بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار با استفاده از الگوریتم ساقه و ریشه

محمد جودکی*[۱]، افشین لشکرآرا[۲]، جمشید آقایی[۳]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق قدرت، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

پست الکترونیکی: m.joodaki242@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی برق قدرت، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

پست الکترونیکی: Lashkarara@iust.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مهندسی برق، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه صنعتی شیراز.

پست الکترونیکی: aghaei@sutech.ac.ir

چکیده: کاهش تلفات انرژی الکتریکی همواره از اهداف شرکت‌های توزیع بوده، حال آنکه مهم‌تر از تلفات انرژی، تلفات توان می باشد که افزایش ظرفیت مفید نیروگاه‌ها را نیز به همراه دارد. بازآرایی[۱] ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش برای تامین هدف فوق است .در این مطالعه با استفاده از الگوریتم ساقه و ریشه که یکی دیگر از روش های فرا ابتکاری می باشد مساله بازآرایی برای اولین بار توسط این روش با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ بر روی سیستم توزیع ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی می شود. . این روش بهینه‌سازی الهام گرفته از ساقه و ریشه گیاهانی است که در داخل زمین جهت یافتن منابع آب و مواد معدنی رشد و توسعه می یابند. در واقع ریشه این گیاه دارای دو بخش است که بخش قطور آن تحت عنوان ساقه[۲] جستجوی سراسری و الیاف نازکتر تحت عنوان ریشه[۳] جستجوی محلی را انجام می دهند. همچنین در مطالعه حاضر با توجه به متغییر بودن بار در طول شبانه روز شاخص عدم قطعیت نیز با استفاده از اعداد فازی جهت دستیابی به نتایج بهتر مدل‌سازی شده است. لازم به ذکر است تمام شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مطالعه با استفاده از نرم افزار متلب انجام شده است. علاوه بر این اثر بخشی این تحقیق با مقایسه نتایج به دست آمده با توجه به روش حل و توابع هدف در نظر گرفته شده نسبت به نتایج حاصل از مطالعات دیگر آشکار می شود.

واژه‌های کلیدی: بازآرایی، الگوریتم ساقه و ریشه، پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات، عدم قطعیت[۴]

۱- مقدمه

به دلیل پایین بودن ولتاژ و درنتیجه بالاتر بودن جریا ن در سیستم توزیع و نیز گستردگی آن، بخش قابل توجهی از تلفات کل سیستم قدرت مربوط به شبکه توزیع است . از دیگر سوی، ارتباط بلافصل شبکه های توزیع با مصرف کنندهٔ نهایی، باعث قابل توجه‌تر شدن مساله قابلیت اطمینان آن شده است. بنابراین، روش‌های متعددی برای بهبود کارایی شبکه توزیع ایجاد شده است. یکی از اساسی‌ترین و رایج-ترین روش‌ها برای افزایش ظرفیت عملکرد شبکه توزیع، مساله بازآرایی شبکه توزیع می‌باشد. در فیدرهای توزیع، دو نوع کلید وجود دارد که یکی در شرایط کار عادی بسته و دیگری در شرایط کار عادی باز می باشند. وضعیت باز یا بسته بودن این کلیدها به وسیله بازآرایی شبکه توزیع، جهت دستیابی به یک آرایش بهینه جدید به منظور برآورده شدن هدف‌های مورد نظر از قبیل کاهش تلفات توان، تعادل بار، بهبود پروفیل ولتاژ، کیفیت توان و غیره مشخص می شود. مساله بازآرایی به عنوان یک مساله بهینه سازی غیرخطی با قیود چندگانه شناخته می-

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]

شود. برخی از آرایشات به سبب تخطی از قیودی از قبیل شعاعی بودن شبکه، برقدار بودن همه شین‌ها و تخطی از قیود بهره‌برداری مانند محدوده مجاز ولتاژ و جریان، مجاز به انتخاب نمی‌باشند.

مساله بازآرایی شبکه های توزیع نخستین بار توسط دو محقق فرانسوی با نام‌های مرلین و بک در سال ۱۹۷۵ جهت کاهش تلفات شبکه توزیع با یک روش ابتکاری انجام شد. در این روش برای رسیدن به یک آرایش بهینه، پس از بسته شدن تمام کلیدها شروع به باز کردن کلیدهایی می‌شود که جریان کم‌تری را دارا می باشند، که در آخر منجر به تشکیل شبکه‌ای شعاعی با کم‌ترین تلفات می‌شود[۱]. پس از آن، تکنیک‌های متنوعی جهت بازآرایی شبکه توزیع ارائه گردید. در سال ۱۹۸۸ سیوانلار روشی معرفی کرد که در آن شاخه‌ها تعویض می شوند یعنی به محض بسته شدن یک کلید به دنبال آن یک کلید دیگر باز می شود که آرایش شعاعی باقی بماند و این روند تا زمانی که تلفات به کم‌ترین مقدار برسد ادامه دارد [۲]. در ادامه در سال ۱۹۸۹ شیر-محمدی این روش را توسعه داد و قید مربوط به جریان عبوری از فیدر را لحاظ نمود. همچنین شبکه را به صورت حلقوی ضعیف حل کرد، که به تبع آن تلفات شبکه کمتر باشد. بر اساس این روش ابتدا تمام کلید-های حالت عادی باز شبکه بسته می شوند، با انجام این کار شبکه شعاعی به شبکه حلقوی تبدیل می شود، سپس کلیدهای شبکه یک به یک باز می شوند، تا مجددا شبکه به حالت شعاعی باز گردد. در فرآیند باز شدن کلیدهایی باز می‌شوند که تلفات اهمی خطوط منتجه را کاهش دهند[۳]. بعد از این روش گلاموکانین که بر اساس یک مساله حمل و نقل با هزینه‌های مربعی فرموله شده بود جهت بازآرایی استفاده شد[۴]. همچنین در سال‌های بعد مساله بازآرایی توسط باران و هو پیاده سازی شد به این صورت که ابتدا همه کلیدها بسته در نظر گرفته می شوند و پس از آن با انجام پخش‌بار حلقه‌ای که بیشترین تلفات را دارا باشد انتخاب شده و باز می شود. علاوه بر روش‌های ابتکاری که در سال‌های گذشته برای مساله بازآرایی به کار برده شده، در سال‌های اخیر الگوریتم‌های هوشمندی نیز جهت یافتن آرایش بهینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که به این الگوریتم‌ها، الگوریتم فراابتکاری نیز گفته می شود که از جمله آنها می-توان به الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم فاخته، خفاش‌ها، گروه میگوها، جستجو هارمونی، غذایاب باکتریایی، کلونی مورچگان و ازدحام ذرات اشاره کرد[۱۲-۵]. تمام این الگوریتم‌ها بر اساس الهام‌گیری از یک پدیده‌ای در طبیعت، توانسته‌اند به یک مدل ریاضی جهت بهینه‌سازی مسائل از جمله بازآرایی شبکه توزیع دست‌یابند. اهداف مختلفی از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، متعادل‌سازی بار و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان جهت بهینه‌سازی به عنوان تابع هدف در این الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

در این مقاله مساله بازآرایی با استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری جدید به نام ساقه و ریشه که توسط دکتر فرشاد مریخ بیات در سال ۲۰۱۵ معرفی گردیده است برای اولین بار پیاده‌سازی شده است[۱۲]. علاوه بر این در این مطالعه با توجه به این که مطالعه حاضر در حوزه بهره‌برداری قرار دارد و در این حوزه دقت عملکرد محاسبات در برنامه پخش‌بار بسیار مهم است یک روش پخش بار نوین معرفی می شود. لازم به ذکر است که در شبکه‌های توزیع روش پخش‌بار با شبکه های انتقال متفاوت است و در این شبکه‌ها به علت نسبت R/X بالا نسبت به شبکه‌های انتقال و مسائل حفاظتی در شبکه‌ها نمی توان از روش-های مرسوم نیوتن رافسون و امپدانس گوس سایدل استفاده کرد چون به دلایل گفته شده همگرایی در تکرارهای کم صورت نمی گیرد. به همین علت در این مطالعه از روش پخش‌بار پیشرو-پسرو جهت انجام پخش‌بار استفاده شده است. همچنین در این مقاله با توجه به متغییر بودن بار در طول شبانه‌روز و قطعی نبودن مقدار آن در یک ساعت خاص مساله عدم قطعیت بار نیز در نظر گرفته شده است، که شاخص عدم قطعیت نیز در این مطالعه به روش اعداد فازی با تابع عضویت مثلثی مدلسازی گردیده است.

