

## تجدید آرایش شبکه‌های توزیع با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم PSO اصلاح شده

علی کیانی پور<sup>۱</sup>، حمدی عبدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی کرمانشاه ، alikianipour@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی کرمانشاه ، hamdiabdi@gmail.com

چکیده - شبکه‌های توزیع به عنوان مهم‌ترین و هزینه‌برترین بخش سیستم‌های قدرت الکتریکی وظیفه برق‌رسانی به مشترکین را برعهده دارند. افت شدید ولتاژ، خاموشی‌های متعدد، عدم تعادل بار و تلفات بالا از جمله مهم‌ترین مشکلات شبکه‌های توزیع می‌باشند. تجدید آرایش و پیکربندی، ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روشی است که بدون افزودن تجهیزاتی به شبکه، اهداف فوق را بطور نسبی تامین می‌کند. بازآرایی در شبکه‌های توزیع با تغییر در وضعیت کلیدهای موجود در شبکه امکان‌پذیر است که این مسئله به دلیل وجود حالات متنوع و قیود مختلف از مسائل پیچیده بهینه‌سازی محسوب می‌گردد. در این مقاله با اعمال تغییراتی در الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات PSO به منظور تسریع در همگرایی، برای حل مسئله تجدید آرایش شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده شده است. در پایان الگوریتم پیشنهادی به شبکه نمونه ۲۳ شینه IEEE با هدف کاهش تلفات شبکه، اعمال شده است. مقایسه نتایج حاصله با سایر روش‌ها، مؤثر بودن روش کلید واژه- الگوریتم PSO، بهبود پروفیل ولتاژ، تجدید آرایش، شبکه شعاعی، کاهش تلفات

تجدید آرایش به معنی بستن یک یا تعدادی از کلیدهای در حالت عادی باز و بازکردن همان تعداد کلید در شبکه است و در واقع تغییر آرایش، تغییر مسیر تغذیه‌ی بارهاست. از جمله امتیازات بکارگیری تجدید آرایش شبکه توزیع، می‌توان به امکان تغذیه بارهای بزرگتر توسط شبکه‌ی موجود بدون نیاز به تقویت خطوط ارتباطی و یا ساخت پست‌های جدید، کاهش تلفات انرژی الکتریکی در شبکه‌ی توزیع به میزان قابل توجه، حفظ پروفیل ولتاژ در حدود مجاز و حفاظت خطوط از اضافه بار توسط توزیع متعادل بار و انجام سرویس‌های دوره‌ای در شبکه و تجهیزات آن بدون نیاز به قطع مکرر اشاره کرد. البته تجدید آرایش مشکلاتی دارد که می‌توان به تاسیس شبکه‌ی مخابراتی، مستهلک شدن کلیدها و مسائل تنظیم و هماهنگی رله‌ها اشاره داشت. جدول (۱)، نسبت‌های سود به هزینه را با توجه به مطالعات انجام گرفته هنگام اعمال روش‌های مختلف کاهش تلفات به سیستم توزیع، نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است تجدید آرایش و مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع، دارای بالاترین نسبت سود به هزینه می‌باشند [۲].

### ۱- مقدمه

سیستم توزیع ارتباط بین سیستم انتقال و مصرف‌کنندگان نهایی را برقرار می‌سازد و نزدیک‌ترین بخش سیستم قدرت به مصرف کننده می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد حدود ۱۳ درصد از توان و انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها در مسیر تولید تا مصرف به هدر می‌رود که تلفات سیستم توزیع حدود ۷۵ درصد از کل این تلفات را شامل می‌شود [۱]. از مهم‌ترین دلایل تلفات در شبکه‌های توزیع می‌توان به پایین بودن سطح ولتاژ، زیاد بودن اندازه جریان، ساختار شعاعی شبکه، عدم بالانس جریان فیدرها، آلودگی هارمونیک، فرسودگی تجهیزات سیستم و انشعابات غیر مجاز اشاره نمود [۲]. روش‌های مختلفی جهت کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع وجود دارد که خازن‌گذاری، مدیریت مصرف جهت پیک‌سای، نوسازی شبکه، تغییر سطح ولتاژ، مدیریت بار ترانسفورماتورها و بازآرایی شبکه از جمله مهم‌ترین روش‌ها می‌باشند. در این میان بازآرایی ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش جهت کاهش تلفات بدون افزودن تجهیزاتی به شبکه می‌باشد.

جدول (۱): نسبت‌های سود به هزینه روش‌های مختلف کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع

روش کاهش تلفات	نسبت سود به هزینه
نصب خازن	۲ تا ۸
نوسازی	۰/۶ تا ۸
اصلاح ولتاژ	۱/۵ تا ۳
مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع	۱ تا ۱۲
تجدید آرایش	حدود ۱۳

فضای جستجو افزایش می‌دهند. البته محدود نمودن فضای جستجو ممکن است باعث عدم دستیابی به مناسب‌ترین پاسخ گردد. قدرت این الگوریتم‌ها شامل سرعت بالا در رسیدن به جواب با تکرار کمتر و دستیابی به پاسخ بهینه کلی مسئله می‌باشد.

