,l}^{max}$$

$SOC_l^t$  وضعیت شارژ واحد نام در زمان نام است.  $P_{ch,l}^t$  و  $P_{dis,l}^t$  به ترتیب میزان شارژ و دشارژ واحد نام در زمان نام هستند.  $SOC_l^{min}$  و  $SOC_l^{max}$  به ترتیب مقدار حداکثر و حداقل وضعیت شارژ واحد نام در زمان نام هستند.  $P_{ch,l}^{max}$  و  $P_{dis,l}^{max}$  به ترتیب بیان‌کننده حداکثر میزان شارژ و دشارژ واحد نام در زمان نام هستند.

## ۲-۳- مکانیسم زمان استفاده

پاسخگویی بار به مجموعه‌ای از اقداماتی گفته می‌شود که برای تغییر الگوی مصرف انرژی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه و جلوگیری از افزایش قیمت به‌ویژه در بارهای اوج شبکه انجام می‌شود. شرکت‌کنندگان در برنامه پاسخگویی بار، مشتریانی هستند که به‌جای کاهش مصرف، وظیفه تغییر الگوهای مصرف انرژی خود را برای کاهش هزینه‌های خود برعهده دارند. درنهایت، پول کمتری برای مصرف برق پرداخت می‌کنند. به‌طورکلی، برنامه‌های پاسخگویی بار به دو بخش تقسیم می‌شود: برنامه‌های انگیزشی و برنامه‌های مبتنی بر قیمت [۲۳]. در این مطالعه،

$P_j^t$  و  $Q_j^t$  به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی شبکه به باس نام در زمان  $t$  ام هستند.  $V_i^t$  و  $\delta_i^t$  به ترتیب دامنه و زاویه ولتاژ باس نام در زمان  $t$  ام هستند.  $\theta_{ij}$  و  $Y_{ij}$  به ترتیب بیان‌کننده اندازه و زاویه ادمیتانس شاخه بین باس‌های  $i$  و  $j$  هستند [۲۲]. در شبکه‌های توزیع شعاعی، مسیری منحصر به فرد از هر گره در سیستم به سمت پست وجود دارد و یکی از ویژگی‌های مهم و بارز شبکه‌های توزیع شعاعی است. در شبکه‌های توزیع شعاعی، نسبت  $R/X$  بزرگ باعث ایجاد مشکلاتی در همگرایی الگوریتم‌های پخش بار معمولی می‌شود. برای این منظور، این مقاله از روش پسر-پیشرو، برای تحلیل جریان توان استفاده می‌کند [۲].

- محدوده مربوط به ولتاژ باس‌ها

$$V_{min} \leq V_i^t \leq V_{max} \quad (9)$$

$V_{max}$  و  $V_{min}$  بیان‌کننده حداقل و حداکثر مقدار مجاز ولتاژ باس نام در زمان نام هستند [۲۷].

$$|I_{f,i}^t| \leq I_{f,i}^{Max} \quad i=1,2,\dots,N_{feeder} \quad (10)$$

$I_{f,i}^t$  و  $I_{f,i}^{Max}$  به ترتیب دامنه جریان در زمان نام و حداکثر جریان فیدر نام هستند [۲۷].

- محدودیت ترانسفورماتور

$$|I_{trns,i}^t| \leq I_{trns,i}^{Max} \quad i=1,2,\dots,N_{transformer} \quad (11)$$

$I_{trns,i}^t$  و  $I_{trns,i}^{Max}$  به ترتیب دامنه جریان در زمان نام و حداکثر جریان پذیرفتنی ترانسفورمر نام هستند [۲۲].

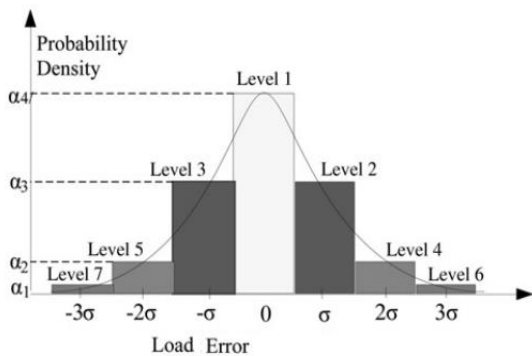
- مدل‌سازی مربوط به تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع به دو صورت PV و PQ مدل می‌شوند. زمانی که این منابع به روش PV مدل می‌شوند، به منظور حفظ ولتاژ در محدوده مجاز باید توان راکتیو تولید کنند. در این مطالعه از PQ برای مدل‌سازی تولید پراکنده استفاده شده است [۲۸].

سناریویی که شامل متغیرهای عدم قطعیت باشد، به صورت معادله (۱۹) بیان می شود.

$$[P_{load}^S] \text{ and } S = 1, \dots, N_S \quad (19)$$

و  $N_S$  و  $P_{load}^S$  به ترتیب مقدار کل بار در سناریوی  $S$  و تعداد کل سناریوها هستند.



شکل (۱): نمونه تابع چگالی احتمال

### ۳- رویکرد چندهدفه فازی

در یک مسئله بهینه سازی چندهدفه که اهداف با هم در تناقض هستند، نمی توان از روش بهینه سازی تک هدفه استفاده کرد. زیرا ما با مجموعه ای از جواب ها روبرو هستیم. در این مطالعه از استراتژی پارتو استفاده شده است. روش بهینگی بر مبنای تسلط پارتو برای بهینه سازی مسائل چندهدفه استفاده می شود. بردار  $X_1$  بر  $X_2$  غلبه می کند زمانی که شرایط زیر برقرار باشد [۲۷-۲۸]:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}, f_i(X_1) \leq f_i(X_2) \quad (20)$$

$$\exists j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}, f_j(X_1) < f_j(X_2) \quad (21)$$

از آنجا که توابع هدف در محدوده یکسان نیستند مجموعه های فازی برای جایگزینی هر تابع هدف با مقدار بین ۰ و ۱ اجرا می شوند. در این رابطه تابع عضویت فازی  $\mu_i$  برای هر تابع هدف به شرح زیر است:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & f_i(x) \leq f_i^{min} \\ 0 & f_i(x) \geq f_i^{max} \\ \frac{f_i^{max} - f_i(x)}{f_i^{max} - f_i^{min}} & f_i^{min} \leq f_i(x) \leq f_i^{max} \end{cases} \quad (22)$$