در ادامه در بخش دوم فرمول‌بندی مساله به همراه قیود و تابع هدف بیان خواهد شد. در بخش سوم در مورد روش مجوعه‌های فازی جهت مدل‌سازی عدم قطعیت ارائه می شود، در بخش چهارم روش پخش‌بار در شبکه‌های توزیع که روش پیشرو-پسرو نام دارد شرح داده می‌شود، در بخش پنجم روش حل مساله بازآرایی و چگونگی حل مساله و مراحل جستجو به صورت کامل بیان خواهد شد. در بخش ششم نتایج به دست آمده از این مطالعه در چند قسمت همراه با تحلیل لازم ارائه می شود و در قسمت آخر بخش هفتم نتیجه‌ای که از این مقاله به دست آمده ارائه می شود.

۲- فرمول‌بندی مساله

۲-۱- تابع هدف

در این مطالعه همانطور که گفته شد مهم‌ترین اهداف کمینه کردن تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ می باشد که در زیر آورده شده اند.

$$min: P_{loss} = \sum_{b=1}^{nl} I^2 . R. K \qquad (۱)$$

$$min: Q_{loss} = \sum_{b=1}^{nl} I^2 . X. K \qquad (۲)$$

$$min: F_v = max|V_i - V_1| \qquad (۳)$$

روابط بالا به ترتیب بیانگر کمینه کردن تلفات توان اکتیو، راکتیو و انحراف ولتاژ شین ها می باشند.

۲-۲-قیود مساله

با تغییر نقاط مانور در شبکه توزیع آرایش جدیدی به وجود می آید. ولی نمی توان گفت هر آرایش جدید به دست آمده حتما مورد قبول

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

است از این آرایش شبکه ای که در هر تغییر بدست می آید باید محدودیت های ذیل را رعایت کند :

$$V_{min} \le V_i \le V_{max} \qquad (۴)$$

$$I_1 \qquad (۵)$$

که در رابطه (۴) قید محدوده ولتاژ مجاز شین‌ها و رابطه (۵) محدوده جریان مجاز عبوری از خطوط را نشان می دهند. اما قید اصلی در مساله بازآرایی شعاعی ماندن شبکه پس از بازآرایی می باشد. شعاعی ماندن شبکه به این صورت است که اولا هیچ حلقه‌ای در شبکه ایجاد نگردد و ثانیا هیچ شینی در شبکه بدون برق باقی نماند. به همین منظور برای ارضا کردن این قید از دو محاسبه ساده (شرط لازم و شرط کافی) استفاده شده است:

محاسبه اول (شرط لازم) بدین صورت است که تعداد خطوط در مدار شبکه باید یک عدد کمتر از تعداد شین ها باشد، محاسبه دوم (شرط کافی) با استفاده از پاسخ دترمینان ماتریس تلاقی شاخه و گره جهت جلوگیری از ایزوله شدن شین‌ها پس از ارزیابی محاسبه اول صورت می‌پذیرد که در رابطه (۶) نشان داده شده است.

$$det(A) = \text{۱ یا } -\text{۱} \qquad (۶)$$

$$det(A) = ۰ \qquad (۷)$$

اگر بعد از محاسبه دترمینان ماتریس تلاقی شاخه و گره پاسخ ۱ یا ۱- بدست آمد بیانگر شعاعی بودن شبکه است و در صورتیکه طبق رابطه (۷) پاسخ صفر بشود یعنی شبکه شعاعی نمی باشد.

۳- مدل‌سازی عدم قطعیت بار

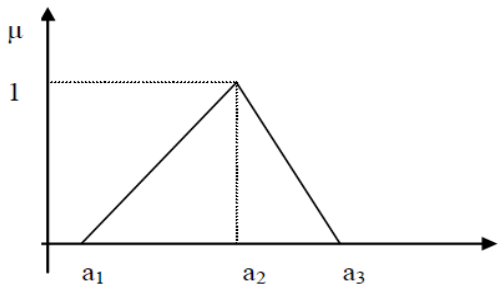
مطالعات مقاله حاضر در حوزه مطالعات بهره‌برداری است. بنابراین عدم قطعیت در بار برای افق زمانی مطرح است. با توجه به تعداد زیاد نقاط بار در شبکه‌های توزیع، نصب تجهیزات اندازه‌گیری در تمامی این نقاط از دیدگاه اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد. از این رو معمولاً میزان بار در نقاط مصرف با به کارگیری روش‌های تخمین بار تعیین می شود که همواره با عدم قطعیت همراه است از سوی دیگر با توجه به همین نقص اطلاعاتی، پیش بینی مصرف آتی سیستم نیز به طور دقیق میسر نبوده و با عدم قطعیت توأم است.

یکی از روش‌های سنتی در مدل‌سازی عدم قطعیت در مطالعات، استفاده از تئوری احتمالات است. هرچند به علت فقدان سابقه اطلاعاتی، بسیاری از عدم قطعیت‌ها را نمی توان با این تئوری به صورت کارآمد مدل نمود. در سال‌های اخیر تئوری مجموعه‌های فازی در مدل سازی ریاضی عدم قطعیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از خواص مهم تئوری فازی، سهولت در انجام محاسبات در مقایسه با روش‌های احتمالاتی است که کاربرد عملی این تئوری را جذاب و گسترده ساخته است. مدل‌سازی عدم قطعیت بار در این مقاله به روش فازی انجام شده است. منطق فازی یک روش کارآمد برای انجام محاسبات همراه با عدم قطعیت است. منطق فازی بر اساس دانش بشری است و در آن از روابط دقیق ریاضی در علم احتمالات استفاده نمی‌شود.

۳-۱- اعداد فازی[۵]

برای پرداختن به ابهام تفکر انسانی، پرفسور لطفی‌زاده دانشمند ایرانی تبار دانشگاه برکلی آمریکا در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار تئوری مجموعه‌های فازی را مطرح کرد که این تئوری به عقلایی بودن عدم قطعیت به موجب عدم دقت و ابهام، گرایش داشت. کمک اصلی تئوری مجموعه‌های فازی، توانایی آن در نشان دادن داده‌های مبهم بوده و پدیده‌های جهان واقع، که در آنها عدم قطعیت وجود دارد مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین این تئوری به عملگرهای ریاضی و برنامه ریزی اجازه می‌دهد تا تسلط فازی را بکار ببرند. یک مجموعه فازی طبقه‌ای از اشیاء با یک پیوستار از درجات عضویت می‌باشد. یک چنین مجموعه‌های به‌وسیله یک تابع عضویت مشخص می‌شود که به هر شی یک درجه عضویت در بازه [۰،۱] اختصاص می‌دهد. یک عدد فازی در واقع مشابه یک تابع توزیع احتمال بوده و مقدار ثابت و مشخصی ندارد. بلکه دارای یک تابع عضویت و مقادیری در یک بازه مشخص دارد. بحث راجع به اعداد فازی و انواع آن خارج از حوصله تحقیق حاضر بوده و در اینجا به اشاره‌ای به اعداد فازی مورد استفاده در این مقاله بسنده می‌کنیم.

اعداد فازی مورد استفاده در این تحقیق با تابع عضویت مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. این تابع عضویت در شکل (۱) نشان داده شده است. این تابع عضویت ۳ مشخصه دارد: ابتدا، مقدار حداکثر و انتها که رابطه مربوطه طبق معادله (۸) می‌باشد.



شکل (۱): تابع عضویت مثلثی

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{For } x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & \text{For } a_1 \le x \le a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & \text{For } a_2 \le x \le a_3 \\ 0 & \text{For } x > a_3 \end{cases} \qquad (۸)$$

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]

۳-۲- مدل‌سازی فازی تابع هدف و محاسبه ریسک‌ها

تابع هدف این مسئله همانطور که قبلا نیز اشاره شده بود شامل کاهش ریسک تلفات و ولتاژ است، در مجموع به این دو مولفه ریسک فنی اتلاق می‌شود. جهت محاسبه ریسک فنی، توجه شود که هر یک از مولفه‌های ریسک فنی باید محاسبه گردد و سپس بیشینه این سه مولفه در تابع هدف قرار می‌گیرد به این ترتیب با کمینه کردن بیشینه ریسک، کل ریسک را کمینه کرده‌ایم.