نخستین بار مسئله بازآرایی توسط Back و Merlin در سال ۱۹۷۵ جهت کاهش تلفات توان اکتیو با یک روش ابتکاری انجام شد [۵]. به تدریج، تکنیک‌های متنوعی بر مبنای بهینه‌سازی کلاسیک و الگوی پخش بار بهینه و سایر روش‌های ابتکاری جهت بازآرایی شبکه توزیع ارائه شد [۴-۸]. علاوه بر تکنیک‌های ابتکاری، الگوریتم‌های هوشمند نیز جهت یافتن آرایش بهینه مورد استفاده قرار گرفتند که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان و الگوریتم اجتماع ذرات و شبکه عصبی اشاره کرد. از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعه Nara و همکاران اشاره کرد که جهت بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و نتایج آن را با روش آبکاری فلزات مقایسه کردند [۹]. در کل این روش‌ها بهبود پیدا کرده و روند ابداع این روش‌ها تا به حال ادامه دارد و سعی بر آن است که با روش‌های مختلف بازآرایی شبکه موجود را با توابع هدف مختلف ارتقا دهند. Duan و همکاران در سال ۲۰۱۵ مسئله بازآرایی را جهت کاهش تلفات شبکه و افزایش قابلیت اطمینان به طور همزمان با کمک الگوریتم ارتقایافته ژنتیک ارائه دادند که در آن عملگرهای تقاطع و جهش در الگوریتم اصلاح شده بودند [۱۰]. از آخرین پژوهش‌هایی که در زمینه تجدید آرایش شبکه توزیع صورت گرفته است، می‌توان به مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۵ توسط Nguyen و همکاران با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته انجام گرفت، اشاره کرد. این روش به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با الهام گرفتن از زندگی گونه‌ای از پرندگان، به بازآرایی شبکه توزیع می‌پردازد و یک روش موثر و کارآمد در این زمینه به حساب می‌آید [۱۱]. اگر چه روش‌های تجدید آرایش فیدرهای توزیع دارای تاریخچه طولانی می‌باشند، اما هنوز هم این تکنیک به عنوان یکی از روش‌های مهم کاهش تلفات و متعادل کردن بارها مورد استفاده و مطالعه قرار می‌گیرد [۲].

در شبکه‌های توزیع برای برقرسانی مستمر و قابل اطمینان به مصرف‌کننده‌ها به هنگام قطع شدن قسمتی از شبکه و همچنین تغییر فیدر تغذیه‌کننده به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ، انشعابات حلقوی در شبکه در نظر گرفته می‌شود اما در هنگام برقرسانی و بهره‌برداری می‌بایست آرایش شبکه به صورت شعاعی و فاقد حلقه در آید. در فیدرهای شبکه توزیع انرژی، دو نوع کلید وجود دارد که یکی در شرایط کار عادی بسته و دیگری در شرایط کار عادی باز می‌باشد. وضعیت باز یا بسته بودن این کلیدها به وسیله بازآرایی شبکه توزیع، جهت دستیابی به یک آرایش جدید به منظور برآورده شدن هدف‌های مورد نظر مشخص می‌شود. تجدید آرایش (بازآرایی) شبکه ممکن است با اهداف متفاوتی انجام شود. در شرایط بهره‌برداری عادی از شبکه، تجدید آرایش به منظور کاهش تلفات شبکه، ایجاد تعادل بارگذاری روی فیدرها، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود کیفیت توان انجام می‌گیرد. در شرایطی که خطای دائم ایجاد شده است، تجدید آرایش شبکه برای برگرداندن سرویس دهی مشترکان و به حداقل رساندن نواحی بدون برق بکار می‌رود [۳].

مسئله بازآرایی به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی غیرخطی با قیود چندگانه شناخته می‌شود. در ابتدا بازآرایی با استفاده از روش‌های کلاسیک و تجربی صورت می‌گرفت، این روش‌ها به طور معمول از مفهوم گرادیان یا مشتق تابع هدف در فرآیند بهینه‌سازی استفاده می‌کنند و کلیه حالات با قوانین خاصی بررسی می‌شوند و دارای سرعت پایین‌تری هستند اما امکان حصول به جواب بهینه در آن‌ها بسیار زیاد می‌باشد [۳، ۴]. در ادامه روش‌های هوشمند مورد توجه قرار گرفت. روش‌های هوشمند که عموماً بر اساس قوانین و پدیده‌های موجود در طبیعت ارائه شده‌اند، سرعت اجرای بازآرایی را با محدود نمودن

