# بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود ولتاژ با الگوریتم رقابت استعماری

**جواد مهرجویان[۱]، رحمن انصاری پور[۲]**

[۱] دانشجوی دکتری برق قدرت، شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان، اهواز، ایران
mehrjoojavad20@gmail.com
[۲] دانشجوی دکتری برق قدرت، شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، اهواز، ایران
ansari_۱۳۷۹@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

**چکیده: سیستم توزیع ارتباط بین سیستم انتقال و مصرف‌کننده نهایی را برقرار می‌سازد و نزدیک‌ترین بخش سیستم قدرت به مصرف‌کننده است. به سبب رشد فزاینده تقاضای انرژی الکتریکی، محدودیت‌های زیست محیطی و رقابت موجود در بازار عرضه انرژی، اغلب، سیستم‌های انتقال و توزیع تحت شرایط بارگذاری سنگین کار می‌کنند. افت ولتاژ شدید، خاموشی‌های متعدد و تلفات بالا از جمله مشکلات اساسی در شبکه‌های توزیع می‌باشند. بازآرایی ساده‌ترین و کم‌هزینه ترین روشی است که اهداف فوق را به طور نسبی برآورده می‌سازد. در این تحقیق، بازآرایی شبکه‌های توزیع به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شده است. یک تابع هدف شامل شاخص‌های تلفات توان اکتیو و پروفیل ولتاژ معرفی گردیده است. به منظور بررسی دقیق این رویکرد، سناریوهای مختلفی معرفی شده‌اند. برای حل این مسئله از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری(ICA) در محیط نرم‌افزاری Matlab استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی بر روی سیستم‌های توزیع شعاعی۳۳، ۶۹ و ۱۱۸ شینه استاندارد IEEE نشان می‌دهد که بهینه‌سازی وضعیت باز و بسته شدن کلیدها، تأثیر بسیار زیادی بر بهبود عملکرد سیستم توزیع خواهد داشت.**

**کلمات کلیدی: بازآرایی سیستم توزیع؛ بهینه‌سازی رقابت استعماری (ICA)؛ پایداری ولتاژ؛ تلفات توان**

## ۱- مقدمه

سیستم توزیع که از بخش‌های اساسی هر سیستم قدرت محسوب می‌شود، از اهمیت فوق العاده‌ای در بخش برق‌رسانی هر کشور برخوردار است. پیچیدگی، پراکندگی و نزدیکی به محل مصرف بر اهمیت سیستم توزیع می‌افزاید، به گونه‌ای که بخش عمده هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای تهیه انرژی، از نیروگاه تا محل مصرف، به این سیستم مربوط می‌شود.

به دلیل بالا بودن چگالی جریان در بخش توزیع و گستردگی و فرسودگی آن، درصد قابل توجهی از تلفات سیستم قدرت به این بخش اختصاص دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که حدود ۱۳ درصد از توان و انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها در مسیر تولید تا مصرف تلف می‌شود. این تلفات در تمام سطوح سیستم قدرت یعنی تولید، انتقال و توزیع وجود دارد که حدود ۷۵ درصد از این تلفات در سیستم‌های توزیع رخ می‌دهد[۱]. این میزان بالای تلفات در سطح توزیع کارشناسان این حوزه را بر آن می‌دارد تا با امر بهینه‌سازی در مسیر



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

کاهش تلفات گام بردارند. به جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در بخش توزیع روش‌های مختلفی از جمله خازن گذاری در شبکه، بالا بردن سطح ولتاژ، مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع، اصلاح و نوسازی شبکه و بازآرایی شبکه توزیع پیشنهاد شده است.

بسیاری از این روش‌ها نیازمند نصب تجهیزات جدید می‌باشند که این موضوع علاوه بر نیاز به سرمایه گذاری، پیچیدگی حفاظت شبکه را نیز افزایش می‌دهد. اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین راه حلی که امکان برطرف نمودن مشکلات مطرح شده را در اکثر موارد فراهم می‌آورد و همچنین باعث استفاده حداکثر و بهینه از امکانات موجود می‌گردد، بازآرایی سیستم‌های توزیع است.

بازآرایی سیستم توزیع عبارت است از تغییر توپولوژی شبکه با استفاده از تغییر دادن وضعیت کلیدهای شبکه که در حالت عادی ممکن است باز یا بسته باشند. در این روش جهت حفظ ساختار شعاعی شبکه با بستن یک کلید که در حالت عادی باز است باید یک کلید که در حالت عادی بسته است باز شود[۲]. بررسی تمام حالت‌ها جهت بازآرایی تقریباً غیرممکن می‌باشد، زیرا در شبکه‌ای با n کلید دو وضعیتی ( باز یا بسته )$2^n$ حالت (آرایش ) مختلف وجود دارد. همچنین هنگام این تغییر آرایش، شرایط و قیدهای زیر بایستی برآورده شوند:

ساختار شعاعی شبکه جدید حفظ گردد. شبکه جدید همه‌ی شین‌ها را شامل شود. ولتاژ شین‌ها و تجهیزات شبکه در محدوده مجاز باشند. جریان خطوط و تجهیزات شبکه در محدوده مجاز باشند.

