



چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

## تاثیر بهینه‌سازی جایابی ریکلوزرها در شبکه شعاعی توزیع

علی ثقفی<sup>۱</sup>، محدثه آقاجان پور<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ناظر انتقال شرکت ارتباطات زیر ساخت استان گیلان

۲- کارشناس اداره مخابرات استان گیلان

A.Saghafi111@gmail.com

### چکیده

پس از تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها و انتقال آن توسط خطوط بلند فشار قوی به محل مصرف کننده مهمترین وظیفه، توزیع این انرژی بین مصرف کننده‌ها به شیوه ای است که رگولاسیون ولتاژ بهینه، قدرت مناسب و قابلیت اطمینان معقول به فراخور هر مصرف کننده در دسترس وی قرار گیرد. برآورده ساختن این هدف نیازمند طراحی یک سیستم توزیع مناسب خواهد بود. سیستم‌های توزیع واسطه بین مصرف کننده و شبکه انتقال از نظر مساحت، گسترده ترین بخش سیستم قدرت است. وظیفه سیستم توزیع، انتقال انرژی الکتریکی از پست‌های فوق توزیع و یا نیروگاه‌های مقیاس کوچک به مشترکین و تغییر سطح ولتاژ بسته به مورد و براساس ضرورت‌ها است. شبکه‌های توزیع به دلیل نزدیکی به مصرف کنندگان از حساسیت خاصی برخوردارند. به طوری که بروز هر گونه اختلال در این شبکه‌ها می‌تواند تغذیه مشترکین را به مخاطره اندازد. سیستم‌های توزیع علی رغم ساختار ساده، بدلیل تنوع و تعداد تجهیزات بکار رفته دارای سهم عمده‌ای از سرمایه گذاری‌های سیستم قدرت است هدف تحقیق حاضر این بود که ضمن بررسی نقش ریکلوزر در افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، از دو الگوریتم جدید نیز برای حل مسئله استفاده شود سپس بعد از انجام مطالعات عددی و بررسی نتایج حاصله و بحث و بررسی بر روی آن‌ها، در نهایت می‌توان گفت ریکلوزر به طور موثری موجب افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع می‌شود. همچنین نشان داده شده که با افزایش تعداد ریکلوزرها، شاخص‌های قابلیت اطمینان به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش تعداد ریکلوزرها، میزان افزایش قابلیت اطمینان نسبت به قبل کمتر می‌شود. مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم COA با نشان داد که این الگوریتم علاوه بر همگرا شدن به جواب بهینه سراسری، در اکثر موارد جواب بهتر و بهینه‌تری برای مسئله پیدا می‌کند. همچنین نشان داده شد که الگوریتم TLBO نسبت به الگوریتم PSO دارای عملکرد بهتر و مزیت نسبی است.

**کلمات کلیدی:** شبکه ی توزیع، ریکلوزر، الگوریتم فاخته، الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

در شبکه‌های توزیع جهت کاهش زمان قطعی‌ها از عنصر ریکلوزر استفاده می‌شود، که این عنصر با حذف خطاهای گذرا، ایزوله کردن خطاها و محدود نمودن مشترکین به این کاهش زمان کمک می‌نماید [۲,۵,۶,۱۳]. اما استفاده‌ی زیاد از این عنصر دو عیب اساسی دارد، اول این که باعث تعدد قطع و وصل شبکه خواهد شد و دوم به دلیل هزینه بالا در خرید و نصب و نگهداری این عنصر، از لحاظ صرفه اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۶].

یافتن بهترین نقطه جهت نصب این عنصر نیازمند الگوهای پیچیده‌ای است که این الگوها فقط توسط الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه می‌شود [۲]. از این رو گام مهم در این رساله استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در جهت رسیدن به یک الگوی مناسب از لحاظ پایداری و اقتصادی است .

از این رو در داخل و خارج از کشور مقالاتی در خصوص جایابی ریکلوزرها و بررسی تاثیر آن بر شبکه توزیع ارائه گردیده است که تفاوت عمده آن‌ها در نوع و تعداد توابع هدف، قیود مساله و نیز الگوریتم‌های محاسباتی است. اما تاکنون تعداد مقالات اندکی در زمینه بهینه‌سازی جایابی ریکلوزرها با الگوریتم‌های فراابتکاری انجام گرفته است. [۱,۳,۴,۸].

الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری و الگوریتم فاخته نیز معرفی می‌شوند. در الگوریتم اول از فرآیند آموزش و یادگیری در یک کلاس درس الهام گرفته و الگوریتم دوم بر اساس پرنده فاخته در جهت تخم‌گذاری و بقای نسل است. هر کدام از این الگوریتم‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. این پایان نامه به شبیه‌سازی جایابی ریکلوزر توسط این دو الگوریتم می‌پردازد. روش‌های ارائه شده پیاده‌سازی و نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. مطالعات به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری و بر روی شبکه‌های آزمون انجام خواهد گرفت. بدین منظور کدهای نرم‌افزاری مورد نیاز به کمک نرم‌افزار MATLAB نوشته شده و مورد استفاده قرار خواهند گرفت [۷,۹].

### ۲- الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری (TLBO) [۱۵]

الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری (TLBO) در سال ۲۰۱۲ توسط راثو و همکاران [۱۲] معرفی شد. این الگوریتم از فرآیند آموزش و یادگیری در یک کلاس درس الهام گرفته شده است. در این الگوریتم جمعیت به عنوان دانش‌آموزان یک کلاس در نظر گرفته شده و بهترین عضو نیز به عنوان مدرس انتخاب می‌شود. مدرس از طریق آموزش دادن به دانش‌آموزان سعی می‌کند تا دانش آن‌ها را افزایش دهد. همچنین دانش‌آموزان نیز از طریق ارتباط با یکدیگر نیز آموزش دیده و سطح دانش خود را افزایش می‌دهند. این الگوریتم دارای دو مرحله بوده که شامل مرحله مدرس و مرحله یادگیرنده می‌باشند.