در گذشته (ibest) و یک حافظه به ذخیره بهترین موقعیت پیش آمده در میان همه ذرات (gbest)، اختصاص می‌یابد. با تجربه حاصل از این حافظه‌ها، ذرات تصمیم می‌گیرند که در مرحله بعدی، چگونه حرکت کنند. بنابراین در هر بار تکرار، همه ذرات در فضای  $n$  بعدی مسئله حرکت می‌کنند تا بالاخره نقطه بهینه سراسری پیدا شود. بر این اساس، پس از یافتن بهترین مقادیر، نحوه اصلاح سرعت ذره نام را می‌توان بصورت رابطه (۱) نوشت:

$$V^i[t+1] = W V^i[t] + c_1 r_1 (x^{ibest}[t] - x^i[t]) + c_2 r_2 (x^{gbest}[t] - x^i[t]) \quad (1)$$

سمت راست معادله (۱) از سه قسمت تشکیل شده است که قسمت اول، سرعت فعلی ذره است و قسمت‌های دوم و سوم تغییر سرعت ذره و چرخش آن به سمت بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروه را به عهده دارند.  $W$  پارامتر اینرسی است که مقدار آن تعیین کننده تمایل هر ذره در حرکت در امتداد بردار سرعت فعلی خود می‌باشد.  $c_1$  و  $c_2$  به ترتیب پارامتر ادراکی و پارامتر اجتماعی نامیده می‌شوند و مفهومی مشابه  $W$  دارند و بیانگر تمایل ذره در حرکت به سمت بهترین جواب قبلی خود و جواب بهینه سراسری تا تکرار  $k$  ام می‌باشند.  $r_1$  و  $r_2$  نیز اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه  $[0, 1]$  می‌باشند.

در این مقاله به منظور تسریع در فرآیند همگرایی تابع هدف و کاهش تعداد مراحل تکرار، با کمک مطالعه Kennedy و Clerk به اصلاح ضرایب در الگوریتم PSO پرداخته و این امر علاوه بر افزایش سرعت همگرایی الگوریتم، مانع از به دام افتادن آن در بهینه‌های محلی نیز شده است. طبق این روش با معرفی  $\Phi_1$  و  $\Phi_2$  و بکارگیری آن‌ها طبق روابط (۲)، (۳)، (۴)، ضرایب و روابط موجود در الگوریتم PSO اصلاح می‌شوند.

$$W = \mathcal{E} \quad (2)$$

$$C_1 = \mathcal{E} \Phi_1 \quad (3)$$

$$C_2 = \mathcal{E} \Phi_2 \quad (4)$$

در این روابط  $\Phi_1$  و  $\Phi_2$  اعداد مثبتی هستند که مجموع آن‌ها بایستی بزرگتر از عدد ۴ باشد. مجموع  $\Phi_1$  و  $\Phi_2$  در  $\Phi$  قرار گرفته و با استفاده از رابطه (۵)، مقدار  $\mathcal{E}$  محاسبه شده و ضرایب اصلاحی طبق روابط بالا جایگزین ضرایب  $W$ ،  $C_1$  و  $C_2$  می‌شوند [۱۲].

$$\mathcal{E} = \frac{2}{\Phi - 2 + \sqrt{\Phi^2 - 4\Phi}} \quad (5)$$

در ایران نیز شبکه توزیع دارای ساختار شعاعی و قدیمی با خطوط مانور است. عدم مکانیزسیون، عدم استفاده از نیروهای مختص، مشکلات اقتصادی، توسعه بی‌رویه شهرها شبکه توزیع ایران را نسبت به بقیه کشورها عقب مانده‌تر کرده است خوشبختانه در چند سال اخیر فعالیت‌های مؤثری در زمینه شبکه‌های توزیع انجام شده است و این مسئله مورد توجه جدی مراکز تحقیقاتی به دلیل نقش آن در کاهش تلفات انرژی الکتریکی قرار گرفته است.

در این مقاله از الگوریتم PSO که ضرایب و روابط بکار رفته در آن با استفاده از [۱۲] جهت تسریع در فرآیند همگرایی و کم شدن تعداد مراحل تکرار در الگوریتم اصلاح شده‌اند، برای اولین بار در حل مسئله تجدید آرایش به منظور کاهش تلفات، بهره گرفته شده است. مهم‌ترین ویژگی روش ارائه شده، فرار از بهینه‌های محلی و حرکت به سمت پاسخ بهینه مطلق با سرعت همگرایی بیشتر می‌باشد. به عنوان مهم‌ترین نتیجه اعمال الگوریتم فوق می‌توان به کاهش تلفات الکتریکی در مقایسه با سایر روش‌ها اشاره نمود.

در ادامه به چگونگی استفاده از این الگوریتم در مسئله بازآرایی اشاره شده است و در نهایت با اعمال این الگوریتم بر شبکه نمونه، استاندارد ۳۳ شینه IEEE نتایج استخراج و مورد بررسی قرار می‌گیرد و با مقایسه نتایج این روش با سایر روش‌ها، سرعت، قدرت و همگرایی الگوریتم اصلاح شده تایید می‌گردد.