بنابراین مسئله بازآرایی یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده می‌باشد که نیاز به ارائه روش‌های سریع و کارآمد جهت حل آن احساس می‌گردد. روش‌های متعددی برای انجام عملیات بازآرایی ارائه گردیده است.

در بیشتر این روش‌ها، بار در نقاط مختلف شبکه به صورت ثابت فرض شده است و هدف پیدا نمودن آرایشی از شبکه بوده که در آن آرایش کمترین تلفات در شبکه اتفاق بیفتد.

سیوانلار[۱] و همکاران او (۲۰۰۱) روشی به نام روش تعویض شاخه ارائه نموده اند[۳]. الگوریتم این روش، کار خود را از یک آرایش شعاعی شبکه شروع می‌کند. بدین ترتیب که یکی از کلیدهای باز را انتخاب نموده و آن را می‌بندد. با بستن این کلید یک حلقه در شبکه ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از قوانین و روابط یکی از کلیدهای بسته در حلقه‌ی ایجاد شده را انتخاب نموده و باز می‌کند. بدین ترتیب شبکه مجدداً ساختار شعاعی خود را باز می‌یابد. در این روش مسئله بازآرایی با هدف کاهش تلفات با استفاده از روش‌های تجربی و اکتشافی انجام شده است. روش شاخه و حد نیز یک روش تجربی است که به وسیله آقایان مرلین[۲] و بک (۱۹۷۵) ارائه شد[۴]. بر اساس این روش ابتدا کلیدهای باز شبکه بسته می‌شوند. با انجام این کار، شبکه شعاعی به یک شبکه غربالی تبدیل می‌شود. سپس کلیدهای شبکه به طور متوالی باز می‌شوند تا مجددا شبکه به حالت شعاعی باز گردد. در این فرایند باز کردن کلیدها، کلیدهایی انتخاب می‌شوند که تلفات اهمی خطوط شبکه منتجه را کاهش دهند. در این روش تمامی بارها به صورت حقیقی خالص فرض شده و به صورت منابع جریان ثابت در نظر گرفته شده‌اند. همچنین از زاویه ولتاژها و محدودیت‌های شبکه صرف‌نظر شده است و برای محاسبات پخش بار از الگوریتم پخش بار DC استفاده شده است که برای شبکه‌های توزیع با ابعاد واقعی کارایی و دقت مناسبی ندارد. روش شیرمحمدی[۳] و هانگ(۱۹۸۹) در واقع روش اصلاح شده و تکمیل شده روش شاخه و حد است[۵]. روش شیرمحمدی از دو امتیاز اساسی روش شاخه و حد که همان همگرایی به آرایش بهینه یا حداقل نزدیک بهینه و همچنین مستقل بودن آرایش نهایی از آرایش اولیه هستند، سود می‌برد. علاوه بر این تمامی معایب روش شاخه و حد را مرتفع ساخته است و آن را به یک روش سریع و کارآمد بدل ساخته است. روش مک در موت[۴] (۲۰۰۰)، در این روش، ابتدا همه کلیدها باز می‌شوند، سپس در هر مرحله کلیدی که کمترین افزایش را در تابع هدف مسئله ایجاد کند بسته می‌شود[۶]. تابع هدف در این روش به صورت نسبت افزایش تلفات به بار اضافه شده به سیستم می‌باشد. الگوریتم این روش به نام الگوریتم DAOP[۵] معرفی شده است. روش‌های دیگری نیز برای حل مسئله بازآرایی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های ریاضی برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی همچون منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات اشاره کرد. به عنوان نمونه در مرجع[۷] بازآرایی بهینه و مکان‌یابی خازن در سیستم‌های توزیع شعاعی به منظور حداقل کردن تلفات انرژی بررسی شده است. سطوح بار مختلفی با در نظر گرفتن منحنی بار شبکه در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است. مسئله مطرح شده در این روش با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی که در آن از یک تابع پیوسته استفاده شده است، بهینه شده است. در مرجع[۸] از الگوریتم ژنتیک با رمزگذاری ترتیبی جهت بازآرایی بهینه شبکه‌های توزیع با هدف کاهش تلفات و همچنین کاهش تعداد کلیدزنی استفاده شده است. در مرجع[۹]یک روش موثر مبتنی بر بهینه سازی ازدحام ذرات با کد گذاری عدد صحیح(EICPSO)[۶] جهت محاسبه وضعیت کلیدهای شبکه برای بازآرایی فیدرهای توزیع مطرح شده است. نتایج شبیه‌سازی در این روش نشان می‌دهد که می‌توان پاسخ بهینه مسئله را سریعتر از سایر روش‌ها از قبیل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری پیدا کند.