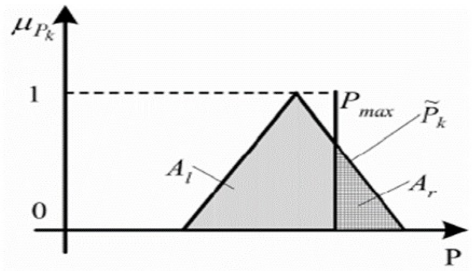
بنابراین تابع هدف به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$OF = Min[RISK] \quad (۹)$$

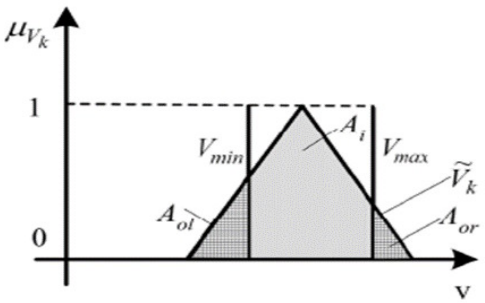
$$RISK = Max(Rick_{voltage}, Rick_{loss}) \quad (۱۰)$$

$$Rick_{voltage} = Max(Rick_{voltage}(i)) \quad (۱۱)$$

رابطه (۹) تابع هدف مسئله است که در آن ریسک کلی کمینه می‌گردد. معادله (۱۰) بدترین ریسک فنی را تشخصی داده و آن را برای بهبود به تابع هدف معرفی می‌نماید. همچنین معادله (۱۱) بدترین ریسک ولتاژ شین‌ها را شناسایی و آن را به عنوان ریسک ولتاژ به معادله (۹) معرفی می‌نماید. منظور از ریسک در روابط فوق حاصل تقسیم مساحت خارج از محدوده مجاز به مساحت کل مثلث فازی تلفات و ولتاژ است. جهت درک بهتر شکل‌های (۲) و (۳) نحوه محاسبه ریسک ولتاژ و تلفات را نمایش می‌دهند.



شکل (۲): محاسبه ریسک تلفات



شکل (۳): محاسبه ریسک ولتاژ

۴- پخش‌بار شبکه توزیع

همانطور که می‌دانیم در شبکه‌های توزیع نسبت R/X در مقایسه با شبکه‌های انتقال بیشتر بوده و همین امر منجر به عدم همگرایی روش-های محاسبه پخش‌بار شبکه‌های انتقال در مطالعات شبکه‌های توزیع می‌گردد. لذا روش‌های دیگری برای این شبکه‌ها ارائه شده است که معروف‌ترین و قوی‌ترین آن‌ها روش جاروب رفت و برگشتی(پیشرو-پسرو) است که حتی قابلیت اصلاح جهت اعمال به شبکه‌های توزیع حلقوی را نیز دارد. به همین علت در این قسمت به ارائه این روش می-پردازیم.

۴-۱- روش جاروب رفت و برگشتی[۶]

این روش بر اساس دو ماتریس که از توپولوژی شبکه قابل استخراج است بنا نهاده شده است. یکی ماتریس جریان شاخه‌ها بر حسب جریان شین‌ها و دیگری ماتریس ولتاژ باس‌ها بر حسب جریان شاخه‌ها. ماتریس اول به ماتریس[۷] $(BIBC)$ دومی به ماتریس[۸] $(BCBV)$موسوم است. در ادامه نحوه ساخت این دو ماتریس ارائه می‌گردد.

۴-۱-۱- ماتریس جریان شاخه‌ها بر حسب جریان تزریقی شین‌ها

در هر شین شماره ی i، توان ظاهری S_i به صورت رابطه (۱۲) است:

$$S_i = (P_i + jQ_i) \quad (۱۲)$$

n : تعداد شین ها

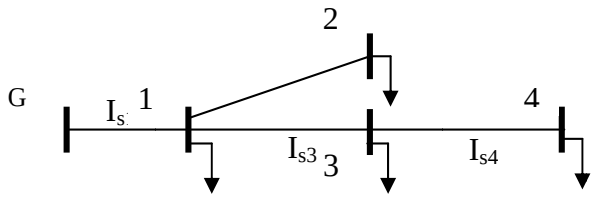
و جریان تزریقی شین های مربوطه به صورت رابطه (۱۳) محاسبه می شود:

$$I_i^k = \left(\frac{P_i + jQ_i}{v_i^k}\right)^* \quad (۱۳)$$

ولتاژ باس iام در تکرار kام: V^k_i

جریان معادل تزریقی در باس iام در تکرار kام: I^k_i

برای تشکیل این ماتریس $(BIBC)$ یک سیستم ساده‌ی شعاعی به عنوان مثال در شکل (۴) ارائه شده است. جریان‌های تزریقی شین ها توسط معادلهٔ (۱۳) محاسبه می‌شود و مجموعه‌ای از معادلات جریان توسط قانون جریان کیرشهف برای شبکه نوشته می‌شود. بنابراین جریان‌های شاخه‌ها می‌توانند برحسب جریان تزریقی شین ها نوشته شوند. به عنوان مثال در شکل(۴) داریم:



شکل (۴): شبکه فرضی شعاعی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

جریان بار در شین iام : I_i

جریان سکشن iام : I_{si}

$$I_{s1} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (۱۴)$$
$$I_{s2} = I_2$$
$$I_{s3} = I_3 + I_4$$
$$I_{s4} = I_4$$

مجموعه معادلات (۱۴) را می توان به فرم ماتریسی در رابطه (۱۵) نوشت.

$$\begin{bmatrix} I_{s1} \\ I_{s2} \\ I_{s3} \\ I_{s4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad (۱۵)$$

۴-۱-۲- ماتریس ولتاژ شین‌ها بر حسب جریان شاخه

رابطه بین جریان شاخه‌ها و ولتاژ شین‌ها برای شکل (۴) توسط قانون ولتاژ کیرشهف بصورت روابط (۱۶) برقرار می‌شود:

$$V_1 = V_0 - Z_1 I_{s1} \quad (۱۶)$$
$$V_2 = V_0 - Z_1 I_{s1} - Z_2 I_{s2}$$
$$V_3 = V_0 - Z_1 I_{s1} - Z_3 I_{s3}$$
$$V_4 = V_0 -$$

در روابط فوق V_0 ولتاژ شین مرجع (پست) می باشد که مقداری ثابت است. علاوه بر این روابط (۱۶) را نیز می توان به فرم ماتریسی در رابطه (۱۷) نشان داد:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_0 \\ V_0 \\ V_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & 0 & 0 \\ Z_1 & 0 & Z_3 & 0 \\ Z_1 & 0 & Z_3 & Z_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s1} \\ I_{s2} \\ I_{s3} \\ I_{s4} \end{bmatrix} \quad (۱۷)$$

به این ترتیب ولتاژ تک تک شین‌ها بدست می‌آید. آنچه در معادلات (۱۲) تا (۱۷) ارائه شد روابط مداری حاکم بر یک شبکه توزیع شعاعی می‌باشد که با استفاده از این معادلات مقادیر تلفات شبکه و ولتاژ تمام شین‌ها را در هر تکرار برای ارزیابی تابع هدف بدست می‌آوریم.

۵- الگوریتم ساقه و ریشه

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله الگوریتم چندهدفه ساقه و ریشه است که در سال ۲۰۱۵ میلادی توسط محقق ایرانی دکتر فرشاد مریخ بیات عضو هیت علمی دانشگاه زنجان ابداع شد. این روش بهینه سازی الهام گرفته از ساقه و ریشه گیاهانی مانند گیاه توت فرنگی یا عنکبوت است که در داخل زمین جهت یافتن منابع آب و مواد معدنی رشد و توسعه می یابند. در واقع مطابق شکل (۵) ریشه یک گیاه دارای دو بخش است که بخش قطور آن تحت عنوان ساقه و الیاف نازکتر تحت عنوان ریشه تشکیل دهنده نام الگوریتم هستند.