#### ۲-۱- مرحله مدرس

در این مرحله، مدرس با آموزش و یاد دادن به دانش‌آموزان، اطلاعات و دانش آن‌ها را افزایش می‌دهد. روابط این مرحله به شرح زیر است:

$$X_{new,i} = X_{old,i} + r(X_i^{best} - T_F M_i) \quad (1)$$

$$T_F = \text{round}[1 + r] \quad (2)$$

که در روابط فوق،  $r$  یک عدد تصادفی در بازه  $[0,1]$ ،  $T_F$  ضریب یادگیری بوده و به‌طور تصادفی برابر ۱ یا ۲ خواهد بود،  $X_i^{best}$  بهترین عضو جمعیت در تکرار  $i$  ام بوده که به عنوان مدرس در نظر گرفته می‌شود،  $M_i$  میانگین کلاس در تکرار  $i$  ام،  $X_{old,i}$  عضوی است که نیاز به آموزش دارد و  $X_{new,i}$  نیز عضو آموزش دیده است. در صورتی پذیرفته خواهد شد که بهتر از  $X_{old,i}$  باشد.



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

### ۲-۲- مرحله یادگیرنده

در این مرحله هر دانش‌آموز به‌طور تصادفی با یک دانش‌آموز دیگر تبادل اطلاعات انجام داده و از این طریق دانش خود را افزایش می‌دهد. به ازای عضو  $i$ ام از جمعیت یک عضو به تصادف انتخاب می‌شود (عضو  $j$ ام). سپس در صورتی که  $f(X_i) < f(X_j)$  برای آموزش عضو  $i$ ام از رابطه (۳) و در غیر این صورت از رابطه (۴) استفاده می‌شود. این مرحله برای تمامی اعضای جمعیت انجام می‌گیرد.

$$X_{new,i} = X_{old,i} + r(X_i - X_j) \quad (۳)$$

$$X_{new,i} = X_{old,i} + r(X_j - X_i) \quad (۴)$$

در روابط فوق،  $r$  یک عدد تصادفی در بازه  $[0,1]$ ،  $X_{old,i}$  عضو  $X_{new,i}$  آموزش داشته و  $X_{old,i}$  عضو آموزش دیده است. در صورتی که  $X_{new,i}$  بهتر از  $X_{old,i}$  بود جایگزین  $X_{old,i}$  می‌شود.

### ۳- الگوریتم جستجوی فاخته [۱۰]

جستجوی فاخته یکی از آخرین الگوریتم‌های متاهوریستیک الهام گرفته شده طبیعی است. به این گونه که تخم‌های خود را در آشیانه سایه پرندگان رها می‌سازد.

هدف این الگوریتم در هر مرحله یافتن بهترین آشیانه که همان بهترین راه‌حل است و انتقال این آشیانه به مرحله بعد است به این صورت می‌توان گفت که هر تخم در یک لانه یک راه حل را نمایش می‌دهد و هر فاخته تنها می‌تواند یک تخم بگذارد. هدف استفاده از راه‌حل‌های جدید برای جایگزینی راه‌حل‌های نه چندان خوب در لانه‌ها است [۱۴].

#### ۳-۱- ایجاد محل زندگی اولیه فاخته‌ها

برای حل یک مساله بهینه‌سازی لازم است تا مقادیر متغیرهای مساله به فرم یک آرایه شکل گیرند. در الگوریتم بهینه‌سازی فاخته به این آرایه «محل سکونت» می‌گویند. در یک مساله بهینه‌سازی با  $N_{var}$  بعد، یک محل سکونت یک آرایه  $1 \times N_{var}$  خواهد بود که موقعیت فعلی زندگی فاخته‌ها را نشان می‌دهد. این آرایه به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$Habitat = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_{var}}] \quad (۵)$$

میزان مناسب بودن (یا مقدار سود) در محل سکونت فعلی با ارزیابی تابع سود در محل سکونت به دست می‌آید. پس

$$ObjFun = f(Habitat) = f([x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_{var}}]) \quad (۶)$$

برای شروع الگوریتم بهینه‌سازی یک ماتریس محل سکونت به سایز  $N_{pop} * N_{var}$  تولید می‌شود. سپس برای هر کدام از این محل سکونت‌ها تعدادی تصادفی تخم تخصیص می‌یابد. در طبیعت، هر فاخته بین ۵ تا ۲۰ تخم می‌گذارد. این اعداد به عنوان حد بالا و پایین تخصیص تخم به هر فاخته در تکرارهای مختلف استفاده می‌شود. دیگر عادت هر فاخته حقیقی این است که آن‌ها در یک دامنه مشخص تخم‌های خود را می‌گذارند. از این به بعد حداکثر دامنه تخم‌گذاری، ELR نامیده می‌شود. در یک مساله بهینه‌سازی، حد بالای متغیرها  $Var_{Hi}$  و حد پایین  $Var_{Low}$  می‌باشد، لذا هر فاخته دارای ELR خواهد بود که متناسب است با تعداد کل تخم‌ها، تعداد تخم‌های فعلی فاخته و همچنین حد بالا و پایین متغیرهای مساله. بنابراین ELR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ELR = \alpha \times \frac{Num\ Egg\ Each\ Cuckoo}{Total\ Num\ Egg} \times (Var_{Hi} - Var_{Low}) \quad (۷)$$



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

$\alpha$  متغیری است که حداکثر مقدار ELR با آن تنظیم می‌شود.