در مرجع [۱۰] از الگوریتم جستجوی کلونی مورچه‌ها (ACSA) برای حل مسئله بازآرایی بهینه شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات توان استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی در این مرجع برای بازآرایی بر روی یک سیستم قدرت اعمال شده و با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA) مقایسه شده است. نتایج عددی نشان دهنده این است که روش پیشنهادی در این مرجع بهتر از عملکرد دو الگوریتم دیگر است. تعدادی از مراجع



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

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

پیرامون انواع روش‌ها، الگوریتم‌های بهینه‌سازی و توابع هدف مختلف در زمینه مسئله بازآرایی سیستم‌های توزیع با اهداف گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده شد، در اکثر مراجع کمینه کردن تلفات شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده و این مسئله توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی گوناگون به شیوه بهینه حل شده است. در این تحقیق مسئله بازآرایی سیستم‌های توزیع شعاعی با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ انجام گرفته است و برای این کار از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، که در آن تأثیر بارگذاری‌های مختلف از جمله بار ثابت، بار صنعتی و بار ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفته است استفاده شده که روش جدیدی در این موضوع است و کارهای بسیار کمی در این زمینه صورت گرفته است.

## ۲- مبانی نظری

### ۲-۱- تابع هدف

بازآرایی فرآیندی از تغییر توپولوژی سیستم برای یک هدف خاص است. هدف در این فرآیند، کمینه کردن کل تلفات توان اکتیو سیستم( $\Delta P_{loss}^{R}$ ) و انحراف ولتاژ($V_D$) است، که می تواند به صورت زیر تعریف شود [۱۱]:

$$minimize\ F = \Delta P_{LOSS}^{R} + V_D \qquad (۱)$$

کاهش تلفات توان اکتیو خالص به عنوان نسبت کل تلفات توان قبل و بعد از بازآرایی سیستم در نظر گرفته شده و به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$\Delta P_{lpss}^{R} = \frac{P_{loss}^{rec}}{P_{loss}^{0}} \qquad (۲)$$

تلفات توان سیستم با جمع تلفات در تمامی خطوط سیستم تعیین می شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i I_i^2 = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \left(\frac{S_i}{V_i}\right)^2 = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \left(\frac{\sqrt{P_i^2+Q_i^2}}{V_i}\right)^2 = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \frac{P_i^2+Q_i^2}{V_i^2} \qquad (۳)$$

که در رابطه فوق Ri، Pi، Qi و Vi به ترتیب مقاومت، توان اکتیو، توان راکتیو و ولتاژ شاخه iام می باشند و $N_{br}$ عداد شاخه‌های سیستم توزیع است.

### ۲-۲- انحراف ولتاژ

شاخص انحراف ولتاژ، میزان انحراف ولتاژ شین‌های سیستم را از مقدار نامی ولتاژ سیستم ارزیابی می کند. برای عملکرد بهتر شبکه، این شاخص باید تا حد ممکن به صفر نزدیک باشد. شاخص انحراف ولتاژ (ΔVD) می‌تواند به صورت زیر تعریف شود [۱۱]:

$$\Delta V_D = max\left(\frac{V_1 - V_i}{V_1}\right) \quad \forall i = 1,2,\ldots,N_{bus} \qquad (۴)$$

که در رابطه فوق $N_{bus}$ تعداد شاخه‌های سیستم توزیع است. در فرآیند بهینه‌سازی هدف این است که این انحراف ولتاژ به صفر نزدیک شود. بنابراین پایداری ولتاژ و عملکرد سیستم توزیع بهبود می‌یابد. در این کار برای رسیدن به همگرایی در ولتاژ شینه ها از روش پخش بار پسرو-پیشرو که یکی از متداول ترین روش‌ها برای انجام پخش بار در شبکه‌های شعاعی می‌باشد، استفاده شده است.

### ۲-۳- قیود و محدودیت‌ها

محدودیت‌های تابع هدف به صورت زیر می‌باشند [۱۱]:

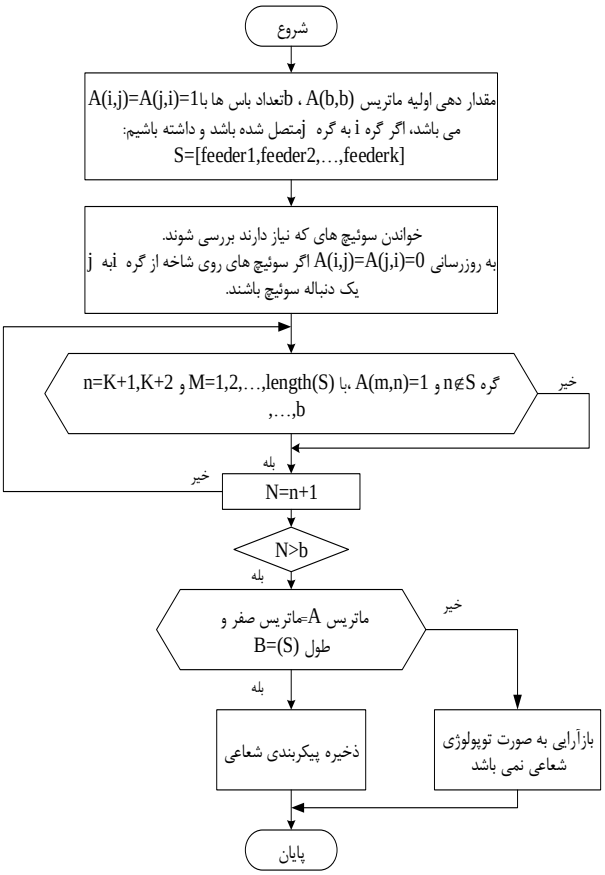
الف) برای پیکربندی پیشنهادی، ولتاژها و جریان‌های محاسبه شده می بایست در محدوده فرض شده باشند.

$$V_{min} \le V_i \le V_{max},\ i=1,2,\ldots,N_{bus} \qquad (۵)$$

$$0 \le I_i \le I_{max},\ i=1,2,\ldots,N_{br} \qquad (۶)$$

که در روابط فوق $V_{min}$ و $V_{max}$ به ترتیب حداقل و حداکثر ولتاژ قابل قبول باس ها و $I_i$ و $I_{max}$ نیز جریان در شاخه iام و حد بالای جریان خط تعریف می شوند.