## ۲- بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم PSO اصلاح شده

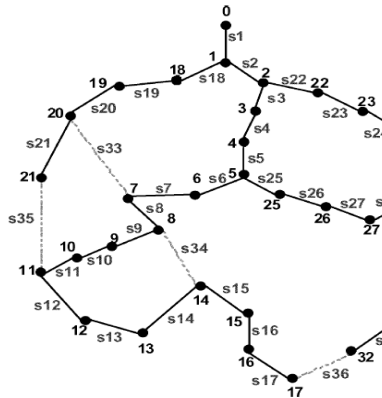
بهینه‌سازی به فرآیند حداکثر یا حداقل نمودن یک مسئله ریاضی با لحاظ محدودیت‌های مختلف بر آن اطلاق می‌گردد. الگوریتم PSO نیز مانند سایر الگوریتم‌های فراابتکاری، الهام گرفته از طبیعت و بر اساس فرآیندی تکراری می‌باشد. در الگوریتم PSO، هر عنصر جمعیت، یک ذره نامیده می‌شود و گروهی از ذرات PSO در آغاز کار بصورت تصادفی به وجود می‌آیند. برای هر ذره، دو مقدار وضعیت و سرعت تعریف می‌شود که به ترتیب با یک بردار مکان و یک بردار سرعت، مشخص می‌شوند. این الگوریتم، با تعدیل و اصلاح مسیر حرکت تک تک ذرات یک مجموعه، متناسب با بهبود تابع هدف، به جستجوی جواب بهینه می‌پردازد. در این الگوریتم، یک حافظه به ذخیره بهترین موقعیت هر ذره

$$B = N - N_f \quad (10)$$

$R_b$  مقاومت شاخه  $b$ ،  $i_b$  جریان مختلط شاخه  $b$ ،  $i$  جریان شاخه  $b$ ،  $V_{min}$  حداقل ولتاژ  $i_{max}$  حداکثر جریان شاخه ها،  $V_j$  ولتاژ گره،  $V_{max}$  حداکثر ولتاژ گره،  $B$  تعداد شاخه شبکه شعاعی،  $N$  تعداد گره و  $N_f$  تعداد منبع می باشند. رابطه (۷) نشان دهنده تابع هدف پیشنهادی است که هدف آن کاهش کل تلفات اکتیو در شبکه های توزیع است. سایر روابط (۸)، (۹)، (۱۰) به ترتیب بیانگر حداکثر ظرفیت مجاز پست ها، محدودیت اندازه ولتاژ و محدودیت شعاعی بودن شبکه می باشد. پس از انجام پخش بار در آرایش پیشنهادی و بدست آوردن مقادیر ولتاژ شین ها و جریان خطوط، محدودیت های الکتریکی مسئله مورد بررسی قرار می گیرد. اگر آرایش پیشنهادی در محدودیت های الکتریکی مانند حدود مجاز جریان خطوط، افت ولتاژ مجاز در خطوط و شین ها صدق کند، آن آرایش شرایط انتخاب اولیه را به عنوان یک کاندیدا دارد و بعد از آن وارد مراحل دیگر الگوریتم پیشنهادی می شود.

#### ۵- شبکه ی توزیع مورد مطالعه

در این مقاله شبکه توزیع استاندارد ۳۳ شینه IEEE [۴]، در ولتاژ  $kv$  ۱۲/۶۶، توان  $MVA$  ۱۰۰ و جریان  $A$  ۲۰۰ جهت هر فیدر، مورد مطالعه قرار گرفته شده است شکل (۱).



شکل (۱): شبکه توزیع استاندارد ۳۳ شینه IEEE

شکل (۱) یک شبکه ی توزیع ۳۳ شینه را نشان می دهد که بار به صورت متمرکز در هر گره و به صورت توان ثابت مدل شده است. قبل از تجدید آرایش با باز بودن کلیدهای ۳۷، ۳۶، ۳۵، ۳۴، ۳۳ شبکه دارای تلفات  $KW$  ۲۰۸/۴۵ و کم ترین ولتاژ با مقدار  $pu$  ۰/۹۱ در شین ۱۸ به ثبت رسیده است.

به وسیله این تغییر صورت گرفته در الگوریتم ارائه شده، بهبود نتایج بدست آمده کاملاً مشهود می باشد. با محاسبه بردار سرعت جدید بر اساس روابط فوق، مکان جدید ذره  $i$ ام در تکرار بعدی به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$x^i[t+1] = x^i[t] + V^i[t+1] \quad (6)$$

در واقع الگوریتم PSO، بردار سرعت هر ذره را با استفاده از رابطه (۱) به روز رسانی کرده و سپس با استفاده از رابطه (۶)، مقدار سرعت جدید را به موقعیت جاری ذره می افزاید تا موقعیت بعدی آن مشخص شود. ویژگی اصلی الگوریتم PSO توانایی فرار از بهینه های محلی و حرکت به سمت پاسخ بهینه مطلق در کمترین زمان ممکن است.