شکل (۵): نمونه از ریشه گیاه توت فرنگی

از بخش قطور ریشه که تعیین کننده یک مسیر اصلی جستجوست به عنوان جستجو سراسری در فضای حل ایده برداری شده است. همچنین الیاف نازک تر (ریشه) در همان مسیر برای جستجوی محلی ایده می دهند. این ایده ها برای الگوریتم[۹] RRA به این صورت اعمال شده‌اند: بخش ساقه مدل کننده جهش‌های تصادفی با گام‌های بلند و شروع مجدد جستجو در صورت باقی ماندن در بهینه‌های محلی است که در واقع کار جستجو را در فضای ممکن در جهتی دیگر آغاز می‌کند. همچنین توسعه ریشه در صورت واقع شدن در محل مناسب نیز توسط این بخش مدل می‌گردد. جستجوی دقیق تر با گام‌های کوچک در این الگوریتم توسط بخش ریشه و الیاف‌های آن انجام می‌شود که به ترتیب برای تغییرات بزرگ و کوچک در مقدار متغیرها برای آن دسته از متغیرهایی است که سابقه بهتری داشتند لیکن در تکرارهای اخیر راکد بوده‌اند.

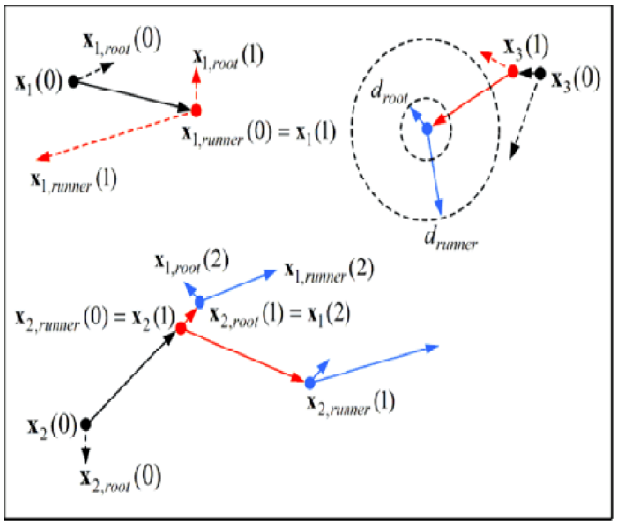
۵-۱- فرآیند جستجو الگوریتم

شکل(۶) کل فرآیند جستجو را برای الگوریتم ساقه و ریشه (RRA) به ازای N=۳ به صورت گرافیکی نشان می‌دهد. در این شکل فلش‌های رسم شده با هر یک از رنگ‌ها به یکی از تکرارها اشاره دارند. همچنین نقاط مشخص شده با $\mathbf{X_1(0)}$ و $\mathbf{X_2(0)}$ و $\mathbf{X_3(0)}$ بیانگر بردارها(گیاهان مادر) تصادفی اولیه هستند. همانطور که میبینیم به هر یک از این نقاط تصادفی دو فلش متصل شده است که یکی با اندیس Root در نزدیکی خود نقطه و دیگری با اندیس Runner در فاصله‌ای نسبتا دورتر از آن که این بردارها بیانگر این واقعیت هستند که هر گیاه مادر با استفاده از دو ابزار به صورت هوایی و ریشه‌های زمینی جستجو را انجام می‌دهد

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]



شکل (۶): بیان گرافیکی الگوریتم RRA

همانطور که در شکل (۶) نحوه عملکرد این الگوریتم مشاهده می‌شود نحوه جستجو به این صورت است که در هر تکرار از بین جمعیت تولید شده یک گیاه مادر که در تکرار قبل توسط روش‌های گزینشی نظیر چرخ رولت یا انتخاب نخبه‌ترین انتخاب شده، وجود دارد. نحوه انتخاب گیاه مادر از بین گیاهان فرزند(گیاه دختر) در هر تکرار به این شکل است که هر گیاه فرزندی که بتواند بیشترین سهم را در کمینه کردن تابع هدف داشته باشد به عنوان گیاه مادر تکرار بعد انتخاب می‌شود. گیاه مادری که انتخاب می‌شود تولید کننده جمعیت در تکرار بعد می-باشد و در هر تکرار به جز گیاه مادر بقیه گیاهان نقش گیاهان فرزند(گیاه دختر) را ایفا می‌کنند. هر گیاه مادر همانطور که در شکل مشخص است به دو طریق جستجو را انجام می‌دهد. با توجه به شکل ۶ به هر گیاهی که به عنوان گیاه مادر انتخاب شده است دو عدد پیکان وصل می‌باشد که یکی بزرگتر و دیگر کوچکتر است . پیکان بزرگتر که *Ruuner* نام دارد جستجوی سراسری با گام بزرگ‌تر را برای الگوریتم انجام می‌دهد و پیکان کوچک‌تر که *Root* نام دارد جستجوی محلی با گام کوچک را انجام می‌دهد. باید توجه کرد که در بعضی از تکرارها گاهی جستجو سراسری و گاهی جستجوی محلی و یا بعضا هر دو جستجو موفق به یافتن نقطه بهینه می‌شوند یا حتی در بعضی مواقع هیچکدام موفق نمی‌شوند. این موفقیت و عدم موفقیت در یافتن نقطه بهینه با خط پر رنگ و خطچین مشخص شده اند. به این صورت که خطوط پر رنگ نشان دهنده موفقیت و خطچین‌ها نشان دهنده عدم موفقیت در یافتن نقطه بهینه هستند. علاوه بر این در گیاه شماره ۳ همانطور که نشان داده شده دو دایره به صورت خط چین رسم شده که شعاع جستجوی هر کدام از روش های جستجوی سراسری و محلی را نشان می‌دهند.

۵-۲- الگوریتم RRA برای حل مسئله بازآرایی

به منظور اعمال روش حل *RRA* به مساله بازآرایی باید نوع و ابعاد هر یک از اعضای جمعیت تعیین گردد. قبل از پرداختن به این مسئله، توجه شود که فرض اصلی در این مقاله این است که تمام خطوط دارای کلید جداکننده هستند. هرچند اعمال قید حضور یا عدم حضور کلید جداکننده به سادگی قابل انجام است.

همانطور که عنوان شد، هر آرایش از شبکه توزیع با مشخص شدن وضعیت تمام کلیدهای شبکه در صورت برآورده شدن قیود شبکه بدست می‌آید. در این مقاله به جای بررسی وضعیت تمامی کلیدهای شبکه، از روشی به نام حذف حلقه استفاده شده است که تنها کلیدهای باز را در هر آرایش به عنوان متغیرهای الگوریتم در نظر می‌گیرد.

روش پیشنهادی در این تحقیق به این صورت است که در ابتدا با بستن تمام فیدرهای مانور شبکه مورد مطالعه یک شبکه حلقوی خواهیم داشت. فرض کنید تعداد فیدرهای مانور، *Ntie* باشد. بنابراین به منظور نیل به یک آرایش شعاعی جدید باید به تعداد *Ntie* خط دلخواه (خواه خطوط *NC* یا فیدرهای مانور *NO*) باز شوند تا شرط لازم برای شعاعی بودن شبکه برقرار باشد. بنابراین هر یک از اعضای جمعیت یک آرایه ۱×*Ntie* بعدی است که هر یک از خانه‌های آن تعیین کننده شماره یکی از خطوط باز در سیستم است. حال شرط کافی که عدم وجود شین یا شین‌های ایزوله است همانطور که در قسمت های قبل بیان شد با محاسبه درترمینان ماتریس تلاقی شاخه و گره انجام می‌شود. اگر این شرط برقرار نباشد آن عضو از ابتدا مجددا تولید می‌گردد. به این ترتیب جمعیت اولیه که همگی ساختار شعاعی دارند تولید می‌شود. در خلال الگوریتم نیز هر جا جمعیت جدید تولید می‌شود قید شعاعی بودن شبکه بررسی شده و در صورت نقض، جمعیت تولید شده حذف و از ابتدا محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که در هر تکرار گیاهی که به عنوان گیاه مادر انتخاب می‌شود همان ساختار شبکه شعاعی مورد نظر می‌باشد.

با دانستن نوع و ابعاد هر یک از اعضای جمعیت، سایر مراحل الگوریتم مطابق آنچه در ای بخش ارائه می شود به صورت مرحله به مرحله به ترتیب زیر قابل انجام است:

مرحله اول:

مقادیر پارامترهای الگوریتم شامل، *drunner*، *droot*، *Npop*، *stall_max*، *tol* و *a* که به ترتیب مقدار جهش در مرحله ساقه، مقدار جهش در مرحله ریشه، تعداد جمعیت اولیه، حداکثر تعداد تکرار جستجوی محلی، حداقل مقدار انتظاری پیشرفت تابع هدف جهت ادامه جستجوی سراسری و پارامتر کنترل انتخاب در چرخ رولت هستند، را مقدار دهی می‌کنیم.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

مرحله دوم:

فرزندان تکرار i توسط رابطه (۱۸) تولید شده و بهترین فرزند توسط رابطه (۱۹) انتخاب می‌شود.

$$x$$

(۱۸)

$$x_{daughter,best}(\mathrm{i}): \arg\min f(x), x = x^k_{doughter}(i), \quad k = 1, \dots, N_{pop}$$

(۱۹)

$x^k_{doughter}(i)$: موقعیت گیاه فرزند را در تکرار iام نشان می دهد.