ب) ماهیت شعاعی شبکه توزیع می‌بایست حفظ شود و تمامی بارها باید تأمین شوند.




شکل(۱): الگوریتم بررسی ساختار شعاعی شبکه [۱۱]

### ۲-۴- بررسی شعاعی بودن شبکه



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

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

الگوریتم جدید به منظور بررسی ساختار شعاعی حاصل از راه حل‌های بدست آمده ارائه شده است. فلوچارت این الگوریتم در شکل ۱ نشان داده شده است.

## ۲-۵- الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری روشی در حوزه محاسبات تکاملی است، که به یافتن پاسخ بهینه مسائل مختلف بهینه‌سازی می‌پردازد. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرآیند تکامل اجتماعی- سیاسی، الگوریتمی برای حل مسائل ریاضی بهینه سازی ارائه می‌دهد[۱۲]. از لحاظ کاربرد، این الگوریتم در دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی همچون الگوریتم های ژنتیک، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و ... قرار می‌گیرد.

همانند همه الگوریتم‌های قرار گرفته در این دسته، الگوریتم رقابت استعماری نیز مجموعه اولیه‌ای از جواب‌های احتمالی را تشکیل می‌دهد. این جواب‌های اولیه در الگوریتم ژنتیک با عنوان کروموزوم، در الگوریتم ازدحام ذرات با عنوان ذره و در الگوریتم رقابت استعماری نیز با عنوان کشور شناخته می شوند. الگوریتم رقابت استعماری جواب‌های اولیه (کشور ها) را به تدریج بهبود داده و در نهایت جواب مناسب مسئله بهینه‌سازی (کشور مطلوب) را در اختیار می‌گذارد.

مانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک کشور نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان استعمارگر انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور استعمارگر (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور استعمارگر به اضافه در صدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده‌است.

روند کامل الگوریتم رقابت استعماری را می‌توان با فلوچارت شکل۲ نشان داد.

## ۲-۶- بازآرایی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری

هدف از بازآرایی، تعیین کلیدهای باز سیستم به منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات است، حال در یک حالت نوعی ممکن است که جواب‌های بدست آمده باعث خروجی‌های نامطلوب شوند، لذا در ابتدا دسته‌ای از جواب‌های ممکن به صورت جمعیت اولیه ایجاد می‌شوند، که کشور نامیده می‌شوند، که در اینجا جمعیت N کشور به صورت $X_i = [X_1^i, \dots, X_{d-1}^i, X_d^i]$ تعریف شده است که در آن i=1,2,…,N می‌باشد. $X_i$ نشان دهنده یک بردار از راه حل‌های متغیرها می‌باشد که به صورت $X_i = [SW_1^i, \dots, SW_2^i, SW_d^i]$ در نظر گرفته شده و d=1,2,…,$N_{ts}$ می‌باشد. $N_{ts}$ تعداد گره‌های متصل است که به صورت زیر تعریف می‌شوند و متناظر با آرایشی است که باعث حفظ توپولوژی شعاعی سیستم توزیع می شود.

$$N_{ts} = N_{br} - (N_{bus} - N_{ss}) \quad (۷)$$

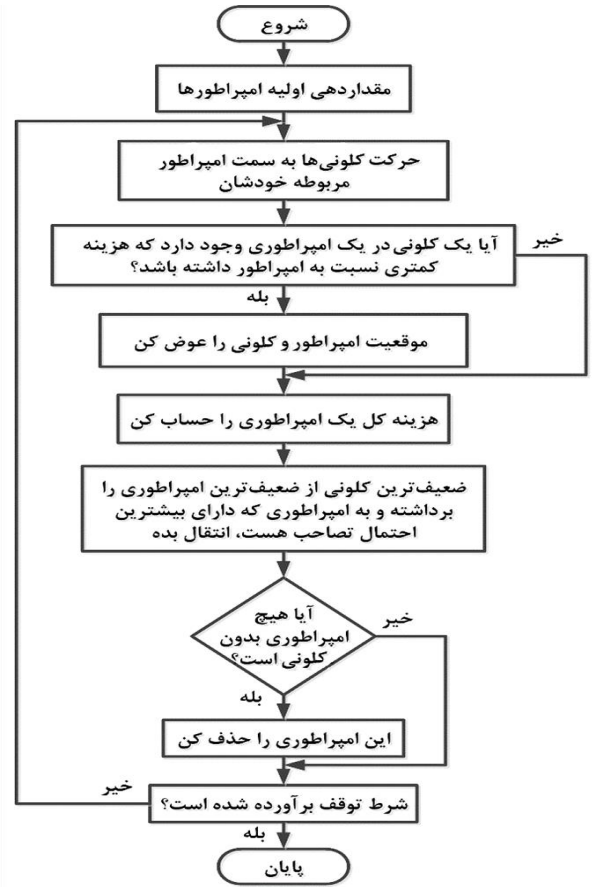
هزینه‌ی یک کشور با ارزیابی تابع در متغیرهای $(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}})$ یافته می‌شود. بنابراین:

$$cost_i = f(country_i) = f(p_1, p_2, p_3, \dots p_{var}) \quad (۸)$$

در این‌جا هزینه کشور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f = C_1 \Delta P_{loss}^R + C_2 \Delta V_D \quad (۹)$$