### ۳-۲- روش فاخته‌ها برای تخم‌گذاری

هر فاخته به‌طور تصادفی تخم‌هایی را در لانه پرندگان میزبان که در ELR خود قرار دارد می‌گذارد. وقتی تمام فاخته‌ها تخم‌های خود را گذاشتند برخی تخم‌ها که کمتر شبیه تخم‌های پرنده میزبان هستند شناسایی شده و از لانه بیرون انداخته می‌شوند. بنابراین بعد از هر تخم‌گذاری P% از تمام تخم‌ها که تابع سود آن‌ها کمتر است نابود می‌شوند. بقیه جوجه‌ها در لانه‌های میزبان تغذیه شده و رشد می‌کنند [۱۴].

### ۳-۳- مهاجرت فاخته‌ها

پس از تشکیل گروه‌های فاخته در مناطق مختلف زیست کلی (فضای جستجوی مساله)، گروه دارای بهترین موقعیت به عنوان نقطه هدف برای سایر فاخته‌ها جهت مهاجرت انتخاب می‌شود.

وقتی تمام فاخته‌ها به سمت نقطه هدف مهاجرت کردند و نقاط سکونت جدید هر کدام مشخص شد، هر فاخته صاحب تعدادی تخم می‌شود. با توجه به تعداد تخم هر فاخته، دوباره یک مقدار ELR جدید برای آن مشخص می‌شود و سپس تخم‌گذاری شروع می‌گردد.

نحوه حرکت ذرات به سمت نقطه بهینه از روش Levy Flights استفاده می‌کند. اکثر پرندگان و حشرات یک نحوه خاص پرواز و حرکتی دارند که با بررسی مدل رفتار حرکت آن‌ها الگوی حرکتی برای آن به دست آمد که به نام ریاضی دان فرانسوی Levy Flights نام‌گذاری شد. نحوه حرکت فاخته‌ها نیز در این روش با روابط زیر مدل‌سازی شده‌اند.

$$x_i^{t+1} = x_i^t \oplus \alpha \times Lévy(\lambda) \quad (۸)$$

در رابطه فوق  $\alpha$  یک ضریب بزرگتر از یک می‌باشد که اندازه گام حرکت را مشخص می‌کند و معمولاً متناسب با ابعاد مسئله مورد مطالعه و حد بالا و پایین متغیرها مشخص می‌گردد. علامت  $\oplus$  نیز بیان گر عملگر ضرب درایه به درایه ماتریسی می‌باشد. در اصل Levy Flights از یک رابطه احتمالی برای تغییر گام‌ها استفاده می‌کند.

$$Lévy = \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \times (x_j^{(t)} - x_i^t) \quad (۹)$$

که  $u$  و  $v$  از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

$$u \sim N(0, \sigma_u^2), v \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (۱۰)$$

که مقادیر  $\sigma_u$  و  $\sigma_v$  از روابط زیر بدست می‌آیند

$$\sigma_u = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta)\sin(\pi\beta/2)}{\Gamma[(1+\beta)/2]\times\beta 2^{(\beta-1)/2}} \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (۱۱)$$

$$\sigma_v = 1 \quad (۱۲)$$

که عملگر  $\Gamma$  تابع استاندارد توزیع گاما می‌باشد. در گام‌های بلند این رابطه احتمالی به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود. که این رابطه دارای واریانس و مقدار متوسط بی‌نهایت می‌باشد.

$$Lévy \sim u = 1^{-\lambda}, (1 < \lambda \leq 3) \quad (۱۳)$$

### ۳-۴- همگرایی الگوریتم

پس از چند تکرار تمام جمعیت فاخته‌ها به یک نقطه بهینه با حداکثر شباهت تخم‌ها به تخم‌های پرندگان میزبان و همچنین به محل بیشترین منابع غذایی می‌رسند. این محل بیشترین سود کلی را خواهد داشت و در آن کمترین تعداد تخم‌ها از بین



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

خواهند رفت. همگرایی بیش از ۹۵٪ تمام فاخته‌ها به سمت یک نقطه، با تعریف یک شرط به عنوان همگرایی، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را به انتهای خود می‌رساند. گام‌های اصلی الگوریتم فاخته به صورت زیر بیان می‌شود:

- ۱) به محل زندگی فاخته‌ها با چند نقطه تصادفی روی تابع سود مقدار بدهید.
- ۲) به هر فاخته تعدادی تخم اختصاص بدهید.
- ۳) ELR را برای هر فاخته مشخص کنید.
- ۴) به فاخته‌ها اجازه دهید در ELR های مربوط به خود تخم‌گذاری کنند.
- ۵) تخم‌هایی که توسط پرنده‌های میزبان شناسایی می‌شوند را از بین ببرید.
- ۶) اجازه دهید جوجه‌ها به فاخته‌های جدید تبدیل شوند و جمعیت فاخته‌های جدید را به وجود بیاورند.
- ۷) محل زندگی هر فاخته بالغ جدید را ارزیابی کنید.
- ۸) تعداد حداکثر فاخته‌های در محیط را محدود کنید و آن‌هایی که در بدترین محل‌ها زندگی می‌کنند را از بین ببرید.
- ۹) فاخته‌ها را دسته‌بندی کنید و بهترین گروه را بیابید و محل زندگی هدف را برگزینید.
- ۱۰) به جمعیت جدید فاخته‌ها اجازه مهاجرت به محل زندگی هدف را بدهید.