#### ۳- روش های مختلف پخش بار در شبکه های توزیع

جهت بررسی محدودیت های الکتریکی در ساختارهایی از شبکه که در مراحل قبلی الگوریتم پیشنهادی بدست آمده اند، نیاز به انجام پخش بار می باشد. روش های مختلفی برای پخش بار شبکه های توزیع ارائه شده است. هر یک از این روش ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. این روش ها را می توان به سه دسته کلی نیوتن رافسون، روش های پسر و پیشرو و روش های مستقیم تقسیم کرد؛ بهترین راهکار جهت همگرایی سریع تر و تعداد تکرار کمتر در مرحله پخش بار شبکه توزیع ترکیب دو روش نیوتن رافسون و پیش رو/ پسر و استفاده از آن ها بطور همزمان می باشد، که در این مقاله از این روش استفاده شده است.

#### ۴- بیان مسئله بصورت ریاضی

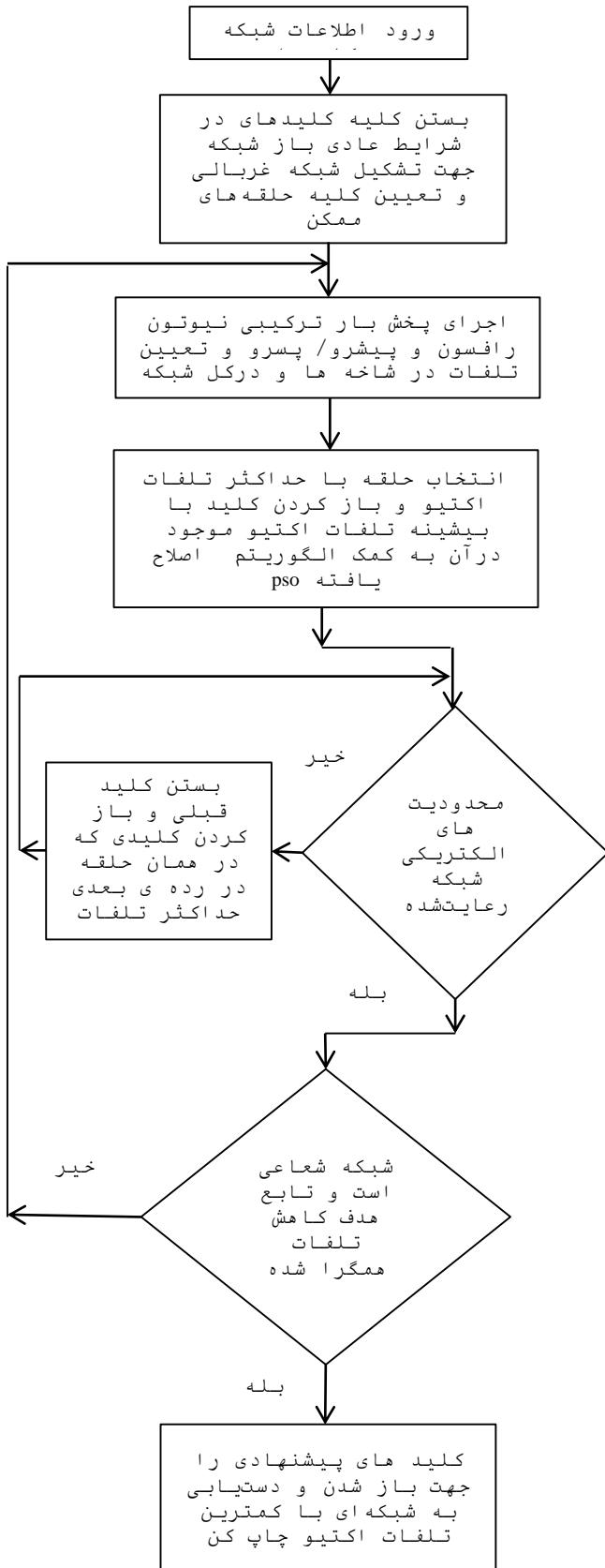
در روش پیشنهادی تابع هدف شامل تلفات می باشد، که در اصل مساوی با مجموع تلفات خطوط است و هدف کمینه سازی این تلفات می باشد؛ ضمن این که باید در حین انجام این فرآیند، قید شعاعی بودن شبکه، عدم قطع بارها و قیود ولتاژ و جریان را هم مدنظر قرار داد. روابط در روش پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