که $\Delta P_{loss}^R$ تلفات توان سیستم و $\Delta V_D$ انحراف ولتاژ سیستم است. C۱ و C۲ نیز وزن‌هایی هستند که میزان اهمیت هر یک از اهداف را نشان می‌دهند[۱۱]. بنابراین برای به دست آوردن هزینه کشور، کافی است که تابع هدف را به ازای هر یک از کشورها محاسبه کرد. یافتن بهترین کشور به عنوان هدف در نظر گرفته شده است. الگوریتم معرفی شده در این نوشتار با تولید یک دسته از کلیدها و دسته بندی آنها در قالب امپراتوری‌ها و اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران به روی مستعمرات و همچنین با ایجاد رقابت استعماری میان امپراتوری‌ها به جستجوی بهترین کشورها می‌پردازد.




**شکل(۲): الگوریتم رقابت استعماری[۱۲]**



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

## ۳- بررسی و تحلیل نتایج

### ۳-۱- شبکه مورد مطالعه

بازآرایی روی سه شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری چندهدفه اجرا گردید. شبکه آزمون اول یک سیستم نمونه ۳۳ شینه IEEE [۱۳]، شبکه دوم سیستم نمونه ۶۹ شینه IEEE [۱۴] و شبکه سوم سیستم نمونه ۱۱۸ شینه IEEE می‌باشد. به منظور درک بهتر موضوع و واقعی‌تر شدن شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته، بارهای مختلف در نظر گرفته شده است. به دلیل محدودیت فضا به بررسی و تحلیل نتایج بازآرایی صورت گرفته در شبکه نمونه ۳۳ شینه پرداخته شده است.

پارامترهای در نظر گرفته‌شده جهت شبیه‌سازی در جدول ۱ ارائه‌شده است.

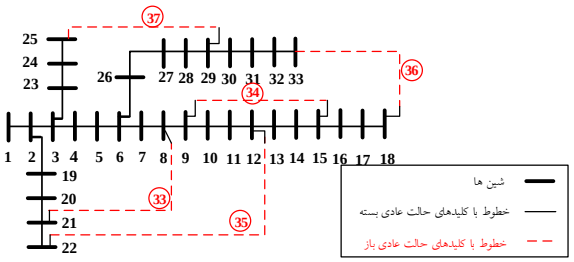
**جدول( ۱): مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی[۳۰]**

| مقدار | مفهوم | نماد |
|---|---|---|
| ۱۰۰ | تعداد کشورها | Npop |
| ۳۰۰ | حداکثر تعداد تکرار | MaxIT |
| ۱/۰۵ | حداکثر ولتاژ مجاز (پریونیت) | Vmax |
| ۰/۹ | حداقل ولتاژ مجاز (پریونیت) | Vmin |
| ۰/۶۵ | وزن تلفات در تابع هدف | C1 |
| ۰/۳۵ | وزن انحراف ولتاژ در تابع هدف | C2 |

### ۳-۲- بازآرایی شبکه آزمون IEEE-33bus

این سیستم دارای ۳۷ شاخه، ۵ کلید حالت عادی باز با شماره‌های ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۳۷ می‌باشد. شمای تک خطی این شبکه در شکل ۳ نشادن داده شده است.

فرض بر این است که بر روی هر یک از شاخه‌های شبکه یک کلید حالت عادی بسته وجود دارد. این شبکه در ولتاژ ۱۲/۶۶ کیلوولت کار می‌کند. حداکثر جریان مجاز خطوط ۲۵۵ آمپر، حداکثر ولتاژ مجاز شین‌ها ۱/۰۵ پریونیت و حداقل ولتاژ هر شین ۰/۹ پریونیت می‌باشد [۱۳]. مقدار بارهای اکتیو و راکتیو برای این سیستم به ترتیب ۲۳۰۰ kW و ۱۸۰۰ kVarمی‌باشد.




**شکل(۳): سیستم ۳۳ شینه استاندارد[۱۳]**

به منظور انجام شبیه‌سازی سیستم توزیع نمونه، قیود ارائه‌شده جزیره‌ای نبودن شبکه، شعاعی بودن شبکه، حداکثر و حداقل ولتاژ شین‌ها و حداکثر جریان حرارتی شاخه‌ها در نظر گرفته‌شده است.

در جدول ۲ تلفات توان حقیقی، میانگین ولتاژ شین‌های سیستم، میانگین پایداری ولتاژ سیستم، حد ظرفیتی خطوط، سیستم پس از بازآرایی در سه مدل بار مختلف داده شده‌اند.