$x^1_{mother}(i)$: گیاه دختری است که در تکرار قبل توسط روش گزینش نخبه‌ترین برای تکرار iام انتخاب شده است.

$x^k_{mother}(i)$: گیاهان مادری گه در میان گیاهان دختر تکرار قبل توسط روش گزینش چرخ رولت انتخاب شده‌اند.

d_{runner} : حداکثر فاصله گیاه مادر از گیاه دختر یا طول ساقه بزرگ

$x_{daughter,best}(\mathrm{i})$: بهترین گیاه دختر که منجر به بهبود تابع هدف شده است.

مرحله سوم:

اگر شرط توقف جستجوی سراسری مطابق رابطه (۲۰) برقرار باشد و در تکرار اول نباشیم، از جستجوی سراسری خارج شده و جستجوی محلی با قدم‌های بزرگ برای تمام اعضای جمعیت انجام می‌شود و در صورت حصول نتیجه بهتر، فرزند مربوطه مطابق رابطه (۲۱) جایگزین می گردد در غیر اینصورت به مرحله پنجم می‌رویم.

$$\left|\frac{\min_{k=1,\dots,N\mathrm{pop}} f\left(x^k_{\mathrm{doughter}}(\mathrm{i})\right) - \min_{k=1,\dots,N\mathrm{pop}} f\left(x^k_{\mathrm{doughter}}(\mathrm{i}-1)\right)}{\min_{k=1,\dots,N\mathrm{pop}} f\left(x^k_{\mathrm{doughter}}(\mathrm{i}-1)\right)}\right| < tol$$

(۲۰)

$$if\ f(x^k_{perturbed}) < f(x_{daughter,best}(\mathrm{i})\ )\ then$$
$$x_{daughter,best}(\mathrm{i}) = x^k_{perturbed}$$

(۲۱)

$x^k_{perturbed}$: بردار تصادفی برای جمعیت Kام برای جستجوی محلی با گام‌های بزرگ و کوچک

مرحله چهارم:

پس از اتمام جستجوی محلی با قدم‌های بزرگ، جستجوی محلی با قدم‌های کوچک طبق رابطه (۲۳) برای تمام اعضای جمعیت انجام می شود و در صورت حصول نتیجه بهتر، فرزند مربوطه جایگزین می‌گردد.

(۲۲)

در رابطه بالا d_{root} اندازه گام کوچک گیاه است که همان الیاف نازکتر(ریشه) گیاه توت فرنگی می‌باشد.

$$if\ f(x^k_{perturbed}) < f(x_{daughter,best}(\mathrm{i}))\ the \quad (۲۳)$$
$$x_{daughter,best}(\mathrm{i}) = x^k_{perturbed}$$

مرحله پنجم:

گیاه مادر جمعیت در تکرار i+1 با بهترین پاسخ بدست آمده در مرحله قبل جایگزین می‌گردد.

$$x^1_{mother}(i+1) = x_{daughter,best}(\mathrm{i}) \quad (۲۴)$$

مرحله ششم:

مقدار تابع برازش و احتمال انتخاب در روش گزینشی چرخ رولت برای فرزند k ام به ترتیب طبق رابطه (۲۵)و (۲۶) محاسبه می‌گردد.

$$fit\left(x^k_{doughter}(i)\right) < \frac{1}{a + f\left(x^k_{doughter}(i)\right) - f\left(x_{daughter,best}(\mathrm{i})\right)} \quad (۲۵)$$

$$P_k = \frac{fit\left(x^k_{doughter}(i)\right)}{\sum_{j=1}^{Npop} fit\left(x^k_{doughter}(i)\right)}, k = 1, \dots, Npop \quad (۲۶)$$

a: پارامتری جهت نرمالیزه کردن تابع برازش

مرحله هفتم:

با توجه به اینکه مقدار مادر برای اولین جمعیت در مرحله پنجم محاسبه گردید، برای سایر اعضا مقدار مادر برای تکرار بعدی توسط چرخ گردان محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{x}^{\mathrm{k}}_{\mathrm{mother}}(\mathrm{i}+1) = \mathrm{x}^{\mathrm{ind}}_{\mathrm{daughter}}(\mathrm{i}), \mathrm{k} = 2, \dots, \mathrm{Npop} \quad (۲۷)$$

که در این رابطه بالانویس ind بیانگر مقدار فرزند در تکرار فعلی(i) است که توسط روش چرخ رولت انتخاب شده است.

مرحله هشتم:

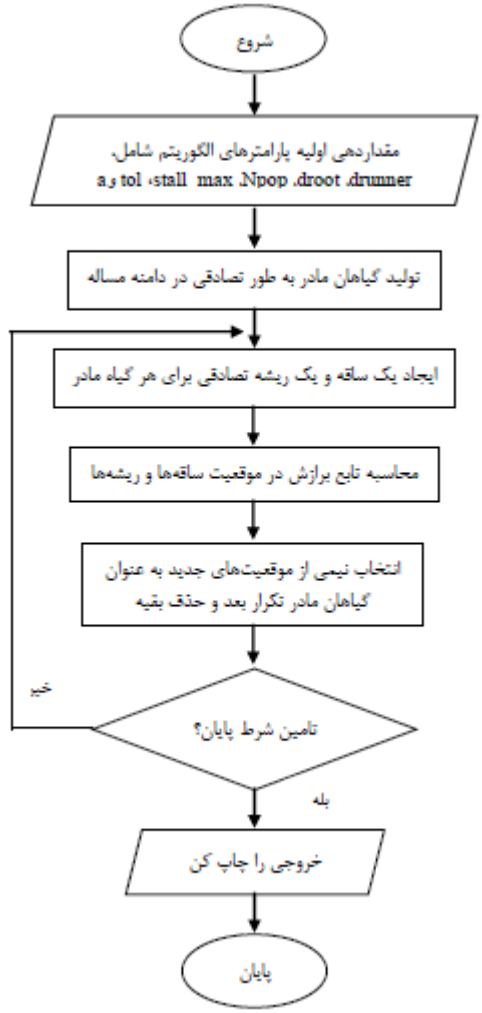
اگر شرایط جستجوی محلی همچنان برقرار بوده و تعداد تکرار جستجوی محلی اتمام نیافته باشد، به مرحله سوم می‌رویم و شمارنده تعداد تکرار جستجوی محلی(stall_count) یک رقم افزایش می‌یابد. در غیر اینصورت، اگر شرط توقف الگوریتم برقرار نباشد، شمارنده تعداد تکرار محلی صفر قرار داده شده و شمارنده تعداد تکرار کل الگوریتم یعنی i، یک واحد افزایش می‌یابد و به مرحله دوم می‌رویم. در غیر اینصورت، نتایج موجود چاپ می‌گردد.

به منظور درک بهتر الگوریتم، فلوچارت این الگوریتم در شکل ۷ ارائه شده است.

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]



شکل ۷: فلوچارت الگوریتم ساقه و ریشه

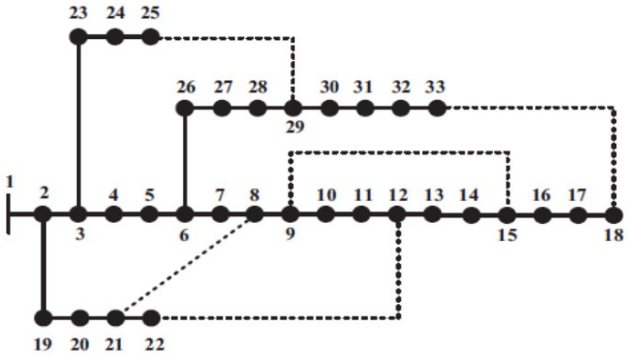
۶- نتایج شبیه‌سازی

همانگونه که قبلا گفته شد، در این مقاله نتایج مطالعات شبیه‌سازی بر روی شبکه توزیع ۳۳ شینه *IEEE* [۲۶] پیاده‌سازی شده است.