### ۴-اطلاعات شبکه و داده‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی

برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، این روش بر روی شبکه توزیع شعاعی ۳۳ شین اعمال می‌شود. شبکه ۳۳ شین در شکل (۱) نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به این شبکه که در مرجع [۱۱] نیز موجود است در جدول (۱) ارائه شده است. سیستم توزیع ۳۳ شین دارای ۳۲ شاخه بوده و مجموع بارهای اکتیو و راکتیو نصب شده به ترتیب برابر ۳۷۱۵ کیلو وات و ۲۳۰۰ کیلو وار بوده و ولتاژ نامی سیستم برابر ۱۲/۶۶ کیلو ولت است.

### ۵-سناریوهای مورد بررسی

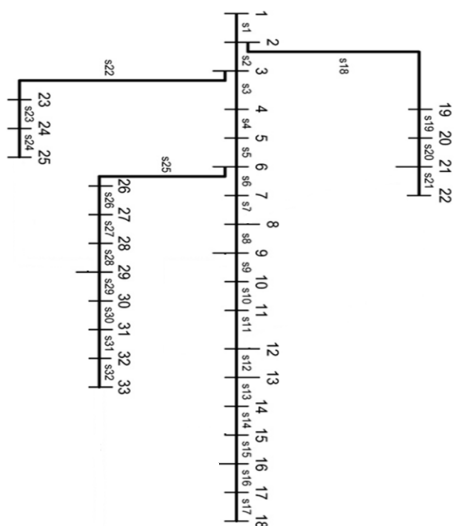
برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، مسئله بازآرایی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO) با هدف کاهش تلفات و کمینه کردن هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه و با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به کلیدزنی و همچنین حرکت خودروهای برقی در شبکه حل می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج سایر مقالات مقایسه شده و نشان داده می‌شود که روش پیشنهادی دارای دقت خوبی و کارآمد بوده و پاسخ بهینه مسئله را بدست می‌آورد. به این منظور دو سناریو به شرح زیر تعریف می‌شود:

#### ۵-۱- سناریوی اول

در این سناریو مسئله مکان‌یابی ریکلوزر با هدف کاهش شاخص متوسط فراوانی قطع برق سیستم (SAIFI) و با استفاده از الگوریتم‌های PSO، TLBO و COA حل می‌شود. بدین منظور فرض می‌شود که از تعداد ۱، ۳ و ۵ عدد ریکلوزر در شبکه نصب خواهد شد و مساله به ازای هر تعداد ریکلوزر، با جمعیت‌های ۱۰ و ۲۰ و تعداد تکرار ۲۰، ۴۰ و ۶۰ حل شده و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.



چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک



شکل شماره (۱): شبکه ۳۳ شین

جدول (۱) اطلاعات شبکه ۳۳ شین [۱۱]

From	To	P [kw]	Q [kVAR]	Failure rate [fyr]
۱	۲	۱۰۰	۶۰	۰/۰۵۰۰
۲	۳	۹۰	۴۰	۰/۳۰۰۰
۳	۴	۱۲۰	۸۰	۰/۲۲۰۰
۴	۵	۶۰	۳۰	۰/۲۳۰۰
۵	۶	۶۰	۲۰	۰/۵۱۰۰
۶	۷	۲۰۰	۱۰۰	۰/۱۱۰۰
۷	۸	۲۰۰	۱۰۰	۰/۴۴۰۰
۸	۹	۶۰	۲۰	۰/۶۴۰۰
۹	۱۰	۶۰	۲۰	۰/۶۵۰۰
۱۰	۱۱	۴۵	۳۰	۰/۱۲۰۰
۱۱	۱۲	۶۰	۳۵	۰/۲۳۰۰
۱۲	۱۳	۶۰	۳۵	۰/۹۱۰۰
۱۳	۱۴	۱۲۰	۸۰	۰/۳۳۰۰
۱۴	۱۵	۶۰	۱۰	۰/۳۶۰۰
۱۵	۱۶	۶۰	۲۰	۰/۴۶۰۰
۱۶	۱۷	۶۰	۲۰	۰/۸۰۰۰
۱۷	۱۸	۹۰	۴۰	۰/۴۵۰۰
۲	۱۹	۹۰	۴۰	۰/۱۰۰۰
۱۹	۲۰	۹۰	۴۰	۰/۹۳۰۰



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

۲۰	۲۱	۹۰	۴۰	۰/۲۵۰۰
۲۱	۲۲	۹۰	۴۰	۰/۴۴۰۰
۳	۲۳	۹۰	۵۰	۰/۲۸۰۰
۲۳	۲۴	۴۲۰	۲۰۰	۰/۵۶۰۰
۲۴	۲۵	۴۲۰	۲۰۰	۰/۵۵۰۰
۶	۲۶	۶۰	۲۵	۰/۱۲۰۰
۲۶	۲۷	۶۰	۲۵	۰/۱۷۰۰
۲۷	۲۸	۶۰	۲۰	۰/۶۶۰۰
۲۸	۲۹	۱۲۰	۷۰	۰/۵۰۰۰
۲۹	۳۰	۲۰۰	۶۰۰	۰/۳۱۰۰
۳۰	۳۱	۱۵۰	۷۰	۰/۶۰۰۰
۳۱	۳۲	۲۱۰	۱۰۰	۰/۱۹۰۰
۳۲	۳۳	۶۰	۴۰	۰/۲۱۰۰

### ۲-۵- سناریوی دوم

این سناریو مشابه سناریوی قبلی بوده با این تفاوت که به جای SAIFI مساله با هدف کاهش شاخص مقدار انرژی تامین نشده سیستم (ENS) حل شده و در نهایت نیز نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

### ۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

#### ۱-۶- سناریوی اول

پس از ۱۰ بار اجرای برنامه به‌طور مستقل، نتایج حاصل از کاهش SAIFI برای شبکه ۳۳ شین و مقایسه آن‌ها با یکدیگر برای تعداد ۱، ۳ و ۵ عدد ریکلوزر به ترتیب در جداول (۲) تا (۴) نشان داده شده‌اند. جدول ۲ نتایج حاصل از کاهش SAIFI با استفاده از یک ریکلوزر را نشان می‌دهد. که بهترین جواب بدست آمده توسط الگوریتم‌های COA، TLBO و PSO هر سه یکسان و برابر با ۸/۳۳ است. همچنین بدترین پاسخ‌ها و میانگین آن‌ها نیز همگی یکسان و برابر با بهترین پاسخ یعنی برابر با ۸/۳۳ می‌باشند. در واقع در این حالت هر سه الگوریتم در تمامی تکرارها و با جمعیت‌های متفاوت، یکسان عمل می‌کنند و مزیتی نسبت به یکدیگر ندارند. دلیل این امر عدم پیچیدگی مساله به دلیل نصب تنها یک ریکلوزر است.

نتایج حاصل از کاهش SAIFI با استفاده از سه ریکلوزر در جدول (۳) ارائه شده است. به ازای جمعیت برابر ۱۰، بهترین جواب بدست آمده توسط الگوریتم‌های COA، TLBO و PSO هر سه یکسان و برابر با ۵,۴۰۲ است. همچنین بدترین و میانگین پاسخ‌های بدست آمده توسط الگوریتم COA از نتایج سایر الگوریتم‌ها بهتر است. این وضعیت در جمعیت ۲۰ عددی نیز همانند وضعیت با جمعیت ده عددی می‌باشد که الگوریتم CAO سپس TLBO و در انتها PSO بهترین پاسخ را ارائه داده‌اند.

جدول (۲) نتایج حاصل از کاهش SAIFI با یک ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخ‌ها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰



چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

۱۰	Best	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
	Mean	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
	Worst	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
۲۰	Best	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
	Mean	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
	Worst	PSO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		COA	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳
		TLBO	۸,۳۳	۸,۳۳	۸,۳۳

جدول (۳) نتایج حاصل از کاهش SAIPI با سه ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخ‌ها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰
۱۰	Best	PSO	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
		COA	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
		TLBO	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
	Mean	PSO	۵,۳۹۸۲	۵,۳۵۵۵	۵,۲۶۱۱
		COA	۵,۳۹۳۶	۵,۳۰۶۲	۵,۱۷۳۰
		TLBO	۵,۴۷۲۲	۵,۴۵۵۳	۵,۴۱۰۹
	Worst	PSO	۵,۹۲۴۲	۵,۹۰۴۱	۵,۸۶۴۹
		COA	۵,۶۹۴۲	۵,۶۴۶۲	۵,۵۴۴۸





چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

		TLBO	۵,۹۷۶۵	۵,۹۲۸۰	۵,۹۱۴۹
۲۰	Best	PSO	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
		COA	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
		TLBO	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴	۵,۲۴۰۴
	Mean	PSO	۵,۴۹۹۴	۵,۳۰۷۱	۵,۲۵۰۴
		COA	۵,۳۵۴۳	۵,۲۴۸۱	۵,۲۴۰۴
		TLBO	۵,۳۵۷۰	۵,۲۵۸۷	۵,۲۴۵۰
	Worst	PSO	۵,۹۱۴۹	۵,۸۶۴۹	۵,۲۹۰۴
		COA	۵,۶۴۴۸	۵,۵۹۳۶	۵,۲۴۰۴
		TLBO	۵,۸۶۴۹	۵,۳۳۵۷	۵,۲۸۵۶

جدول (۴) نتایج حاصل از کاهش SAIFI با پنج ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰
۱۰	Best	PSO	۳,۶۳۴۶	۳,۶۳۹۵	۳,۵۸۹۴
		COA	۳,۵۸۹۴	۳,۵۸۷۶	۳,۵۸۱۲
		TLBO	۳,۶۱۲۴	۳,۵۸۹۴	۳,۵۸۹۴
	Mean	PSO	۳,۹۶۳۶	۳,۷۷۲	۳,۷۷۰۳
		COA	۴,۰۷۳۵	۳,۸۱۹۷	۳,۶۸۴۸
		TLBO	۳,۹۹۹۲	۳,۷۸۴۷	۳,۶۵۶۰
	Worst	PSO	۴,۴۵۹۷	۳,۸۸۴۸	۳,۸۳۵۲
		COA	۴,۶۰۷۳	۳,۹۹۸۱	۳,۸۰۶۱
		TLBO	۴,۵۳۲۳	۴,۰۴۵۳	۳,۷۹۲۷
۲۰	Best	PSO	۳,۵۸۹۴	۳,۵۸۹۴	۳,۵۸۹۴
		COA	۳,۸۵۹۹	۳,۵۸۹۴	۳,۵۸۹۴
		TLBO	۳,۶۷۸۷	۳,۶۳۴۶	۳,۵۸۹۴
	Mean	PSO	۳,۹۲۸۴	۳,۸۱۴۷	۳,۸۱۳۶
		COA	۴,۰۸۹۸	۳,۷۱۱۶	۳,۷۱۱۲
		TLBO	۳,۸۶۸۸	۳,۷۱۸۹	۳,۶۳۲۷
	Worst	PSO	۳,۴۵۱۵	۳,۴۳۵۴	۳,۴۰۲۴



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

		COA	۴,۴۲۵۲	۳,۹۰۵۹	۳,۸۹۷۹
		TLBO	۴,۲۶۱۸	۳,۸۱۴۹	۳,۶۷۸۱

جدول (۴) نتایج حاصل از کاهش SAIFI با استفاده از پنج عدد ریکلوزر را نشان می‌دهد. که بهترین جواب بدست آمده در بین الگوریتم‌های COA، TLBO و PSO، متعلق به الگوریتم COA است. هرچند که الگوریتم PSO نیز توانسته در بخشهای میانگین جواب و بدترین جواب عملکرد خوبی نسبت به الگوریتم TLBO داشته باشد اما همچنان با محاسبه رفتار کلی سه الگوریتم جایگاه نخست حداقل SAIFI برای الگوریتم COA خواهد بود. در نهایت می‌توان نتایج حاصل در جداول (۲) تا (۴) را اینگونه خلاصه نمود که COA نسبت به PSO و TLBO دارای عملکرد بهتری است. همچنین TLBO در مقایسه با PSO نیز دارای مزیت نسبی است.