**جدول( ۲): نتایج شبیه‌سازی در سیستم توزیع ۳۳ شینه**

| نوع بار / شاخص | ثابت | صنعتی | ترکیبی |
|---|---|---|---|
| مقدار تابع هدف | ۰/۴۶۳۹۱ | ۰/۲۸۰۶۵ | ۰/۲۵۰۰۸ |
| تلفات اکتیو(kW) | ۱۳۹/۵۵۴۶ | ۷۴/۹۰۵۲ | ۱۵/۷۶۹۶ |
| تلفات راکتیو(kVA) | ۱۰۲/۳۹۷۴ | ۶۱/۵۳۰۲ | ۱۴/۸۳۵۶ |
| میانگین پروفیل ولتاژ(p.u.) | ۰/۹۶۵۲ | ۰/۹۷۵۸ | ۰/۹۸۳۲ |
| انحراف ولتاژ (p.u.) | ۰/۰۶۲۸ | ۰/۰۷۲۲ | ۰/۱۱۶۴ |
| کمترین ولتاژ (p.u.) | ۰/۹۳۷۸ | ۰/۹۴۹۱ | ۰/۹۵۹۸ |

در حالتی که همگی بارها ثابت فرض شوند، تلفات توان حقیقی حالت پایه ۲۱۰/۸۴۳۲ کیلووات بود که پس از انجام بازآرایی به مقدار ۱۳۹/۵۵۴۶ کیلووات کاهش یافته است که نشان دهنده یک کاهش ۳۳/۸۱۱۲ درصدی در تلفات توان حقیقی است. در این حالت پس از بازآرایی، میانگین ولتاژ شین‌های سیستم ۰/۹۶۵۲، انحراف ولتاژ ۰/۰۶۲۸و کمترین ولتاژ در باس‌ها ۰/۹۳۷۸ پریونیت می‌باشد.

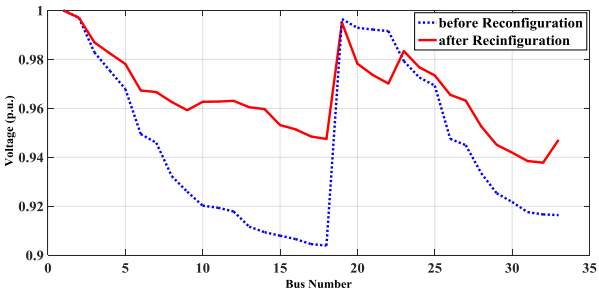
در حالتی که بارها صنعتی فرض شوند، تلفات توان حقیقی حالت پایه ۱۸۲/۹۴ کیلووات بود که پس از انجام بازآرایی با کاهش ۵۹/۰۵۴۷ درصدی به مقدار ۷۴/۹۰۵۲ کیلووات کاهش یافته است. در این حالت پس از بازآرایی، میانگین ولتاژ شین‌های سیستم ۰/۹۷۵۸، انحراف ولتاژ ۰/۰۷۲۲ و کمترین ولتاژ در باس‌ها ۰/۹۴۹۱ پریونیت می‌باشد.

به صورت مشابه در حالت بار ترکیبی، تلفات توان حقیقی حالت پایه ۳۵/۹۹۰ کیلووات بود که پس از انجام بازآرایی به مقدار ۱۵/۷۶۹۶ کیلووات کاهش یافته است، که نشان دهنده کاهش ۵۶/۱۸۳۳ درصدی در تلفات توان حقیقی است. در این حالت پس از بازآرایی، میانگین ولتاژ شین‌های سیستم ۰/۹۸۳۲، انحراف ولتاژ ۰/۱۱۶۴ و کمترین ولتاژ در باس‌ها ۰/۹۵۹۸ پریونیت می‌باشد.

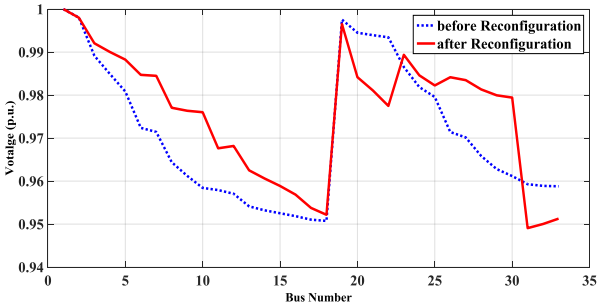
پروفیل ولتاژ مدل بارهای مختلف در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده‌شده‌اند. رنگ آبی پروفیل ولتاژ حالت قبل از انجام بازآرایی می‌باشد و رنگ قرمز پروفیل ولتاژ، پس از بازآرایی شبکه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با بازآرایی شبکه پروفیل ولتاژ سیستم نیز به آرایش مناسب‌تر رسیده است. بنابراین با مقایسه نتایج حاصل از سیستم ۳۳ شینه برای بارهای مختلف، مشاهده می‌گردد که بازآرایی در حالت بار ثابت بیشترین تأثیر را بر روی بهبود پروفیل ولتاژ دارا می‌باشد. همچنین از توضیحات فوق و نتایج ارائه شده در جدول ۲ مشاهده می‌گردد که با بازآرایی در سیستم توزیع، توان تلف شده سیستم کاهش یافته است.