از یکی از برنامه های پاسخگویی بار به نام مکانیسم زمان استفاده به منظور تغییر الگوی مصرف مصرف کننده برای بهبود عملکرد سیستم استفاده شده است. مدل سازی ریاضی مکانیسم زمان استفاده در (۱۸) - (۱۶) ارائه شده است. طبق این مکانیسم، انرژی تغییر یافته کلی نمی تواند از یک مقدار ثابت فراتر رود (با فرض ۱۵ درصد از تقاضای پایه). علاوه بر این، باید بین افزایش و افت توان کلی در طی یک دوره خاص تعادل برقرار شود.

$$P_{t,i}^{MDF} = P_{t,i}^{TOU} + P_{t,i}^{INI} \quad (16)$$

$$|P_{t,i}^{TOU}| \leq TOU^{max} \times P_{t,i}^{INI} \quad (17)$$

$$\sum_{t=1}^T P_{t,i}^{TOU} = 0 \quad (18)$$

مقدار  $P_{t,i}^{MDF}$  دیماندا اصلاحی فیدر  $i$ ام در زمان  $t$ ام بعد از انجام مکانیسم زمان استفاده است،  $P_{t,i}^{INI}$  و  $P_{t,i}^{TOU}$  به ترتیب افزایش یا افت بار در این مکانیسم و مقدار دیماندا اولیه در فیدر  $i$ ام در زمان  $t$ ام بدون مکانیسم زمان استفاده هستند.  $TOU^{max}$  حداکثر سرعت افزایش یا ریزش بار در این مکانیسم است [۲۳].

### ۲-۴- مدل سازی عدم قطعیت

در واقع همه پیش بینی ها دارای خطا هستند. به دلیل خطا در نمونه گیری یا اندازه گیری، همه اطلاعات و متغیرها نامشخص اند؛ بنابراین، سیستم قدرت باید در یک محیط عدم قطعیت بررسی شود. این فضای جدید به یک ابزار قدرتمند برای انتقال متغیرها از یک محیط قطعی به یک محیط تصادفی نیاز دارد [۲۹]. در این مقاله، عدم قطعیت مربوط به بار الکتریکی به عنوان تابع توزیع نرمال با هفت سطح احتمال مطابق شکل یک مدل شده است. تفاوت بین دو سطح مختلف برابر با انحراف معیار است. یک چرخ برای مدل سازی هر یک از سطوح ممکن متغیرهای تصادفی استفاده می شود. چرخ دارای هفت بخش است (هفت سطح تابع توزیع نرمال با احتمال وقوع مشخص). بدین ترتیب ابتدا یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می شود، سپس عدد تولید شده در یکی از هفت سطح چرخ قرار می گیرد و مقدار متغیر با عدم قطعیت باید از آن سطح انتخاب شود. هر



برازندگی شخصی ذره  $i$  ام و بهترین مقدار برازندگی فردی در میان ذرات در تکرار  $k$  ام هستند. همچنین، وزن اینرسی است که معمولاً طبق معادله زیر از  $1$  به  $0$  به  $iter$   $iter_{max}$  تعداد تکرار فعلی و حداکثر تعداد تکرار هستند.

$W_{min}$  و  $W_{max}$  بیانکننده حدود بالا و پایین وزن اینرسی هستند [۳۰]. جهش فرایندی برای بهبود عملکرد الگوریتم است؛ به طوری که احتمال دستیابی به راه حل جهانی بهینه افزایش می یابد. در الگوریتم اصلی اجتماع ذرات، این فرایند می تواند موقعیت و سرعت هر ذره را بهبود بخشد تا از به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری کند؛ بنابراین، در الگوریتم بهبودیافته اجتماع ذرات، موقعیت جدید به صورت زیر محاسبه می شود:

$$X_{i,new1}^{k+1} = X_i^k + r_1 (gb^k - lM^k), \quad (27)$$

$$X_{i,new2}^{k+1} = X_i^k + r_2 \Delta X_i \quad (28)$$

$$\Delta X_i = \begin{cases} r_3 \cdot (X_i^k - X_j^k) & \text{if } f(X_i^k) \geq f(X_j^k) \\ r_4 \cdot (X_j^k - X_i^k) & \text{if } f(X_j^k) \leq f(X_i^k) \end{cases} \quad i \neq j \quad (28)$$

$$X_{i,new}^{k+1} = \begin{cases} X_{i,new1}^{k+1} & \text{if } f(X_{i,new1}^{k+1}) \geq f(X_{i,new2}^{k+1}) \\ X_{i,new2}^{k+1} & \text{if } f(X_{i,new2}^{k+1}) \leq f(X_{i,new1}^{k+1}) \end{cases} \quad (29)$$

$r_3$  و  $r_4$  اعداد تصادفی بین صفر و یک هستند،  $l$  یک مقدار ثابت است که ۱ یا ۲ را فرض می شود.  $M^k$  مقدار متوسط موقعیت در کل جمعیت در تکرار قبلی است. اگر  $i$  امین فرد جدید موقعیت بهتری نسبت به فرد  $i$  ام در جمعیت فعلی داشته باشد، بردار جدید جایگزین آن در جمعیت بعدی خواهد شد.

#### ۴-۳- الگوریتم کلونی زنبور عسل

الگوریتم بهینه سازی کلونی زنبورهای مصنوعی یکی از الگوریتم های مبتنی بر جمعیت است که اولین بار در سال ۲۰۰۵ معرفی و توسعه داده شده است [۳۱]. این الگوریتم از رفتار زنبورهای عسل در هنگام جستجوی منابع غذایی الهام گرفته شده است. زنبورها در این روش از سه گروه کارگر، ناظر و پیش آهنگ تشکیل شده اند. زنبورهای کارگر، صرف نظر از مطلوبیت هر منبع غذایی، صرفاً مسئول جستجوی منابع غذایی هستند. در مرحله اول، جمعیت اولیه براساس معادله زیر به طور تصادفی تشکیل می شود:

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand[0, 1](X_j^{max} - X_j^{min}), \quad (30)$$

$i=1, 2, \dots, SN$

$J_i^{min}$  و  $J_i^{max}$  بیان کننده حدود بالا و پایین تابع هدف می باشند. این مقادیر با استفاده از بهینه سازی هر تابع هدف به صورت جداگانه محاسبه می شوند. مقدار تابع عضویت نرمالیزه شده برای هر عضو در مجموعه جواب ها از رابطه (۲۳) بدست می آید:

$$N_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \beta_k \times \mu_{jk}(x)}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_k \times \mu_{jk}(x)} \quad (23)$$

$m$  و  $n$  به ترتیب اعداد راه حل های غیر غالب و توابع هدف می باشند.  $\beta_k$  بیان کننده وزن  $k$  امین تابع هدف است و مقدار  $\beta_k$  براساس درجه اهمیت هر تابع هدف توسط اپراتور انتخاب می شود.