۶-۱- شبکه ۳۳ شینه مورد مطالعه

شبکه ۳۳ شینه مورد مطالعه در این مقاله همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود دارای ۱ فیدر اصلی (پست فوق توزیع) و ۳۳ گره (پست توزیع) می‌باشد. این شبکه در واقع شامل ۵ خط باز (کلید عادی باز) و ۳۲ خط بسته (کلید عادی بسته) می‌باشد، که درحالت عادی و قبل از انجام بازآرایی شبکه، با قرار دادن فیدرهای ۳۳ الی ۳۷ (خطوط خط‌چین) در حالت قطع، یک ساختار شعاعی برای شبکه حاصل می‌شود. در این شبکه فرض شده است که بین هر دو شین یک کلید وجود دارد یا به عبارتی دیگر، فرض شده است که تمام خطوط شبکه دارای قابلیت باز و بستن می‌باشند.

ولتاژ نامی در این شبکه ۱۲/۳۸ کیلوولت، مجموع توان‌های اکتیو و راکتیو متصل به شبکه به ترتیب ۳۷۱۵ کیلووات و ۲۳۰۰ کیلووات می‌باشد. همچنین مقدار امپدانس هر شاخه و بارهای هر شین در[۲۶] آورده شده است. این شبکه پنج کلیدحالت عادی باز داشته و روی هر شاخه یک کلیدحالت عادی بسته در نظر گرفته شده است.



شکل (۸): شبکه ۳۳ شینه IEEE [۶]

۶-۲ مطالعه با هدف کمینه کردن تلفات با عدم قطعیت بار

در این حالت تنها تابع هدف، ریسک تلفات است. نتایجی که در این قسمت ارائه خواهند شد، شامل آرایش بهینه ساعتی، مقدار تابع هدف در هر ساعت، مقدار ریسک ولتاژ و تلفات فازی ساعتی می‌باشد.

در جدول (۱) آرایش بهینه ساعتی در طول ۲۴ ساعت شبانه روز نشان داده شده است. تمام مطالعات حاضر با توجه به یک الگوی ۲۴ ساعته بار در طول شبانه روز صورت گرفته است . به این دلیل که مطالعه حاضر در حوزه بهره برداری بوده و مقدار بار را نمی توان در یک روز ثابت فرض کرد که اگر چنین بود دیگر مطالعه بازآرایی بی معنا بود. جدول بعد مقادیر توابع هدف را با هدف کمینه کردن تلفات نشان می‌دهد که اگر با دقت مشاهده شود مقادیر ریسک تلفات در این قسمت نسبت به ریسک ولتاژ بسیار کم تر می‌باشند.

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می شود مقادیر تلفات شبکه در طول ۲۴ ساعت با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار به صورت فازی محاسبه شده‌اند. در هر ساعت مقدار تلفات ۳ مقدار دارد، ابتدا، وسط و انتها که بیانگر اعداد فازی مثلثی است. مقدار وسط همان مقدار پیش بینی ما می‌باشد مقادیر ابتدا و انتها محدوده تغییرات احتمالی با توجه به عدم قطعیت در بار ما هستند. در واقع در عدم قطعیت همه چیز بر حسب تقریب می‌باشد و هیچ چیز قطعی نیست. پس علت اینکه ما در هر ساعت ۳ مقدار را با توجه به عضویت مثلثی از اعداد فازی داریم این است که در صورت افزایش و یا کاهش بار آمادگی لازم را برای نشان دادن واکنش و مانور لازم داشته باشیم.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول(۱): آرایش بهینه ساعتی با در نظر گرفتن تابع هدف تلفات و عدم قطعیت

آرایش بهینه					ساعت
۳۴	۲۷	۷	۱۷	۳۳	۱
۲۶	۶	۱۳	۳۲	۳۵	۲
۱۲	۲۷	۳۲	۶	۱۰-	۳
۲۷	۳۲	۳۴	۱۰-	۳۳	۴
۱۰-	۳۵	۷	۲۷	۳۱	۵
۳۱	۲۷	۷	۱۱	۱۴	۶
۳۶	۱۲	۷	۳۵	۲۷	۷
۶	۳۵	۳۲	۳۷	۱۱	۸
۷	۱۶	۱۰-	۸	۳۷	۹
۳۶	۱۰-	۱۳	۲۶	۷	۱۰-
۲۷	۶	۳۲	۱۴	۱۰-	۱۱
۲۸	۳۱	۱۲	۱۰-	۷	۱۲
۷	۹	۲۸	۸	۳۰-	۱۳
۳۴	۲۷	۱۴	۷	۳۵	۱۴
۳۱	۹	۲۸	۵	۳۵	۱۵
۳۰-	۱۰-	۱۴	۲۶	۳۳	۱۶
۳۵	۱۷	۹	۲۸	۳۳	۱۷
۳۵	۱۳	۲۷	۷	۳۰-	۱۸
۳۲	۹	۷	۳۷	۱۳	۱۹
۱۰-	۳۲	۳۷	۱۴	۲۰-	۲۰
۷	۳۲	۳۷	۱۴	۱۰-	۲۱
۲۴	۳۳	۳۴	۳۲	۸	۲۲
۶	۱۰-	۲۶	۳۱	۱۴	۲۳
۲۶	۷	۳۰-	۱۰-	۱۴	۲۴

جدول(۲): مقدار ریسک تلفات و ریسک ولتاژ با در نظر گرفتن تابع هدف تلفات و عدم قطعیت در بار

Rloss	RV	ساعت
۰.۰۵۸۷۳۹	۰	۱
۰.۱۶۳۴۵۴	۰	۲
۰.۰۶۶۲۶۲	۰.۳۴۹۱۷۵	۳
۰	۰	۴
۰.۱۲۷۷۰۵	۰	۵
۰.۰۰۰۹۷۵	۰.۸۶۲۳۲۱	۶
۰.۰۲۵۸۱۲	۱	۷
۰.۰۴۰۷۴۵	۰.۲۳۹۰۵۵	۸
۰.۰۱۵۷۶۴	۰.۴۲۰۹۸۸	۹
۰.۰۰۵۹۵۹	۰.۰۰۱۰۷۸	۱۰
۰.۰۰۴۷۲۹	۰.۰۵۷۸۷	۱۱
۰.۰۲۰۹۹۸	۱	۱۲
۰.۰۳۰۴۱۶۵	۱	۱۳
۰.۱۱۶۱۲۲	۰.۴۳۲۲۰۷	۱۴
۰.۶۷۳۹۵	۱	۱۵
۰.۰۴۸۰۵۱	۰	۱۶
۰.۱۸۱۵۱۲	۰	۱۷
۰.۲۶۴۲۶۱	۱	۱۸
۰.۰۰۵۵۲۱	۱	۱۹
۰.۷۴۴۷۶۵	۱	۲۰
۰	۱	۲۱
۰.۳۴۲۰۷۹	۱	۲۲
۰.۰۷۶۹۱۳	۰	۲۳
۰.۰۵۸۳۷۷	۰	۲۴

جدول (۳): مقادیر تلفات فازی

تلفات فازی			ساعت
۲۰۳۳.۰۸۲	۱۵۳۴.۹۰۶	۱۱۰۷.۲۴۶	۱
۳۱۱۹.۵۵۷	۲۳۵۴.۱۶۲	۱۶۹۷.۵۲۵	۲
۳۴۶۹.۰۳۶	۲۶۱۷.۷۳۷	۱۸۸۷.۴۶۹	۳
۳۶۷۲.۲۷۷	۲۷۷۱.۲۸۸	۱۹۹۸.۳۱۶	۴
۴۸۰۷.۸۹۸	۳۶۲۵.۶۴۱	۲۶۱۲.۴۸۵	۵
۱۲۰۴۲.۷۵	۹۰۷۱.۱۷۷	۶۵۲۸.۹۹۴	۶
۳۲۹۴۱.۶	۲۴۷۴۹.۸۵	۱۷۷۶۹.۰۱	۷
۷۷۵۱۲.۳۹	۵۷۹۹۱.۸۹	۴۱۴۶۵.۱۱	۸
۸۳۵۰۶.۰۹	۶۲۴۳۷.۶۴	۴۴۶۱۷.۷۱	۹
۸۷۶۳۹.۳۱	۶۵۵۶۲.۴۹	۴۶۸۷۳.۵۶	۱۰
۱۰۲۱۱۸.۳	۷۶۳۴۵.۸۱	۵۴۵۴۹.۴۹	۱۱
۱۲۱۴۲۸.۲	۹۰۵۱۵.۳۸	۶۴۴۹۵.۴۱	۱۲