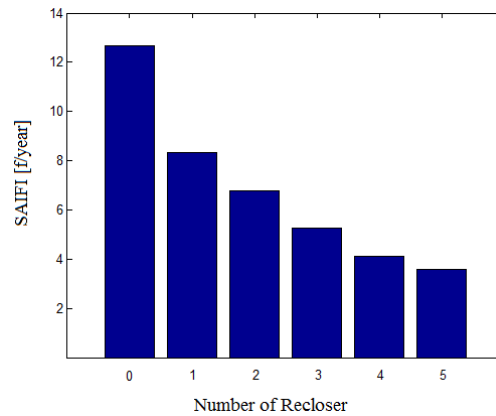
جدول (۵) محل نصب ریکلوزرها با هدف کاهش SAIFI

تعداد ریکلوزرها	الگوریتم	محل نصب ریکلوزرها	SAIFI [f/year]
Initial	-	-	۱۲,۶۸
۱	PSO	۷	۸,۳۳
	COA	۷	۸,۳۳
	TLBO	۷	۸,۳۳
۳	PSO	۷ ۱۸ ۲۵	۵,۲۴۰۴
	COA	۷ ۱۸ ۲۵	۵,۲۴۰۴
	TLBO	۷ ۱۸ ۲۵	۵,۲۴۰۴
۵	PSO	۷ ۱۲ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۳,۵۸۹۴
	COA	۷ ۱۲ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۳,۵۸۹۴
	TLBO	۷ ۱۲ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۳,۵۸۹۴

جدول ۵. محل نصب ریکلوزرها با هدف کاهش SAIFI و مقایسه تعداد آن‌ها بر کاهش SAIFI را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که قبل از نصب ریکلوزر شاخص SAIFI برابر ۱۲/۶۸ بوده که پس از نصب یک ریکلوزر مقدار آن به ۸/۳۳ می‌رسد. این مقدار با نصب سه و پنج ریکلوزر به ترتیب برابر با ۵/۲۴۰۴ و ۳/۵۸۹۴ می‌رسد که نشان‌دهنده نقش موثر ریکلوزر در کاهش شاخص SAIFI و یا به عبارت دیگر افزایش قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد. جهت مقایسه بهتر، اثر تعداد ریکلوزرها بر میزان کاهش SAIFI در شکل (۲) نشان داده شده است. با کمی دقت می‌توان مشاهده نمود که با افزایش تعداد ریکلوزرها، SAIFI به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش تعداد ریکلوزرها، کاهش SAIFI نسبت به قبل کمتر می‌شود. جهت تعیین تعداد اقتصادی تعداد ریکلوزرها باید محاسبات اقتصادی مربوطه را نیز لحاظ نمود که خارج از موضوع این تحقیق است.



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک



شکل شماره (۲): اثر تعداد ریکلوزرها بر میزان کاهش SAIFI

### ۲-۶- سناریوی دوم

پس از ۱۰ بار اجرای برنامه به طور مستقل، نتایج حاصل از کاهش SAIFI برای شبکه ۳۳ شین و مقایسه آنها با یکدیگر برای تعداد ۱، ۳ و ۵ عدد ریکلوزر به ترتیب در جداول (۶) تا (۸) نشان داده شده‌اند.

جدول (۶) نتایج حاصل از کاهش ENS با یک ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰
۱۰	Best	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
	Mean	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
	Worst	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
۲۰	Best	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
	Mean	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

	Worst	PSO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		COA	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲
		TLBO	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲	۲۰,۹۲

جدول (۷) نتایج حاصل از کاهش ENS با سه ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰
۱۰	Best	PSO	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
		COA	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
		TLBO	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
	Mean	PSO	۱۳,۹۳۹	۱۳,۶۳۰	۱۳,۲۵۹
		COA	۱۳,۹۵۲	۱۳,۲۴۱	۱۳,۰۶۰
		TLBO	۱۴,۰۴۱	۱۳,۲۵۶	۱۳,۵۴۲
	Worst	PSO	۱۴,۹۰۴	۱۴,۸۴	۱۴,۶۸
		COA	۱۴,۹۳۵	۱۳,۹۵۵	۱۳,۹۶۵
		TLBO	۱۵,۱۵۸	۱۳,۹۵۵	۱۳,۹۶۵
۲۰	Best	PSO	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
		COA	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
		TLBO	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵	۱۲,۸۵۵
	Mean	PSO	۱۳,۰۸۶	۱۳,۰۷۵	۱۳,۰۶۲
		COA	۱۳,۴۱۲	۱۳,۱۳	۱۲,۸۶۶
		TLBO	۱۳,۴۸	۱۳,۲۰۶	۱۳,۰۵۱
	Worst	PSO	۱۳,۷۳۶	۱۳,۹۵۵	۱۳,۹۵۵
		COA	۱۴,۲۲	۱۳,۷۶۹	۱۲,۹۶۵
		TLBO	۱۴,۳۷۵	۱۳,۹۵۵	۱۳,۶۲۶