#### ۴-۴- الگوریتم ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل

در این بخش الگوریتم های بهبودیافته اجتماع ذرات، کلونی زنبور عسل و الگوریتم ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل شرح داده شده اند.

#### ۴-۴-۱- الگوریتم بهبودیافته اجتماع ذرات

الگوریتم اجتماع ذرات یکی از روش های تکاملی است که ابرهارت و کندی اولین بار برای حل مسائل مختلف بهینه سازی استفاده کردند [۳۰]. در این الگوریتم که از گروه هایی از پرندگان و ماهی ها الهام گرفته شده، هر ذره یک راه حل بالقوه برای مسئله بهینه سازی است که در آن ذرات با استفاده از تجربیات قبلی و بهترین ذره در کل جمعیت، بهترین مکان را پیدا می کنند. موقعیت و سرعت ذرات در هر تکرار با معادلات زیر به روز می شود:

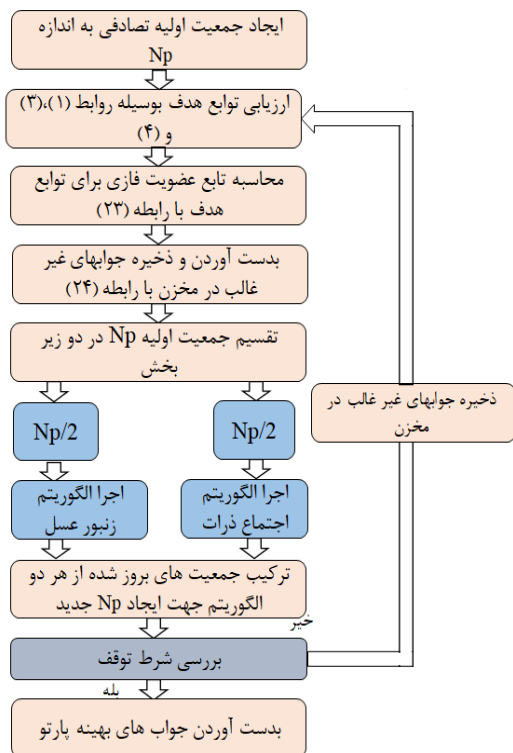
$$V_i^{k+1} = W V_i^k + c_1 r_1 (pb_i^k - x_i^k) + c_2 r_2 (gb^k - x_i^k) \quad (24)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (25)$$

$$W = W_{max} - \frac{W_{max} - W_{min}}{iter_{max}} \cdot iter \quad (26)$$

$X_i^k$  و  $V_i^k$  بیان کننده موقعیت و سرعت ذره  $i$  ام در تکرار  $k$  ام هستند.  $c_1$  و  $c_2$  دو عدد ثابت مثبت هستند.  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی بین صفر و یک هستند.  $pb_i^k$  و  $gb^k$  بهترین

عملکرد جستجو را تا حد زیادی افزایش دهد و الگوریتم کلونی زنبور عسل به جلوگیری از همگرایی به راه حل بهینه محلی کمک می کند. علاوه بر این، قابلیت جستجوی محلی کلونی زنبور عسل حتی ممکن است دقت الگوریتم بهبودیافته اجتماع ذرات را بهبود بخشد؛ اگر راه حل جهانی دور نباشد. فلوجارت الگوریتم ترکیبی بهبودیافته اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل در شکل (۲) نشان داده شده است. برای اجرای رویکرد ترکیبی پیشنهادی، جمعیت اولیه ( $Np$ ) به دو بخش تقسیم می شود، سپس الگوریتم های بهبودیافته اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل فرآیند بهینه سازی خود را با  $Np/2$  به عنوان جمعیت اولیه آغاز می کنند. در هر تکرار پس از به دست آوردن بهترین راه حل، جمعیت با هم مخلوط می شوند. قبل از ترکیب دو جمعیت، بهترین راه حل برای بهبودیافته اجتماع ذرات و بهترین راه حل برای الگوریتم کلونی زنبور عسل به روزرسانی می شود. این روند تا زمانی تکرار می شود که معیارهای خاتمه برآورده شود.



شکل (۲): فلوجارت الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

$SN$  معرف تعداد منابع غذایی است.  $X_j^{max}$  و  $X_j^{min}$  به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر پارامتر  $Z$  هستند. هر زنبور کارگر طبق رابطه (۳۱) از محل فعلی خود ( $X_{ij}$ ) به مکان جدید ( $V_{ij}$ ) منتقل می شود:

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (31)$$

برخی از زنبورهای عسل که برای تصمیم گیری درباره انتخاب منبع غذایی در منطقه رقص باقی می ماند، زنبورهای تماشاگر نامیده می شوند. این زنبورها توسط زنبورهای کارگر از طریق رقص مخصوص از محل منابع غذایی مطلع می شوند. سپس زنبورها به جستجوی منبع غذایی پرداختند. ارزش یک منبع غذایی با توجه به رابطه (۳۲) محاسبه می شود:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (32)$$

در رابطه بالا،  $fit_i$  بیان کننده ارزش تناسب منبع غذایی جستجو شده از زنبورهای کارگر است که به صورت رابطه (۳۳) بیان می شود:

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(X_i)} & f(X_i) \geq 0 \\ \frac{1}{1+|f(X_i)|} & f(X_i) < 0 \end{cases} \quad (33)$$

در رابطه بالا،  $f(X_i)$  معرف تابع هزینه است. پس از اینکه زنبورهای ناظر در منابع غذایی پراکنده شدند، منابع غذایی بررسی می شوند تا زمانی که شاهد از منابع غذایی استخراج می شود، زنبورها به بررسی سطح منبع غذایی ادامه می دهند؛ اما زمانی که یک منبع غذایی پس از دوره های خاصی از نظارت، بهبودی را نشان نمی دهد، به عنوان یک منبع تخلیه شده در نظر گرفته می شود. هدف از این فرآیند، حذف حداقل های محلی و به دست آوردن پاسخ بهتر در فضای جستجو است.