تلفات فازی			ساعت
۱۶۴۲۱۲	۱۲۱۴۰۴.۶	۸۵۸۵۶.۶۳	۱۳
۸۱۷۰۶.۹۹	۶۱۰۷۹.۷۵	۴۳۶۳۸.۱۹	۱۴
۷۸۱۹۶.۶۷	۵۸۳۲۸.۴۹	۴۱۵۸۷.۳۹	۱۵
۴۲۹۰۱.۹۱	۳۲۱۸۸.۱۱	۲۳۰۷۷.۸۵	۱۶
۷۵۸۸۸.۴۷	۵۶۷۹۴.۸۷	۴۰۶۲۰.۹۸	۱۷
۱۰۳۸۳۰.۷	۷۷۲۸۷.۹۹	۵۴۹۹۸.۴۸	۱۸
۱۵۴۴۸۵.۳	۱۱۵۰۳۹.۱	۸۱۸۸۷.۷۵	۱۹
۳۱۲۸۹۰.۴	۲۳۰۴۱۱.۶	۱۶۲۳۱۴.۱	۲۰
۱۷۷۶۱۲	۱۳۲۲۹۵.۳	۹۴۱۹۳.۳۱	۲۱
۲۱۴۰۵۲.۴	۱۵۸۵۴۹.۲	۱۱۲۲۹۴.۳	۲۲
۵۲۲۹۰.۷۹	۳۹۱۹۶.۸۳	۲۸۰۷۸.۱۵	۲۳
۸۲۴۳.۵۹۴	۶۲۱۱.۳۳۵	۴۴۷۱.۹۵۳	۲۴

۶-۳- مطالعه با هدف بهبود پروفیل ولتاژ با عدم قطعیت بار

در این قسمت تنها مقادیر توابع هدف را جهت مقایسه با قسمت قبل و اینکه در این مطالعه نشان داده شود که هر کجا که هدف تلفات بوده ریسک تلفات کاهش یافته و هر کجا که هدف بهبود پروفیل ولتاژ بوده ریسک ولتاژ کاهش یافته و نتایج بهینه حاصل گردیده است. در جدول (۴) می‌توان بهبود در مقادیر ریسک ولتاژ را نسبت به قسمت ۶-۲ مشاهده کرد.

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]

جدول(۴): مقادیر توابع هدف ساعتی با در نظر گرفتن تابع هدف ولتاژ عدم قطعیت در بار

ساعت	RV	Rloss
۱۳	۱	۰.۹۷۷۵۷۸
۱۴	۰.۱۴۶۰۵۴	۰.۳۵۴۲۶۷
۱۵	۰.۹۳۶۴۱۲	۰.۳۶۰۶۹۲
۱۶	۰	۰.۲۸۲۰۶۱
۱۷	۱	۰.۲۶۰۴۰۳
۱۸	۰.۵۴۷۸۶۱	۰.۱۱۲۲۲۴
۱۹	۱	۰.۹۹۹۹۹۵
۲۰	۱	۱
۲۱	۱	۰.۹۹۶۲۳۸
۲۲	۱	۰.۰۰۰۸۵
۲۳	۰.۹۸۱۱۹۸	۰.۵۹۲۸۷۳
۲۴	۰	۰.۳۶۹۹۴۹

ساعت	RV	Rloss
۱	۰	۱
۲	۰	۱
۳	۰	۱
۴	۰	۱
۵	۰	۱
۶	۰	۰.۹۸۲۲۲۲
۷	۰	۰.۵۸۶۷۹۴
۸	۰.۶۵۵۵	۰.۴۱۲۷۹۵
۹	۰.۸۴۶۶۳۳	۰.۰۲۷۴۸۱
۱۰	۰.۱۱۸۵۹	۰.۰۲۰۳۷۷
۱۱	۰.۳۷۹۳۸۲	۰.۰۰۰۱۰۳
۱۲	۱	۰.۲۰۴۲۹۶

۶-۳- مقایسه نتایج با دیگر روش‌های پیاده‌سازی شده

در این بخش به منظور بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده در حل مسئله و همچنین صحت محاسبات، نتایج مطالعات با یک مرجع معتبر [۹] مقایسه می‌گردد. این مرجع از الگوریتم فاخته[۱۰](CSA) برای حل مسئله بازآرایی با اهداف مشابه مقاله حاضر ارائه داده است. از آنجا که در [۹] عدم قطعیت نیز در نظر گرفته نشده است، لذا مدل قطعی با در نظر گرفتن هر دو تابع هدف برای بار پایه (مقاله مورد نظر مسئله را برای بار پایه حل کرده است) حل می‌گردد. همچنین از آنجاکه مرجع [۹] ، تابع هدف تلفات و ولتاژ را به گونه‌ای دیگر نسبت به مطالعه حاضر در نظر گرفته است، لذا توابع هدف مرجع را در کدهای مربوطه جایگزین شده تا مقایسه به طور صحیح انجام گیرد. در قسمت بعد نتایج هر دو مطالعه را از دیدگاه توابع هدف به کار برده شده نیز مقایسه خواهیم کرد تا اثر بخشی توابع هدف پیشنهادی در این مقاله نشان داده شود. توابع هدف مرجع [۹] مطابق روابط (۲۸) و (۲۹) به ترتیب برای تلفات و ولتاژ به کار گرفته شده‌اند.

$$RV = max_i \left(\frac{V_1 - V_i}{V_1}\right) \quad (۲۸)$$

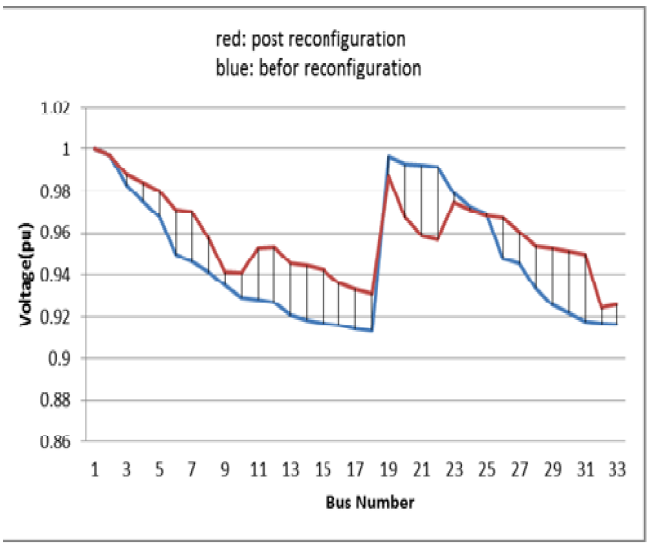
$$Rloss = \frac{loss}{loss_base} \quad (۲۹)$$

توجه شود که روابط فوق به لحاظ فنی یک ضعف بزرگ برای مرجع مذکور محسوب می‌شوند. چراکه به عنوان مثال اگر بعد از بازآرایی بدترین ولتاژ ۶۰٪ باشد که به هیچ عنوان قابل قبول نیست و تلفات ۱۰۰ کیلووات باشد که کاهش چشمگیری محسوب می‌گردد، ریسک مولفه ولتاژ از تلفات کمتر خواهد شد در حالیکه مقدار ولتاژ به هیچ عنوان قابل قبول نبوده ولی مقدار تلفات بسیار مطلوب است. در حالیکه رابطه ۳۰ که در قسمت بعد ارائه خواهد شد، برای ولتاژهای بزرگتر از ۹۵٪ که قابل قبول است، ریسک ولتاژ معادل صفر داده و برای ولتاژهای کمتر از ۹۵٪ تا مقدار ۹۰٪ ریسک ولتاژ از ۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر معادله به کار برده شده برای ولتاژهای پایین‌تر از ۹۰٪ حتی ریسک بالاتر از ۱۰۰ می‌دهد که منجر به خروج الگوریتم از آن حیطه می‌گردد. در جدول ۵ مقادیر ریسک ها و کمترین ولتاژ هر دو مطالعه از دیدگاه روش حل با یکدیگر مقایسه می‌شوند. همچنین در شکل ۹ پروفیل ولتاژ قبل و بعد از بازآرایی نیز نشان داده می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود کم ترین ولتاژ در شین ۱۸ می‌باشد که بعد از انجام بازآرایی مقدار ولتاژ در تمام شین‌ها بهبود می‌یابد.