جدول (۸) نتایج حاصل از کاهش ENS با پنج ریکلوزر

تعداد جمعیت	نوع پاسخها	الگوریتم	ماکزیمم تعداد تکرار		
			۲۰	۴۰	۶۰
۱۰	Best	PSO	۹,۶۸	۹,۷۲۶۳	۹,۴۸۶۳



### چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

		COA	۱۰,۷۶۱	۹,۳۹۶۳	۹,۴۶
		TLBO	۹,۶۷۶۲	۹,۳۹۶۳	۹,۲۳۶۳
	Mean	PSO	۱۰,۷۸۶	۱۰,۳۳۹	۱۰,۰۴۵
		COA	۱۱,۵۴۶	۱۰,۲۱۹	۱۰,۱۴۳
		TLBO	۱۰,۵۷۳	۱۰,۳۴۳	۹,۷۸۷۶
	Worst	PSO	۱۱,۷۷۵	۱۰,۹۸۸	۱۰,۷۵۶
		COA	۱۱,۹۱۵	۱۱,۱۲۸	۱۰,۸۸۹
		TLBO	۱۱,۴۶۰	۱۱,۴۸۳	۱۰,۸۶۵
	۲۰	Best	PSO	۹,۷۱۱۲	۹,۴۹۱۳
COA			۹,۹۱	۹,۲۳۶۳	۹,۲۳۶۳
TLBO			۹,۸۷۰	۹,۴۸۶۳	۹,۲۳۶۳
Mean		PSO	۱۰,۵۶۹	۱۰,۲۸۶	۹,۷۹۷۴
		COA	۱۰,۷۶۱	۹,۸۲۱۸	۹,۷۳۹۱
		TLBO	۱۰,۴۷۱	۱۰,۴۱۲	۹,۷۴۰۸
Worst		PSO	۱۱,۹۶۶	۱۰,۸۶۵	۱۰,۶۹۶
		COA	۱۱,۴۳۴	۱۰,۵۲۱	۱۰,۸۴۸
		TLBO	۱۱,۰۹۴	۱۱,۴۷۳	۱۰,۷۰۵

جدول (۶) نتایج حاصل از کاهش ENS با استفاده از یک ریکلوزر را نشان می‌دهد. مشابه جدول (۲)، در این حالت نیز هر سه الگوریتم یکسان عمل می‌کنند و مزیتی نسبت به یکدیگر ندارند. نتایج حاصل از کاهش ENS با استفاده از سه ریکلوزر در جدول (۷) ارائه شده است. با مشاهده نتایج موجود در جدول (۷) به ازای جمعیت‌های ۲۰ می‌توان به برتری الگوریتم COA پی‌برد.

جدول (۷) نتایج حاصل از کاهش ENS با استفاده از سه عدد ریکلوزر را نشان می‌دهد. بهترین جواب بدست آمده توسط الگوریتم‌های COA، TLBO و PSO هر سه یکسان و برابر با ۱۲/۸۵۵ است. همچنین برای الگوریتم COA بدترین پاسخ‌ها و میانگین آن‌ها نیز اکثراً بهتر از پاسخ‌های بدست آمده توسط الگوریتم‌های TLBO و PSO می‌باشند که نشان‌دهنده برتری COA است.

جداول (۸) نیز نتایج حاصل از کاهش ENS با استفاده از پنج عدد ریکلوزر را نشان می‌دهند. با کمی دقت می‌توان مشاهده نمود که الگوریتم COA در مقایسه با دو الگوریتم دیگر برتری دارد. همچنین TLBO نیز در مقایسه با PSO دارای برتری نسبی است.

با توجه به جداول (۶) تا (۸) در نهایت می‌توان گفت که COA نسبت به PSO و TLBO دارای عملکرد بهتری است. همچنین TLBO در مقایسه با PSO نیز دارای مزیت نسبی است.

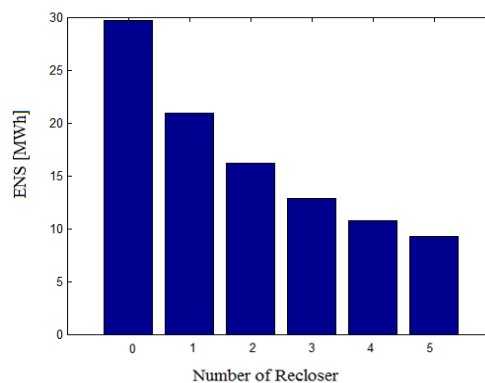


## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

محل نصب ریکلوزرها با هدف کاهش ENS و مقایسه تعداد آن‌ها بر کاهش ENS در جدول (۹) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که قبل از نصب ریکلوزر شاخص ENS برابر ۲۹/۷۲ بوده که پس از نصب یک ریکلوزر مقدار آن به ۲۰/۹۲ می‌رسد. این مقدار با نصب سه و پنج ریکلوزر به ترتیب برابر با ۱۲/۸۵۵ و ۹/۲۳۶۳ می‌رسد که نشان‌دهنده نقش موثر ریکلوزر در کاهش شاخص ENS و یا به عبارت دیگر افزایش قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد. شکل (۳) اثر تعداد ریکلوزرها بر میزان کاهش ENS را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد ریکلوزرها، ENS به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش تعداد ریکلوزرها، میزان کاهش ENS نسبت به قبل کمتر می‌شود.