#### ۴-۴- الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

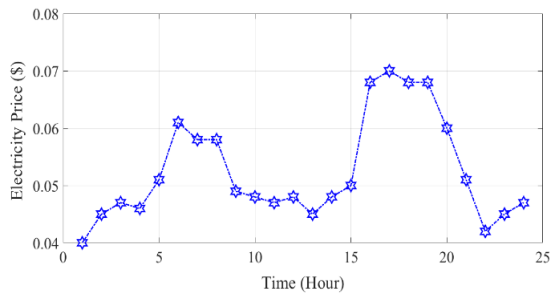
برای غلبه بر عیوب مختلف الگوریتم های اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل، یک الگوریتم پیشنهاد شده که ترکیبی از الگوریتم های بهبودیافته اجتماع ذرات و کلونی زنبور عسل است. الگوریتم بهبودیافته اجتماع ذرات می تواند

## ۵- نتایج شبیه سازی

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در این مطالعه، یک سیستم ۹۵ باسه در این بخش معرفی شده است. مسئله بهینه سازی در دو بخش حل شده است. در بخش اول تجدید آرایش پویا در شبکه صورت گرفته است. در بخش دوم تجدید آرایش شبکه در حضور منابع تولید پراکنده، خودروهای برقی و برنامه پاسخگویی بار انجام شده است. مقدار تلفات انرژی، هزینه بهره برداری و انرژی توزیع نشده قبل از تجدید آرایش به ترتیب ۳۵۸۶۹/۵۵ کیلووات، ۱۴۵۳۲۹/۹۱ دلار و ۳۵۵/۵۶ کیلووات ساعت بر سال است.

### ۵-۱- سیستم تست ۹۵ باسه

برای حل مسئله تجدید آرایش فیدرهای توزیع از شبکه تست ۹۵ باسه [۳۲] استفاده شده که در شکل (۲) نشان داده شده است. بازه مطالعاتی برای حل مسئله پیشنهادی بیست و چهار ساعت است. در سیستم تست ۹۵ باسه از ۵ واحد تولید پراکنده (دیزل ژنراتور) با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلووات در باس های ۶، ۱۰، ۲۵، ۳۴، ۴۵ و ۵۵ استفاده شده است. ۵ خودروی برقی با ظرفیت نامی ۱۲۰ کیلووات در باس های ۱، ۴۱، ۸۸، ۸۵، ۶۳ و ۳۳ نصب شده است. هزینه خرید برق از واحدهای تولید پراکنده و هزینه سوئیچینگ به ترتیب ۰/۰۴۲ دلار بر کیلووات و ۰/۰۴۱ دلار بر ای هر سوئیچینگ هستند. شکل های (۳) و (۴) پروفیل بار و قیمت برق را در بیست و چهار ساعت نشان می دهند.



شکل (۴): قیمت برق در بیست و چهار ساعت [۱۰]

### ۵-۲- حل مسئله بهینه سازی در عدم حضور

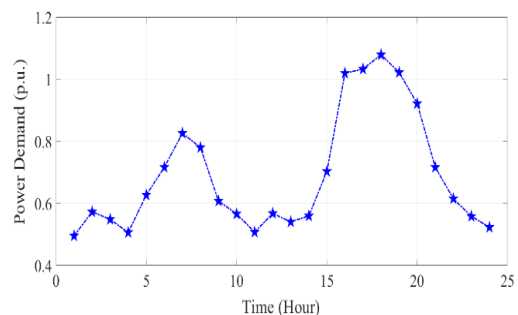
#### واحدهای تولید پراکنده و خودروهای برقی

در این بخش، مسئله تجدید آرایش پویا در عدم حضور منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی حل شده است. یکی از اهداف این بخش، نشان دادن توانایی الگوریتم پیشنهادی در حل مسئله بهینه سازی تجدید آرایش است. در جدول (۱)، نتایج بهینه سازی توابع هدف این مطالعه با الگوریتم پیشنهادی ترکیبی ارائه شده اند. در جداول (۲) و (۳)، نتایج بهینه سازی توابع هدف انرژی توزیع نشده و هزینه بهره برداری با الگوریتم های مختلف در ۳۰ آزمایش جداگانه نشان داده شده اند. از مقایسه نتایج جداول، واضح است که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم ها به جواب بهتری همگرا شده است. همچنین، مقدار توابع هدف تلفات، انرژی توزیع نشده و هزینه بهره برداری به ترتیب شش، ده و چهار درصد نسبت به مقادیر اولیه کاهش یافته اند.

جدول (۱): بهترین راه حل به دست آمده با الگوریتم ترکیبی

پیشنهادی برای توابع هدف مختلف

توابع هدف	تلفات انرژی (کیلووات ساعت)	هزینه بهره برداری (دلار)	انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)
تلفات انرژی (کیلووات ساعت)	۳۳۳۵۹/۳۶	۳۵۶۸۶/۴۵	۳۸۱۴۵/۲۶
هزینه بهره برداری (دلار)	۱۴۱۷۸۹/۶۵	۱۴۰۱۰۷/۳۱	۱۴۲۸۴۵/۶۲
انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)	۳۴۸/۸۴	۳۳۶/۹۸	۳۲۳/۷۴



شکل (۳): دیمانند مصرفی در بیست و چهار ساعت [۱۰]

جدول (۲): نتایج الگوریتم ترکیبی پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی انرژی توزیع‌نشده در ۳۰ آزمایش مختلف

۳۲۳/۷۴ کیلووات ساعت بر سال است؛ در حالی که مقدار این شاخص پس از در نظر گرفتن عدم قطعیت به ۳۲۹/۶۸ کیلووات ساعت بر سال رسیده است.

جدول (۴): نتایج بهینه‌سازی تابع هدف انرژی توزیع‌شده با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به بار الکتریکی

روش‌ها	انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)			
	بهترین جواب	میانگین	بدترین جواب	انحراف معیار
کلونی زنبور عسل	۳۴۶/۳۲	۳۵۵/۲۳	۳۶۶/۵۶	۴/۹۶
جستجوی گرانشی	۳۳۹/۵۳	۳۴۵/۵۶	۳۵۶/۵۱	۴/۳۵
اجتماع ذرات	۳۳۱/۷۲	۳۳۵/۶۵	۳۴۷/۲۵	۳/۸۹
ترکیبی پیشنهادی	۳۲۳/۷۴	۳۵۶/۵۱	۳۳۰/۵۲	۳/۲۶

روش‌ها	انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)			
	بهترین جواب	میانگین	بدترین جواب	انحراف معیار
کلونی زنبور عسل	۳۴۶/۳۲	۳۵۵/۲۳	۳۶۶/۵۶	۴/۹۶
جستجوی گرانشی	۳۳۹/۵۳	۳۴۵/۵۶	۳۵۶/۵۱	۴/۳۵
اجتماع ذرات	۳۳۱/۷۲	۳۳۵/۶۵	۳۴۷/۲۵	۳/۸۹
ترکیبی پیشنهادی	۳۲۳/۷۴	۳۵۶/۵۱	۳۳۰/۵۲	۳/۲۶