$$\text{Minimize } \sum_{b=1}^{N_f} R_b \cdot i_b^2 \quad (7)$$

$$i \leq i_{max} \quad (8)$$

$$V_{min} \leq V_j \leq V_{max} \quad (9)$$

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



## ۶- روش اجرای الگوریتم و اعمال آن به شبکه

این مقاله یک روش پیشنهادی جدید را جهت تجدید آرایش سیستم توزیع به کمک الگوریتم PSO اصلاح شده، ارائه داده است. شماره شاخه ها و وضعیت باز و بسته بودن آن ها، ذرات را در فضای جستجوی الگوریتم PSO تشکیل می دهند در این روش ابتدا تمامی شاخه ها در حالت اولیه به صورت بسته در نظر گرفته شده اند بدین صورت حلقه هایی به تعداد کلیدهای باز در شبکه ایجاد می گردد سپس با انجام پخش بار، حلقه ای که بیشترین تلفات را دارا می باشد انتخاب و در آن حلقه، شاخه ای که بیشترین تلفات را دارا می باشد انتخاب گردیده و باز می شود مجدداً پخش بار بر روی شبکه اعمال شده و در صورت رعایت شدن محدودیت های الکتریکی این روند تا باز شدن آخرین کلید از آخرین حلقه موجود ادامه می یابد تا به بهترین آرایش منجر شود و شبکه شعاعی مطلوب حاصل گردد. لازم به ذکر است که در برنامه اصلی زیر برنامه ای جهت بررسی شعاعی ماندن شبکه توزیع به کمک ماتریس مجاورت شبکه ارائه شده که در طول فرآیند تجدید آرایش بر این امر نظارت می کند.

روش پیشنهادی با توجه به داده ها و اطلاعات ساختار اولیه شبکه نمونه و تخصیص پارامترهای اولیه مناسب برای الگوریتم PSO، وارد حلقه ای اصلی الگوریتم می گردد. در حلقه اصلی بر مبنای تابع هدف که حداقل تلفات توان اکتیو می باشد. پس از بدست آوردن جواب ها بهترین سرعت و موقعیت هر کدام از ذره ها در فضای جستجو را در راستای رسیدن به پاسخ بهینه برای تابع هدف بروز می کند. در نهایت با توجه به تابع هدف و رعایت محدودیت های موجود در برنامه کلیدهای پیشنهادی جهت باز کردن حلقه ها توسط الگوریتم ارائه داده می شود. این کلیدها پس از باز شدن علاوه بر شعاعی کردن شبکه کمترین مقدار تلفات اکتیو را در شبکه ایجاد می کنند. تغییراتی که در الگوریتم PSO صورت گرفته منجر به همگرایی سریع تر آن شده است.

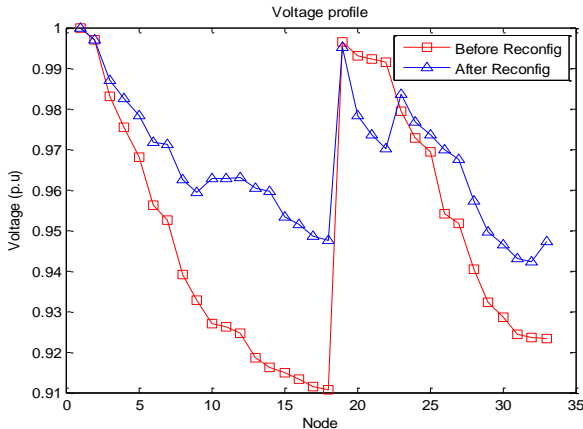
شکل (۲) فلوچارت الگوریتم ارائه شده جهت بازآرایی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم اصلاح یافته PSO را نشان داده است.

شکل (۲): فلوچارت الگوریتم ارائه شده جهت بازآرایی شبکه توزیع

جدول (۲): نتایج اجرای الگوریتم ارائه شده روی شبکه نمونه ۳۳ شینه

نتایج شبیه سازی شبکه توزیع ۳۳ شینه		
حالت شبکه	قبل از تجدید آرایش	بعد از تجدید آرایش
کلید های باز	۳۳ ۳۴ ۳۵ ۳۶ ۳۷	۷ ۹ ۱۴ ۳۲ ۳۷
تلفات توان اکتیو	۲۰۸/۴۵۹۲ kW	۱۳۸/۹۲۷۵ kW
درصد کاهش تلفات توان اکتیو	-	۳۳/۳۵ %
حداقل ولتاژ	۰/۹۱۰۷ pu	۰/۹۴۲۳ pu
زمان سپری شده در طول شبیه سازی	۲۱/۸۶ sec	

شکل (۳) وضعیت پروفیل ولتاژ قبل و بعد از فرآیند بازآرایی را (با انتخاب ۵ خط جدید ۷، ۹، ۱۴، ۳۲، ۳۷ که بوسیله برنامه جهت باز شدن به جای خطوط اولیه پیشنهاد شده است) به ترتیب با نمودارهای قرمز و آبی رنگ نشان داده است، بهبود پروفیل ولتاژ کاملاً در شکل مشهود است.



شکل (۳): پروفیل ولتاژ شین ها قبل و پس از بازآرایی شبکه ۳۳ شینه

همانگونه که جدول (۳) نشان می دهد در شبکه ۳۳ شینه بازه ولتاژ شین ها هم بعد از تجدید آرایش بهبود یافته است به گونه ای که حداقل ولتاژ در آرایش اولیه شبکه در اختیار شین شماره ۱۸ به میزان ۰/۹۱۰۷ پریونیت بوده و بعد از تجدید آرایش در این شبکه، در شین شماره ۳۲ به میزان ۰/۹۴۲۳ پریونیت می باشد، که خود نشان دهنده افزایش سطح ولتاژ در شین هاست.