جدول (۹) محل نصب ریکلوزرها با هدف کاهش ENS

تعداد ریکلوزرها	الگوریتم	محل نصب ریکلوزرها	SAIFI [f/year]
Initial	-	-	۲۹,۷۲
۱	PSO	۴	۲۰,۹۲
	COA	۴	۲۰,۹۲
	TLBO	۴	۲۰,۹۲
۳	PSO	۳ ۸ ۱۸	۱۲,۸۵۵
	COA	۳ ۸ ۱۸	۱۲,۸۵۵
	TLBO	۳ ۸ ۱۸	۱۲,۸۵۵
۵	PSO	۴ ۷ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۹,۲۳۶۳
	COA	۴ ۷ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۹,۲۳۶۳
	TLBO	۴ ۷ ۱۸ ۲۲ ۲۵	۹,۲۳۶۳



شکل شماره (۳): اثر تعداد ریکلوزرها بر میزان کاهش ENS

### ۷- نتیجه‌گیری

امروزه به دلیل رقابتی شدن صنعت برق، افزایش قابلیت اطمینان یکی از دغدغه‌های اصلی بهره‌برداران شبکه‌های توزیع است. یکی از مهم‌ترین و موثرترین روش‌ها جهت افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع، نصب ریکلوزر در این شبکه‌ها است. هدف تحقیق حاضر این بود که ضمن بررسی نقش ریکلوزر در افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، از دو الگوریتم جدید



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

نیز برای حل مسئله استفاده شده و نتایج آن با سایر الگوریتم‌ها نیز مقایسه شد. پس از انجام مطالعات عددی و بررسی نتایج حاصله و بحث و بررسی بر روی آن‌ها، در نهایت می‌توان نتایج حاصل از تحقیق را به شرح زیر خلاصه نمود:

- ریکلوزر به‌طور موثری موجب افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع می‌شود. همچنین نشان داده شده که با افزایش تعداد ریکلوزرها، شاخص‌های قابلیت اطمینان به صورت نمایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش تعداد ریکلوزرها، میزان افزایش قابلیت اطمینان نسبت به قبل کمتر می‌شود.
- مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم COA با نشان داد که این الگوریتم علاوه بر همگرا شدن به جواب بهینه سراسری، در اکثر موارد جواب بهتر و بهینه‌تری برای مسئله پیدا می‌کند. همچنین نشان داده شد که TLBO نسبت به PSO دارای عملکرد بهتر و مزیت نسبی است.

### مراجع

۱. عبدی. لیلا و بختیاری نژاد. س " طراحی و ساخت کنترل کننده الکترونیکی ریکلوزر و سکسیونر با قابلیت ارتباط با مرکز دیسپاچینگ توزیع"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۲.
۲. عظیمی واسماعیلی. "جایابی بهینه ریکلوزرها در شبکه‌های توزیع با منابع تولید پراکنده جهت کاهش انرژی توزیع نشده با استفاده از الگوریتم مورچگان" کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده در ایران، ۱۳۸۸.
۳. کامیاب. غ "تعیین تعداد و محل بهینه نصب ریکلوزر در یک فیدر شعاعی فشار متوسط"، یازدهمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، محمودآباد، ۱۳۸۵.
۴. کریمی. ش و عبدی. ح "آنالیز تاثیر اجزاء سیستم قدرت بر روی اضافه ولتاژهای گذرا"، اولین همایش ملی مهندسی برق و کامپیوتر در شمال کشور، بندر انزلی، موسسه آموزش عالی موج حفاظت، ۱۳۹۳.
۵. مهربخش و بیگدلی، "جایابی بهینه ریکلوزرها در شبکه‌های توزیع جهت کاهش انرژی توزیع نشده با استفاده از روش الگوریتم مورچگان" کنفرانس شبکه‌های برق کشور، ۱۳۸۸.
۶. Dehghani. N and Dashti. R, "Optimization of Recloser Placement to Improve Reliability by Genetic Algorithm" Energy and Power Engineering, (۲۰۱۱), vol. ۳ No.۴, P ۵۰۸ – ۵۱۲.
۷. Eduardo .A and Momesso .C "Automatic Recloser Adjustment for Power Distribution Systems" IEEE Transactions on Power Delivery (۲۰۲۲), Volume ۲, No.۲, P ۱-۱۰.
۸. Eduardo .F and Dionísio Barroso.J "Faults Monitoring System in the Electric Power Grid of Medium Voltage" Procedia Computer Science ۱۳۰ (۲۰۱۸), P. ۶۹۶-۷۰۳.
۹. Gastelbondo .G. A and González .J. W "Optimization of Reclosers Placement in Distribution Networks to Improve Service Quality Indices" (۲۰۲۲), Volume ۲۰, No.۲, P ۲۴۱-۲۴۹.
۱۰. Jafari. S and Bozorg. O "Cuckoo Optimization Algorithm (COA)" Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms (۱۹۵۲) P. ۳۹-۴۹.
۱۱. Mendoza .J.E and López M.E "Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network," (۲۰۰۹), IET Generation, Transmission & Distribution, Volume ۳, P ۸۲۵-۸۴۰.
۱۲. Rao R.V and Savsani V.J "Teaching-Learning-Based Optimization: An optimization method for continuous non-linear large scale problems," IEEE Latin America Transactions, (۲۰۱۲), Information Sciences, Volume ۱۸۳, Issue ۱, P ۱-۱۵.
۱۳. Mar. A and Pereira. P "A Survey on Power Grid Faults and Their Origins: A Contribution to Improving Power Grid Resilience" Energies (۲۰۱۹), No. ۱۲, P. ۱-۲۱.
۱۴. Thanh. T and Trung. T "Optimization of electric distribution network configuration for power loss reduction based on enhanced binary cuckoo search algorithm" ELSEVIER Computers and Electrical Engineering (۲۰۲۲), Volume ۲۱, No.۲, P ۱-۲۴.
۱۵. Venkata. R "Teaching Learning Based Optimization Algorithm" (۲۰۱۶). P. ۹-۳۹