جدول (۳): نتایج الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی هزینه بهره‌برداری در ۳۰ آزمایش مختلف

روش‌ها	هزینه بهره‌برداری (دلار)			
	بهترین جواب	میانگین	بدترین جواب	انحراف معیار
کلونی زنبور عسل	۱۴۰۶۸۶	۱۴۰۷۵۷	۱۴۰۸۳۲	۵۱/۳۹
جستجوی گرانشی	۱۴۰۴۶۵	۱۴۰۵۲۶	۱۴۰۵۹۴	۴۹/۸۸
اجتماع ذرات	۱۴۰۲۸۹	۱۴۰۳۳۶	۱۴۰۳۹۱	۴۸/۱۵
ترکیبی پیشنهادی	۱۴۰۱۰۷	۱۴۰۱۵۳	۱۴۰۲۰۵	۴۶/۶۴

### ۳-۵- حل مسئله بهینه‌سازی در حضور واحدهای تولید پراکنده، خودروهای برقی و پاسخگویی بار

در این بخش، مسئله تجدید آرایش پویا در حضور منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی به صورت تک و چندهدفه حل شده است. همچنین، اثر مکانیسم زمان استفاده یکی از برنامه‌های پاسخگویی بار نیز در ارزیابی مسئله بهینه‌سازی تجدید آرایش پویا در نظر گرفته شده است. این برنامه در تمام باس‌های شبکه اجرا شده است. در جدول (۵)، نتایج بهینه‌سازی توابع هدف حاصل از الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در عدم حضور و حضور پاسخگویی بار ارائه شده‌اند. در جداول (۶) و (۷)، مقایسه‌ای بین نتایج بهینه‌سازی توابع تلفات و انرژی توزیع‌نشده حاصل از الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها انجام شده است.

به منظور ارزیابی تأثیر عدم قطعیت به بار الکتریکی در حل مسئله مدنظر، ۳۰ سناریو به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت در نظر گرفته شده‌اند. نتایج بهینه‌سازی انرژی توزیع‌نشده با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار در جدول (۴) ارائه شده‌اند. مقایسه نتایج جداول یک و سه نشان می‌دهد در نظر گرفتن عدم قطعیت بار الکتریکی موجب می‌شود شاخص انرژی توزیع‌نشده از مقدار بهینه خود دور شود و یک نقطه کار جدید ایجاد کند؛ برای مثال، مقدار بهینه انرژی توزیع‌نشده قبل از در نظر گرفتن عدم قطعیت بار الکتریکی

الگوریتم‌ها همگرا شده است. مقایسه نتایج بهینه‌سازی در دو مورد شبیه‌سازی نشان می‌دهد در نظر گرفتن اثر تولید پراکنده و خودروهای برقی باعث شده است مقدار توابع هدف تلفات و انرژی توزیع نشده از ۳۳۳۵۹/۳۶ کیلووات ساعت و ۳۱۴۴۵/۶۵ کیلووات ساعت بر سال به ۳۲۳۳/۷۴ کیلووات ساعت و ۲۹۴/۴۶ کیلووات ساعت بر سال برسد. همچنین، در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار در کنار اثر منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی موجب شده است مقدار توابع هدف تلفات، انرژی توزیع نشده به ترتیب بیست و سه، سی و پنج درصد نسبت به مقادیر اولیه کاهش یابد.

جدول (۶): نتایج الگوریتم ترکیبی پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی انرژی توزیع نشده در ۳۰ آزمایش مختلف

روش‌ها	تلفات انرژی (کیلووات ساعت)			انحراف معیار
	بهترین جواب	میانگین	بدترین جواب	
کلونی زنبور عسل	۳۰۲۸۱/۷۵	۳۰۳۴۶/۵۲	۳۰۴۱۵/۲۸	۶۵/۷۴
جستجوی گرانشی	۲۹۸۶۸/۹۵	۲۹۹۲۶/۱۵	۲۹۹۸۸/۲۵	۶۱/۲۵
اجتماع ذرات	۲۹۴۲۰/۴۱	۲۹۷۴۱/۴۵	۲۹۵۲۹/۲۹	۵۲/۳۳
ترکیبی پیشنهادی	۲۹۱۶۵/۲۳	۲۹۲۱۰/۲۳	۲۹۲۵۶/۴۱	۴۶/۲۲

جدول (۷): نتایج الگوریتم ترکیبی پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی تابع تلفات در ۳۰ آزمایش مختلف

روش‌ها	انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)			انحراف معیار
	بهترین جواب	میانگین	بدترین جواب	
کلونی زنبور عسل	۲۰۹/۶۴	۲۹۸/۲۶	۳۱۱/۳۵	۴/۱۳
جستجوی گرانشی	۲۸۳/۴۵	۲۸۹/۴۱	۲۹۸/۱۹	۳/۸۷
اجتماع ذرات	۲۷۸/۶۴	۲۸۳/۲۱	۲۹۰/۵۴	۳/۳۵
ترکیبی پیشنهادی	۲۷۲/۵۱	۲۷۵/۲۳	۲۸۱/۱۵	۳/۱۵

جدول (۵): نتایج الگوریتم ترکیبی و سایر الگوریتم‌ها برای بهینه‌سازی توابع هدف مختلف در حضور و عدم حضور پاسخگویی بار

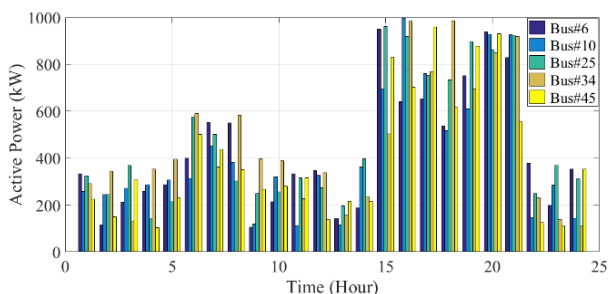
تابع هدف	روش‌ها	قبل از برنامه پاسخگویی بار	بعد از برنامه پاسخگویی بار
		بهترین جواب	بهترین جواب
تلفات انرژی (کیلووات ساعت)	کلونی زنبور عسل	۳۲۴۴۸/۷۵	۳۰۲۸۱/۷۵
	جستجوی گرانشی	۳۲۰۵۰/۵۴	۲۹۸۶۸/۹۵
	اجتماع ذرات	۳۱۶۸۶/۴۲	۲۹۴۲۰/۴۱
	ترکیبی پیشنهادی	۳۱۴۴۵/۶۵	۲۹۱۶۵/۲۳
هزینه بهره برداری (دلار)	کلونی زنبور عسل	۱۴۰۱۲۸/۱۵	۱۴۰۶۴۹/۸۳
	جستجوی گرانشی	۱۴۰۲۸۵/۳۳	۱۴۰۴۶۹/۸۳
	اجتماع ذرات	۱۳۸۸۷۸/۲۳	۱۳۸۶۴۲/۲۵
	ترکیبی پیشنهادی	۱۳۹۵۳۹/۴۶	۱۳۸۵۳۵/۱۵
انرژی توزیع نشده (کیلووات ساعت بر سال)	کلونی زنبور عسل	۳۱۹/۳۵	۲۹۰/۱۲
	جستجوی گرانشی	۳۱۳/۴۵	۲۸۳/۱۵
	اجتماع ذرات	۳۰۸/۳۵	۲۷۸/۸۹
	ترکیبی پیشنهادی	۲۹۴/۴۶	۲۷۴/۶۵