به منظور اجرای الگوریتم فوق بر روی شبکه ی مورد مطالعه در ابتدا می بایست کلیه ی کلیدهای شبکه بسته شوند. شکل (۱) دارای ۳۳ شینه و ۳۷ شاخه و کلید (۵ کلید باز و ۳۲ کلید بسته) می باشد با بسته شدن همه ی کلیدها در این شبکه ۵ حلقه ایجاد می گردد. از آنجایی که در شرایط بهره برداری می بایست هیچ حلقه ای در شبکه موجود نباشد لازم است به تعداد حلقه ها، کلیدهایی با برآورده کردن قیود مسئله به حالت باز تغییر وضعیت دهند. بهترین پاسخ توسط الگوریتم PSO ارائه شده تشخیص و مراحل پخش بار بر روی شبکه جدید انجام می گیرد.

#### ۷- نتایج مطالعات شبیه سازی

جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی در شبکه های توزیع، روش ذکر شده در شبکه های زیادی آزمایش گردید، که همه نتایج به دست آمده رضایت بخش بود. در این مقاله نتایج شبیه سازی برای شبکه توزیع ۳۳ شینه مشروحه در [۴] در جهت یافتن آرایش بهینه شبکه، جهت کاهش تلفات ارائه شده است. لازم به ذکر است کلیه محاسبات پخش بار و برنامه الگوریتم پیشنهادی، جهت اجرا در دو شبکه با استفاده از نرم افزار تهیه شده در محیط Matlab صورت پذیرفته است.

محاسبات پخش بار در این برنامه از ترکیب همزمان دو روش نیوتون رافسون و پیشرو/پسرو صورت گرفته است و در این شبکه پس از ۵ تکرار همگرا گردید. در شبکه ۳۳ شینه IEEE تلفات اکتیو حاصل از آرایش اولیه برابر  $208/4592^{KW}$  می باشد و محاسبه پخش بار در آرایش اولیه، شین شماره ۱۸ را با مقدار  $0/9107^{Pu}$  به عنوان شین با کمترین ولتاژ در بین شین های شبکه معرفی می کند. در آرایش اولیه شبکه خطوط ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷ بعنوان خطوط باز شبکه در نظر گرفته شده اند. با اجرای الگوریتم پیشنهادی جهت بازآرایی، برنامه بعد از ۲۱/۸۶ ثانیه همگرا شده و نتایج بدست آمده در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به جدول (۲) درمی یابیم که تلفات اکتیو کل شبکه در حدود ۳۳/۳۵٪ کاهش یافته است و به مقدار  $138/9275^{KW}$  کاهش یافته که بسیار مطلوب می باشد.

جدول (۳): مقایسه کمترین و بیشترین ولتاژ در شین ها قبل و پس از بازآرایی شبکه ۳۳ شینه

حداکثر ولتاژ pu		حداقل ولتاژ pu		نوع پیکربندی
شماره شین	اندازه	شماره شین	اندازه	
۱	۱/۰۰	۱۸	۰/۹۱۰۷	آرایش اولیه
۱	۱/۰۰	۳۲	۰/۹۴۲۳	پس از تجدید آرایش

### ۸- نتیجه گیری

در این مقاله با توجه به اهمیت شبکه های توزیع در سیستم قدرت به بیان بازآرایی شبکه توزیع جهت کاهش تلفات، پرداخته شده است. همچنین از الگوریتم PSO که ضرایب و روابط آن طبق [۱۲] اصلاح شده، برای اولین بار جهت تجدید آرایش شبکه استفاده شده است. به منظور بررسی محدودیت های الکتریکی شبکه و تعیین مقدار تلفات در شاخه ها و در کل شبکه پخش بار ترکیبی نیوتون رافسون و پیشرو/پسرو بطور همزمان بکار برده شده است. در این مقاله با در نظر گرفتن تلفات اکتیو شبکه به عنوان تابع هدف و با اعمال الگوریتم پیشنهادی به شبکه ی مورد مطالعه استاندارد IEEE نتایج بدست آمده حاکی از کاهش ۳۳/۳۵٪ تلفات اکتیو در شبکه ۳۳ شینه بوده است علاوه بر کاهش تلفات، تجدید آرایش اعمالی به شبکه های مورد مطالعه سبب بهبود پروفیل ولتاژ در آن ها نیز گردیده است. در نهایت با مقایسه نتایج بدست آمده با سایر روش های بکار رفته در مطالعه های انجام گرفته در گذشته سرعت و دقت همگرایی روش پیشنهادی تایید شده است.