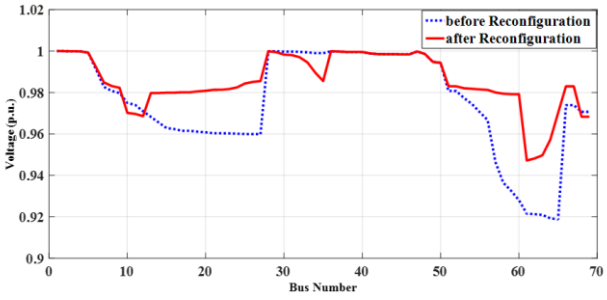
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018




**شکل (۴): پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار ثابت**

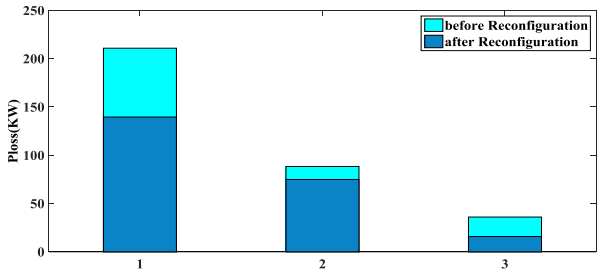



**شکل (۵): پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار صنعتی**



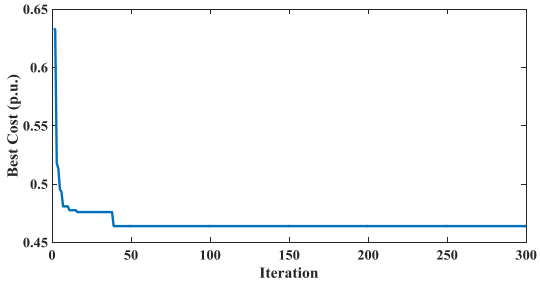

**شکل(۶): پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار ترکیبی**

تأثیر بازآرایی بر تلفات سیستم برای سه مدل بار در شکل ۷ آورده شده است. شماره اول تأثیر بازآرایی شبکه در حالت بار ثابت را نشان می‌دهد. شماره دوم تاثیر بازآرایی شبکه در حالت صنعتی را نشان می‌دهد و حالت سوم نشان دهنده تأثیر بازآرایی شبکه در حالت بار ترکیبی است. مشخص است که بیشترین تاثیر بازآرایی بر روی سیستم با بار ثابت می‌باشد.

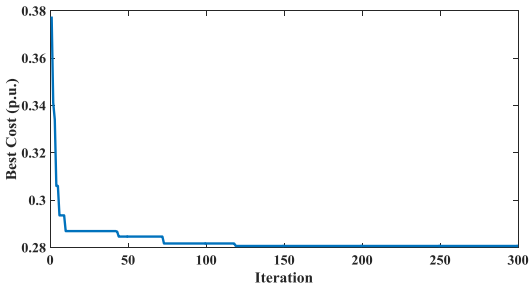



**شکل(۷): تلفات در سیستم ۳۳ شینه قبل و بعد از بازآرایی**

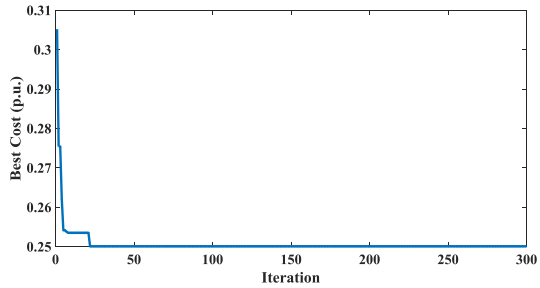
شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب نشان دهنده منحنی همگرایی فرآیند بازآرایی توسط الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری در سیستم ۳۳ شینه با درنظر گرفتن بار ثابت، صنعتی و ترکیبی می‌باشند.




**شکل (۸): منحنی همگرایی مربوط به الگوریتم ICA در فرآیند بازآرایی سیستم ۳۳ شینه با بار ثابت**




**شکل (۹): منحنی همگرایی مربوط به الگوریتم ICA در فرآیند بازآرایی سیستم ۳۳شینه با بار صنعتی**




**شکل (۱۰): منحنی همگرایی مربوط به الگوریتم ICA در فرآیند بازآرایی سیستم ۳۳شینه با بار ترکیبی**

## ۴- نتیجه

به خاطر بالا بودن چگالی جریان در بخش توزیع و گستردگی و فرسودگی آن، درصد قابل توجهی از تلفات سیستم قدرت به این بخش اختصاص دارد. به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ می‌توان از مسئله بازآرایی در سیستم های توزیع استفاده نمود. بازآرایی سیستم توزیع شامل تغییر توپولوژی شبکه، با استفاده از تغییر دادن وضعیت کلیدهای شبکه است که در حالت عادی ممکن است باز یا بسته باشند. همچنین هنگام این تغییر آرایش، شرایط و قیدهایی از جمله حفظ



[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

ساختار شعاعی شبکه جدید، ولتاژ شین‌ها و جریان خطوط در محدوده مجاز باید برآورده شوند. بنابراین مسئله بازآرایی یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده می‌باشد که نیاز به ارائه روش‌های سریع و کارآمد جهت حل آن احساس می‌گردد. در این تحقیق، موضوع بازآرایی شبکه‌های توزیع شعاعی به منظور بهبود شاخص‌های پروفیل ولتاژ، پایداری ولتاژ، تلفات توان حقیقی به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌است.