جدول (۵): مقایسه روش‌های حل

روش حل	آرایش بهینه	ریسک ولتاژ٪	ریسک تلفات٪	ریسک فنی٪	کمترین ولتاژ(Pu)
مقاله	۳۱، ۸، ۳۴، ۳۷، ۷	۵.۹۲	۷۳.۶۰	۷۹.۵۲	۹۳.۰۸
مرجع	۷، ۹، ۱۴، ۳۷، ۳۲	۵.۷۶	۶۸.۱۸	۷۳.۹۴	۹۴.۲۳



شکل(۹): پروفیل ولتاژ شین‌های شبکه ۳۳ شینه

۶-۴- مقایسه نتایج از دیدگاه توابع هدف

با توجه به مطالبی که در خصوص کاربرد و تفاوت روابط مروبط به شاخص‌های تلفات و ولتاژ در قسمت قبل گفته شد در این قسمت نتایج حاصل از در نظر گرفتن توابع هدف مورد استفاده در مقاله حاضر را جهت توانمندی این مطالعه در جدول (۶) مشاهده می کنید. روابط مربوطه در زیر نوشته شده است:

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

$$RV = \begin{cases} (0.95 \\ 0 \end{cases}$$

(۳۰)

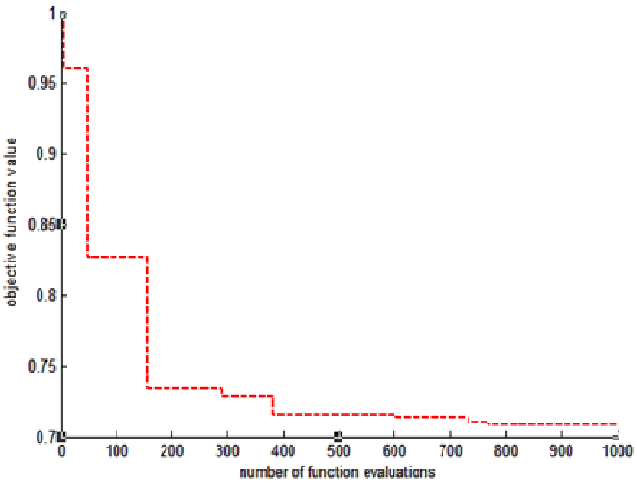
$$Rloss = \frac{loss - loss_base}{loss_base} \quad (۳۱)$$

جدول (۶): مقایسه مدل های توابع هدف ارائه شده

روش حل	آرایش بهینه	ریسک ولتاژ٪	ریسک تلفات٪	ریسک فنی٪	کمترین ولتاژ(Pu)	تلفات (kW)
مقاله	۳۴،۸،۳۱،۳۷،۷	۲۸،۴	۰	۲۸،۴	۹۳،۶۵	۱۴۰،۸۸
مرجع	۱۴،۹،۷،۳۲،۳۷	۳۴	۰	۳۴	۹۳،۲۸	۱۴۱،۶۶

در جدول (۶) مشاهده می‌شود که تلفات با استفاده از توابع هدف به کار رفته در این مقاله مقدار کم‌تری نسبت به مرجع [۹] دارد ، همچنین مقدار کم‌ترین ولتاژ شین ها نیز وضعیت بهتری نسبت به مرجع مورد مقایسه دارد.

همچنین روند همگرایی الگوریتم پیشنهادی برای حل این مسئله مطابق شکل (۱۰) ارائه شده است.



شکل(۱۰): روند همگرایی الگوریتم پیشنهادی

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از یک الگوریتم جدید فراابتکاری به نام ساقه و ریشه که در سال ۲۰۱۵ معرفی گردید مساله بازآرایی با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ بر روی شبکه ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی گردید. علاوه بر این در این مطالعه شاخص عدم قطعیت برای مواجه شدن با تغییرات ناگهانی بار در نظر گرفته شد که این شاخص به روش اعداد فازی با تابع عضویت مثلثی مدلسازی گردید. همچنین در قسمت های مختلف مساله به صورت جداگانه برای رسیدن به اهداف خود که کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ شین‌ها بود، پیاده‌سازی شد و نتایج هر کدام از قسمت‌ها بیانگر موفقیت الگوریتم و کارایی این روش در انجام این مساله بود. در ادامه نتایج حاصل از این مقاله با یک مرجع معتبر که همین مساله را با اهداف مشترک با الگوریتم فراابتکاری فاخته انجام داده بود از دو منظر مقایسه شد که قسمت اول از نظر روش‌های حل و قسمت دوم از نظر توابع هدف ارائه شد. در مقایسه روش‌ها حل نتایج بسیار نزدیک به هم به دست آمد اما در بخش مقایسه توابع هدف به کار برده شده مشاهده شد که مقدار تلفات و کمترین ولتاژ شین‌ها در مقاله حاضر نسبت به مرجع مورد نظر بهینه‌تر بوده و اثربخشی این توابع هدف را آشکار ساخت.

مراجع

[1] A. Merlin and H. Back, "Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in Urban Power Distribution Systems", Proc. Of the Fifth Power Systems Con., Cambridge, U.K., pp. 1-18,(1975)

[2] S.Civanlar, J.J.Grainger, H.Yin, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.3, July (1988).

[3] D.Shirmohammadi, H.W.Hong, "Reconfiguration of Electric Distribution Networks For Resistive Line Losses Reduction",IEEE Transaction on Power Delivery,Vol.4,No.2,April (1989).

[4] M.E.Baran, F.F.Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reconfiguration and Load Balancing", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2, April (1989).

[5] B.Enacheanu, B.Raison, R.Caire, "Radial Network Reconfiguration using Genetic Algorithm Based on the Matroid Theory", IEEE Transactions Systems, Vol.23, No.1, February (2008).

[6] T.Thanh Nguyen, A.Viet Truong, " Distribution Network Reconfiguration for Power Loss Minimization and Voltage Profile Improvment using Cuckoo Search Algorithm", Electrical Power and Energy Systems: Elsevier, pp.233-242, 68(2015).

[7] A.Kavousi-Fard, T.Niknam, "Multi-Objective Stochastic Distribution Feeder Reconfiguration from the RelibilityPoit of View" Energy: Elsevier, pp.342-354, 64(2014).

[8] S.Sultana, P.KumarRoy,"Oppositional Krill Herd Algorithm for Optimal Location of Capacitor with Reconfiguration in Radial Distribution System ", Electrical Power and Energy Systems: Elsevier, pp.78-90, 74(2016).

[9] R.SrinivasaRao, K.Ravindra, K.Satish, V.L.Narasimham," Power Loss Minimization in Distribution System using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation ", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.28, No.1, February (2013).

[10] K.Sathish Kumar, T.Jayabarathi, "Power System Reconfiguration and Loss Minimization for a Distribution Systems using bacterial Foraging Optimization Algorithm", Electrical Power and Energy Systems: Elsevier, pp.13-17, 36(2012).

[11] A.Y.Abdelaziz, F.M.Mohamed, S.F.Mekhamer, M.A.L.Badr, "Distribution System Reconfiguration using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm"Electric Power Systems Research: Elsevier, pp.1521-1530, 79(2009).

[12] F.Merrikh-Bayat, " The runner-root algorithm: A metaheuristic for solving unimodal andmultimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature", Applied Soft Computing, April (2015).

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]

رزومه



محمد جودکی در دزفول متولد شده است (۱۳۶۹). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول(۱۳۹۲)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول(۱۳۹۵) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه شبکه‌های هوشمند، روش‌های بهینه‌سازی و بهره‌برداری از سیستم-های قدرت است .



افشین لشکرآرا در سال(۱۳۵۲) در تهران متولد شد. مدارک کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سال‌های (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و(۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق- قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک آمریکا(IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، شبکه‌های هوشمند، بهینه سازی، پایداری و کنترل سیستم‌های قدرت و ادوات FACTS می‌باشد.

زیر نویس‌ها

[1] **Reconfiguration**
[2] **Runner**
[3] **Root**
[4] **Uncertainty**
[5] **Fuzzy Numbers**
[6] **Backward-Forward**
[7] **Bus Injection to Bus Current**
[8] **Branch Current to Bus Voltage**
[9] **Runner-Root Algorithm**
[10] **Cockoo Search Algorithm**

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 1-spring & summer 2014

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.1.4.0]