توپولوژی بهینه سوئیچ‌ها، توان تولیدی بهینه منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی برای بهینه‌سازی تابع هدف تلفات در جدول (۸) و شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جداول (۵) تا (۷) واضح است که الگوریتم پیشنهادی به جواب‌های بهتری نسبت به سایر

جدول (۸): وضعیت بهینه سوئیچ‌ها به دست آمده با الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای بهینه‌سازی تابع تلفات توان

سطح بار	کلیدهای باز شده										
	Sw1	Sw2	Sw3	Sw4	Sw5	Sw6	Sw7	Sw8	Sw9	Sw10	Sw11
۱	۷۰	۷	۷۹	۲۲	۸۲	۳۳	۱۹	۸۶	۵۵	۸۷	۳۰
۲	۴	۷	۷۹	۲۲	۸۲	۵۲	۶۷	۶۵	۸۵	۲۲	۸۳
۳	۷۷	۴۳	۱۵	۲۲	۲۶	۳۵	۸۰	۸۶	۵۳	۲۲	۳۰
۴	۴	۴۰	۱۵	۲۲	۲۶	۵۲	۸۰	۸۶	۵۵	۸۷	۲۷
۵	۴	۷	۱۵	۲۲	۸۲	۸۴	۱۹	۵۶	۸۵	۲۲	۳۰
۶	۷۰	۷	۱۵	۸۱	۴۹	۸۴	۸۰	۸۶	۸۵	۸۷	۲۸
۷	۷۷	۷	۱۵	۲۲	۲۶	۸۴	۱۹	۸۶	۸۵	۲۲	۸۳
۸	۴	۴۳	۱۵	۳۹	۲۶	۸۴	۱۹	۸۶	۸۵	۷۱	۳۰
۹	۷۷	۷	۱۵	۲۲	۸۲	۵۰	۱۹	۸۶	۸۵	۲۲	۳۰
۱۰	۷۰	۷۸	۱۵	۳۹	۸۲	۳۵	۱۹	۸۶	۵۳	۲۲	۸۳
۱۱	۷۰	۴۳	۱۵	۲۲	۸۲	۳۵	۸۰	۸۶	۵۵	۸۷	۳۰
۱۲	۷۰	۷۸	۱۵	۸۱	۸۲	۳۵	۱۹	۶۵	۸۵	۲۲	۳۰
۱۳	۷۰	۷۸	۱۵	۸۱	۲۶	۳۵	۱۹	۸۶	۸۵	۸۷	۲۸
۱۴	۷۷	۴۳	۱۵	۳۹	۲۶	۵۲	۱۹	۸۶	۸۵	۲۲	۸۳
۱۵	۴	۴۳	۷۹	۲۲	۲۶	۸۴	۸۰	۸۶	۵۵	۲۲	۳۰
۱۶	۷۷	۷۸	۱۵	۳۹	۲۶	۳۵	۱۹	۶۵	۸۵	۸۷	۳۰
۱۷	۴	۴۳	۱۵	۲۲	۲۶	۳۵	۶۷	۸۶	۸۵	۸۷	۸۳
۱۸	۷۷	۴۳	۷۹	۲۲	۸۲	۳۵	۱۹	۸۶	۸۵	۲۲	۲۷
۱۹	۷۰	۷۸	۱۵	۲۲	۲۶	۸۴	۱۹	۸۶	۵۵	۲۲	۳۰
۲۰	۴	۴۳	۱۵	۲۲	۸۲	۸۴	۸۰	۸۶	۸۵	۷۶	۳۰
۲۱	۷۷	۷	۷۹	۳۹	۲۶	۸۴	۸۰	۸۶	۵۵	۳۱	۳۰
۲۲	۷۷	۷۸	۱۵	۲۲	۴۹	۳۵	۱۹	۶۵	۷۴	۸۷	۳۰
۲۳	۴	۷۸	۱۵	۸۱	۸۲	۸۴	۱۹	۸۶	۸۵	۲۲	۸۳
۲۴	۷۰	۷	۱۵	۳۹	۸۲	۳۵	۸۰	۸۶	۸۵	۸۷	۳۰

پیدا نمی‌کنند. پس با مفهوم بهینه‌سازی تک‌هدفه نمی‌توان مسئله بهینه‌سازی چندهدفه را حل کرد. به همین منظور، از مفهوم بهینگی پارتو استفاده شده است. در شکل‌های (۷) و (۸)، جبهه‌های بهینه پارتو مربوط به بهینه‌سازی دو و سه‌هدفه نشان داده شده‌اند. همچنین، جواب مصالحه در هر شکل با رنگ قرمز نشان داده شده است.