### مراجع

- [۱] علیرضا، حدادی، حسین، ارغوانی، صادق، جمالی و وحید، تلاوت، " بررسی کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با بهره برداری غربالی از شبکه های توزیع فشار ضعیف ۴۰۰ ولت " دهمین کنفرانس شبکه های توزیع، دانشگاه تبریز، اردیبهشت ۱۳۸۴
- [2] R. J. Sarfi, M. M. Salama and A. Y. Chikami, "Practical Aspects of Performing a Distribution System Loss Reduction Study", IEEE CCECE/CCGE' 1995.
- [3] S. Civanlar, j. j. Graninger, H. Yin and S.H. Lee, " Distribution feeder reconfiguration for loss reduction, " IEEE Trans. Power Del, vol. 3,no 3, pp. 1217-1223, jul. 1988 .
- [4] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", IEEE Trans. Power Del. 4(2), 1989, pp. 1401-1407 .
- [5] A. Merlin and G. Back, "Search for minimum-loss operational spanning tree configuration for an urban power distribution system". Proc. Fifth Power System Computation Conf. (PSCC), Cambridge, 1975, pp. 1-18
- [6] D. Shirmohammadi and W. H. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction", IEEE Trans. Power Del. 4 (1), 1989, pp. 1492-1498.
- [7] S.K. Goswami and S.K. Basu, "A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization", IEEE Trans. Power Del., 1992, 7,(3), pp. 1482-1491

نتایج روش پیشنهادی وقتی با روش های گذشته مقایسه شود، نشان می دهد که علاوه بر این که محدودیت های موجود در شبکه همگی رعایت شده اند تلفات به کمترین مقدار خود رسیده است که این امر خود گویا این واقعیت است که روش پیشنهادی یک راه حل نزدیک به بهینه جهانی می باشد که با سرعت و قدرت همگرایی بیشتری نسبت به سایر روش ها بسمت نقطه ی بهینه ی خود حرکت می کند جدول (۴).

جدول (۴): مقایسه روش های مختلف جهت بازآرایی شبکه ۳۳ شینه

شماره مرجع	خطوط باز شده در بهترین جواب	میانگین تلفات بر حسب کیلووات	زمان تقریبی اجرای برنامه بر حسب ثانیه
آرایش اولیه	۳۳ - ۳۴ - ۳۵ - ۳۶ - ۳۷	۲۰۸/۴۵	-
[۱۳]	۳۲-۱۴-۹-۶-۳۷	۱۴۳/۶۹	۲۲/۴
GA [۱۴]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۴۰/۴۰	۶۰
NM [۱۵]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۴۲/۵۷	۹۰
PSO-NM [۱۵]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۳۹/۸۴	۶۵
Adaptive ACO [۱۶]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۴۰/۰۶	۲۲
[۱۷]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۳۹/۵۳	۲۶/۶
[۱۸]	۳۲-۱۴-۹-۷-۳۷	۱۳۹/۵۳	۹۰
روش ارائه شده psو (اصلاح یافته)	۱۴ - ۹ - ۷ - ۳۲ - ۳۷	۱۳۸/۹۲	۲۱/۸۶

- [8] J.A. Martin and A.J. Gil, "A new heuristic approach for distribution systems loss reduction", *Electr. Power Syst. Res.*, 2008, 78, (11), pp. 1953-1958
- [9] K. Nara, A. Shioose, M. Kitagawa, and T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration", *IEEE Trans. Power Syst.* 7, no. 3, pp. 1044-1051, Aug. 1992.
- [10] D. Duan, X. Ling, X. Wu and B. Zhong, "Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on enhanced genetic algorithm", *Electr Power Syst Res* 2015;64:88-95.
- [11] T.T. Nguyen and A.V. Truong, "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm", *IEEE Trans. On Power sys.*, Vol. 20, No. 3, pp. 233-242, 2015.
- [12] M. Clerc and J. Kennedy, "The Particle Swarm - Explosion, stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space", *IEEE Trans. On Power sys.*, Vol. 6, No. 1, pp. 58-73, Feb 2002.
- [13] W. Lin and H. Chin, "A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and service Restoration", *IEEE Trans. On Power Sys.*, Vol. 13, No. 3, July 1998.
- [14] W. Wu and M. Tsai, "Application of Enhanced Integer Coded Particle Swarm Optimization for Distribution System Feeder Reconfiguration", *IEEE Trans. On Power Sys.*, Vol. 26, No. 3, pp. 1591-1599, Aug. 2011.
- [15] T. Niknam, E. Azadfarsani and M. Jabbari, "A new hybrid evolutionary algorithm based on new fuzzy adaptive PSO and NM algorithms for Distribution Feeder Reconfiguration", *Energy Conversion and Management*, Vol. 54, pp. 7-16, 2012.
- [16] A. Swarnkar, N. Gupta and K.R. Niazi, "Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization", *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 129-137, 2011.
- [17] Vanderson Gomes F., S Carneiro, J. L. R. Pereira, M. P. V., P. A. N. Garcia, and L. Ramos Araujo, "A New Heuristic Reconfiguration Algorithm for Large Distribution Systems", *IEEE Trans. On Power sys.*, Vol. 20, No. 3, pp. 1373-1378, 2005.
- [18] Niknam T., J. Olamaie and R. Khorshidi, "A Hybrid Fuzzy Algorithm for Multiobjective Distribution Feeder Reconfiguration", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 4, No. 2, pp.308-315, 2006