## مراجع


[1] J.B. Bunch, R.D. Miller, *Distribution System Integrated Voltage and Reactive Power Control*, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol .pass ,101, pp. 284-289. 1984.

[2] M.A. Kashem, *A Novel Method for loss reduction in distribution network*, IEEE Trans on power Delivery, April 2000

[3] C.Civanlar, J.J.Grainger, H.Yin, S.S.H.Lee, *Distribution feeder reconfiguration for loss reduction*, IEEE Trans on power Delivery, vol. 3, no.3, pp.1217- 1223, 2001.

[4] A.Merlin and G.Back, *Search for minimum-loss operational spanning tree configuration for an urban power distribution system*, in Proc. Fifth power system conf (PSCC), cambridge, U.K, pp. 1-18, 1975.

[5] D.Shirmohammadi and H.W.Hong, *Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction*, IEEE Trans on power Delivery, vol .4, no .2, pp. 1492-1498, 1989.

[6] T.E. McDermott, I. Drezga, R.P. Broadwater, A *Heuristic Nonlinear Constructive Method for Distribution System Reconfiguration*, IEEE Trans on Power System, Vol. 14, No. 2, 2000

[7] L. Oloveria, S. Carneiro and others, *Optimal reconfiguration and capacitor allocation in radial distribution systems for energy losses minimization*, Electric Power and Energy Sys, Vol. 32, pp. 840- 848, 2010.

[15] *using a fuzzy mutated genetic algorithm*, IEEE Trans on power Delivery, 20, no. 2: 1211-1213,2005.


## زیرنویس‌ها

به منظور تعیین مطلوب باز و بسته بودن کلیدها، از الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی سه شبکه توزیع شعاعی ۳۳، ۶۹ و ۱۱۸شینه استاندارد IEEE پیاده سازی گردید. نتایج نشان دهنده سودمندی روش پیشنهادی برای مسئله بازآرایی بر روی سیستم های توزیع شعاعی گسترده می‌باشد.


[8] H. Braz, B. Souza, *Distribution Network Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Sequential Encoding: Subtractive and Additive Approaches*, IEEE Trans on Power System, Vol. 26, No. 2, pp. 582-593, 2011.

[9] W. Wu, M. Tsai, *Application of Enhanced Integer Coded Particle Swarm Optimization for Distribution System Feeder Reconfiguration*, IEEE Trans on Power System, Vol. 26, No. 3, pp. 1591-1599, 2011

[10] Ching. Tzong Sua, Chung. Fu Changb, Ji Pyng Chiou, *Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm*, Electric Power Systems Research, Vol.75, pp. 190–199, 2005.

[11] Thanh Nguyen, Anh Viet Truong, *Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm*, Electrical Power and Energy Systems, Vol.68, pp. 233–242, 2015.

[12] E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, *Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 4661–4667, 2007.

[13] Zhang, Peng, Wenyuan Li, Shouxiang Wang, *Reliability oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 34, no. 1: 138-144, 2012.

[14] Prasad, K, R. Ranjan, N. C. Sahoo, A. Chaturvedi, *Optimal reconfiguration of radial distribution systems*


[1] C. Civanlar
[2] A. Merlin and G. Back
[3] D. Shirmohammadi and H. W. Hong
[4] T.E. McDermott
[5] Discrete Ascent Optimal Programming
[6] Enhanced Integer Coded Particle Swarm Optimization

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

# Distribution Networks Reconfiguration to Reduce Loss and Improve Voltage by using Imperialist Competition Algorithm

Javad Mehrjooyan[1], Rahman Ansari[2]

[1]PhD Student, Khuzestan Power Distribution Company, Ahwaz, Iran,
mehrjoojavad20@gmail.com

[2] PhD Candidate, Khuzestan Regional Electricity Company, Ahvaz, Iran,
ansari_1379@yahoo.com

**Abstract:** The distribution system establishes the relationship between the transmission system and the consumer and it is the closest part of the power system to the consumer. Due to increasing demand for electricity, environmental constraints and competition in the energy supply market, transmission and distribution systems often operate under heavy load conditions. Severe voltage drops, multiple blackouts and high losses are major problems in distribution networks. Reconfiguration is the simplest and least costly way to meet the above goals relatively. In this study, the Reconfiguration of distribution networks is presented as an optimization problem. An objective function including active power loss indices and voltage profiles is introduced. Various scenarios have been introduced to examine this approach. To solve this problem, the Imperialist Competition Optimization (ICA) algorithm is used in Matlab software environment. Simulation results on IEEE standard radial distribution systems 33, 69 and 118 show that optimizing the opening and closing position of the switches will greatly improve the performance of the distribution system.

**Keywords:** Distribution Network Reconfiguration; Imperialist Competition Algorithm (ICA); Voltage Stability; Power Loss

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.6.5 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]