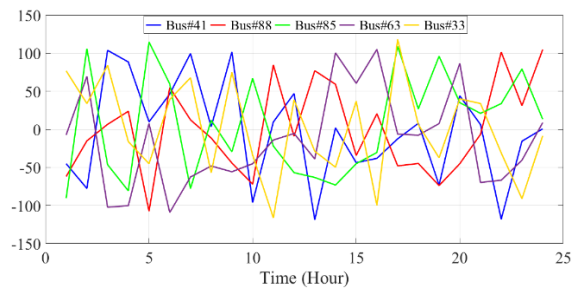
شکل (۵): توان اکتیو واحدهای دیزل ژنراتور برای بهینه‌سازی تابع تلفات توان

با توجه به شکل‌های (۵) و (۶)، حداکثر و حداقل میزان تولید توان واحدهای تولید پراکنده مربوط به ساعات ۱۶ تا ۲۰ با ۱۹۸۶۲ کیلووات و ۲۱ تا ۲۴ با ۷۶۴۹ کیلووات است. همچنین، بیشترین و کمترین مقدار توان تولیدی واحدهای تولید پراکنده به ترتیب مربوط به دیزل ژنراتورهای نصب‌شده در باس‌های ۱۰ و ۴۵ با ۱۰۰ و ۱۰۰۰ کیلووات توان اکتیو تولیدی است. علاوه بر این، حداکثر میزان شارژ و دشارژ خودروهای برقی مربوط به ساعات ۱۶ تا ۲۰ با ۱۸۵ کیلووات و ۱۱ تا ۱۵ با ۲۰۵ کیلووات است. مقادیر مثبت و منفی در شکل (۶)، روند شارژ و دشارژ خودروهای برقی را نشان می‌دهد. برای خودروهای برقی، شارژ/دشارژ به ترتیب معادل تزریق توان به شبکه و گرفتن توان از شبکه است. همچنین، شرط شعاعی بودن شبکه در هر ساعت با توجه به آرایش دینامیکی شبکه در جدول (۷) رعایت شده است. با توجه به نتایج جدول (۱)، واضح است توابع هدف با هم در تناقض‌اند. به عبارتی، هر سه تابع هدف با هم بهبود

## ۶- نتیجه گیری

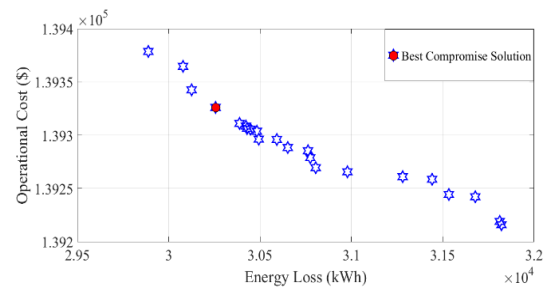
هدف از این مطالعه، بهره‌برداری بهینه از شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و خودروهای برقی است. به همین منظور، مسئله بهینه‌سازی چندهدفه تجدید آرایش دینامیکی فیدرهای توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده و خودروهای برقی با در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار حل شده است. روش ارائه شده برای حل مسئله بهینه‌سازی تک و چندهدفه، الگوریتم ترکیبی اجتماع ذرات-کلونی زنبور عسل است. توابع هدف مدنظر در این مطالعه شامل انرژی توزیع نشده، تلفات توان و هزینه بهره‌برداری هستند. روش پیشنهادی روی یک سیستم توزیع ۹۵ باسه تست شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، برتری روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های تکاملی در بهینه‌سازی تک و چندهدفه اثبات می‌شود.

با توجه به نتایج بهینه‌سازی در مقاله، تجدید آرایش باعث کاهش توابع انرژی توزیع نشده و تلفات می‌شود؛ برای مثال، مقادیر این توابع حاصل از الگوریتم پیشنهادی به ترتیب ۲۰ درصد و ۷٫۵ درصد در مقایسه با مقادیر اولیه توابع هدف قبل از تجدید آرایش کاهش یافته‌اند. علاوه بر این، در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده و خودروهای برقی در حل مسئله تجدید آرایش، تأثیر درخور توجهی در کاهش توابع انرژی توزیع نشده و تلفات داشته است؛ برای مثال، مقادیر این توابع حاصل از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با مقادیر آنها بعد از تجدید آرایش و بدون در نظر گرفتن خودروهای برقی و واحدهای تولید پراکنده، به ترتیب ۱۰ درصد و ۶ درصد کاهش یافته‌اند. در نهایت، در نظر گرفتن برنامه پاسخگویی بار در حل مسئله تجدید آرایش باعث می‌شود مقدار توابع تلفات و انرژی توزیع نشده حاصل از روش پیشنهادی به ترتیب بیست و سه، سی و پنج درصد نسبت به مقادیر اولیه کاهش یابند. در نظر گرفتن عدم قطعیت در حل مسئله تجدید آرایش سیستم توزیع، اگرچه باعث دور شدن پاسخ سیستم از نقطه بهینه در حالت معین می‌شود، به تصمیم صحیح برنامه‌ریز مستقل سیستم قدرت در فضای واقعی منجر می‌شود.

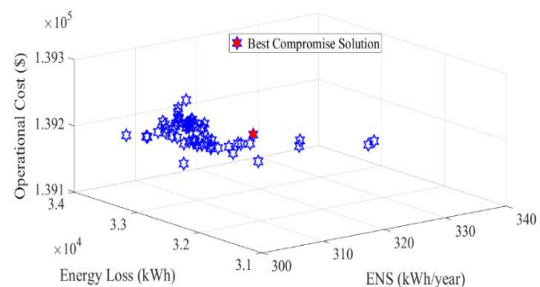


شکل (۶): توان اکتیو خودروهای برقی در حین شارژ / دشارژ برای بهینه‌سازی تابع تلفات توان

با توجه به شکل‌های (۷) و (۸)، مقدار توابع هدف در جواب مصالحه که با رنگ قرمز مشخص شده، نزدیک به مقدار بهینه توابع هدف در جبهه‌های پارتو است و اختلاف چندانی ندارد که نشان از توانایی روش پیشنهادی در حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه دارد. علاوه بر این، مقدار توابع هدف در جواب مصالحه مربوط به شکل (۷)، شامل تلفات، انرژی توزیع نشده و هزینه بهره‌برداری به ترتیب دوازده، شانزده و چهار درصد نسبت به مقادیر اولیه کاهش یافته است.



شکل (۷): جبهه بهینه پارتو برای بهینه‌سازی توابع تلفات و هزینه بهره‌برداری



شکل (۸): جبهه بهینه پارتو برای بهینه‌سازی توابع تلفات، انرژی توزیع نشده و هزینه بهره‌برداری

## مراجع

- reconfiguration and capacitor switching in smart distribution systems", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol.85, pp. 200-211, 2017.
- [13] Shariatkhah, M.-H., et al., "Duration based reconfiguration of electric distribution networks using dynamic programming and harmony search algorithm", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol.41, No.1, pp. 1-10, 2012.
- [14] Milani, A.E. and M.R. Haghifam, "An evolutionary approach for optimal time interval determination in distribution network reconfiguration under variable load", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.57, No.(1-2), pp. 68-77, 2013.
- [15] Wu, J.-z. and Y.-x. Yu, "Global optimization algorithm to time varying reconfiguration for operation cost minimization", *Proceedings of the CSEE*, Vol.23, No. 11, pp.13-17, 2003.
- [16] Amirreza Jafari, Hamed Ganjeh Ganjehlou, Farzad Baghal Darbandi, Behnam Mohammadi-Ivatloo, "Dynamic and Multi-Objective Reconfiguration of Distribution Network Using a Novel Hybrid Algorithm with Parallel Processing Capability", *Applied soft computing*, Vol. 90, pp.106146, 2020.
- [17] Kavousi-Fard, A., Niknam, T., Fotuhi-Firuzabad, M., "Stochastic reconfiguration and optimal coordination of v2g plug-in electric vehicles considering correlated wind power generation", *IEEE Trans. Sustain. Energy*, Vol. 6, No. 3, pp. 822-830, 2015.
- [18] Kavousi-Fard, A., Abbasi, A., Rostami, M.A., et al., "Optimal distribution feeder reconfiguration for increasing the penetration of plug-in electric vehicles and minimizing network costs", *Energy*, Vol. 93, pp. 1693-1703, 2015.
- [19] Ghaedi, A., Fard, E.T., Fotoohabadi, H., et al., "Optimal distribution reconfiguration considering high penetration of electric vehicles", *J. Intell. Fuzzy Syst.*, Vol.30, No.2, pp. 1067-1075, 2016.
- [20] Kavousi-Fard, A., Abbasi, S., Abbasi, A., et al., "Optimal probabilistic reconfiguration of smart distribution grids considering penetration of plug-in hybrid electric vehicles", *J. Intell. Fuzzy Syst.*, Vol. 29, No.5, pp. 1847-1855, 2015.
- [21] Rostami, M.A., Kavousi-Fard, A., Niknam, T. Expected cost minimization of smart grids with plug-in hybrid electric vehicles using optimal distribution feeder reconfiguration. *IEEE Trans. Ind. Inf.*, 2015, 11, (2), pp. 388-397.
- [22] Azizivahed, A., et al., "Dynamic Feeder Reconfiguration in Automated Distribution Network Integrated with Renewable Energy Sources with Respect to the Economic Aspect", *IEEE Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT Asia)*, 2019.
- [23] Jahani, M.T.G., et al., "Multi-objective optimization model for optimal reconfiguration of distribution networks with demand response services", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 47, pp. 101514, 2019.
- [24] Ghasemi S, Moshtagh J. "Radial distribution
- [1] Leou, R.C, "Optimal charging/discharging control for electric vehicles considering power system constraints and operation costs", *IEEE Trans. Power Syst*, Vol. 31, No. 3, pp. 1854-1860, 2016.
- [2] Liu, C., Chau, K., Wu, D., et al. "Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies". *Proc. IEEE*, Vol.101, No. 11, pp. 2409-2427, 2013.
- [3] Narimani, M.R., et al., "Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost", *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol.8, No.1, pp. 55-69, 2014.
- [4] Mahboubi-Moghaddam, E., et al., "Multi-objective distribution feeder reconfiguration to improve transient stability, and minimize power loss and operation cost using an enhanced evolutionary algorithm at the presence of distributed generations", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 76, pp.35-43, 2016.
- [5] Azizivahed, A., et al. "A hybrid evolutionary algorithm for secure multi-objective distribution feeder reconfiguration", *Energy*, Vol.138, pp. 355-373, 2017.
- [6] Esmaeili, M., M. Sedighzadeh, and M. Esmaili, "Multi-objective optimal reconfiguration and DG (Distributed Generation) power allocation in distribution networks using Big Bang-Big Crunch algorithm considering load uncertainty", *Energy*, Vol.103, pp. 86-99, 2016.
- [7] Bayat, A., A. Bagheri, and R. Noroozian. "Optimal siting and sizing of distributed generation accompanied by reconfiguration of distribution networks for maximum loss reduction by using a new UVDA-based heuristic method", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 77, pp. 360-371, 2016.
- [8] Vahid Fathi., Heresh Seyedi., Behnam Mohammadi Ivatloo., "Reconfiguration of distribution systems in the presence of distributed generation considering protective constraints and uncertainties", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Vol.30, No.5, pp. e12346, 2020.
- [9] Azizivahed, A., et al., "Multi-objective dynamic distribution feeder reconfiguration in automated distribution systems", *Energy*, Vol.147, pp. 896-914, 2018.
- [10] Azizivahed, A., et al., "Energy Management Strategy in Dynamic Distribution Network Reconfiguration considering Renewable Energy Resources and Storage", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol.11, No.2, pp.662-73, 2019.
- [11] Lotfi, H., R. Ghazi, and M. bagher Naghibi-Sistani, "Multi-objective dynamic distribution feeder reconfiguration along with capacitor allocation using a new hybrid evolutionary algorithm", *Energy Systems*, Vol.11, pp.779-809, 2020.
- [12] Ameli, A., et al., "A dynamic method for feeder



- dynamic distribution feeder reconfiguration", 24th electrical power distribution conference (EPDC), pp.60-65, 2019.
- [29] H. Lotfi (2022). "Optimal sizing of distributed generation units and shunt capacitors in the distribution system considering uncertainty resources by the modified evolutionary algorithm." *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol.13, No. 10, pp. 4739-4758, 2022.
- [30] Poli, R., J. Kennedy, and T. Blackwell, "Particle swarm optimization". *Swarm intelligence*, Vol.1, No.1, pp. 33-57, 2007.
- [31] Lotfi, H., M. Samadi, and A. Dadpour, "Optimal capacitor placement and sizing in radial distribution system using an improved Particle Swarm Optimization algorithm", 21st Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC), 2016.
- [32] Akbari, R., et al., "A multi-objective artificial bee colony algorithm", *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 2, pp. 39-5, 2012.
- systems reconfiguration considering power losses cost and damage cost due to power supply interruption of consumers. " *International Journal on Electrical Engineering & Informatics*, Vol. 5, No. 3, 2013.
- [25] Gitizadeh, M., A.A. Vahed, and J. Aghaei, "Multistage distribution system expansion planning considering distributed generation using hybrid evolutionary algorithms", *Applied energy*, Vol. 101, pp. 655-666, 2013.
- [26] Sasan Gh, jamal M." Distribution system restoration after extreme events considering distributed generators and static energy storage systems with mobile energy storage systems dispatch in transportation systems." *Applied Energy*, Vol.15, No. 310, pp-118507, 2022.
- [27] Lotfi H, Ghazi R, Sistani MBN, "Providing an optimal energy management strategy in distribution network considering distributed generators and energy storage Units", *International power system conference (PSC)*, pp 293-299, 2019.
- [28] H. Lotfi and R. Ghazi, "An optimal co-operation of distributed generators and capacitor banks in