

الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان با حضور منابع تولید پراکنده در مسأله تجدید آرایش

فاضل عباسی^۱، مهدی بانژاد^۲، رحمت الله هوشمند^۳ و فتاح حسنزاده^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی شاهرود- شاهرود- ایران

Fazel.abbasi.7@gmail.com

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شاهرود- شاهرود - ایران

M.banejad@shahroodut.ac.ir

۳- استاد، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه اصفهان- اصفهان - ایران

Hooshmand_r@eng.ui.ac.ir

۴- کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی شاهرود- شاهرود- ایران

Fatahhasanzadeh1@gmail.com

چکیده: تجدید آرایش یا بازآرایی یکی از راه‌های کم‌هزینه و آسان برای بهره‌برداری بهتر از شبکه‌های توزیع است. در مسائل بازآرایی همواره آرایش‌های مختلفی ارزیابی می‌شوند. بنابراین، الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان باید بگونه‌ای نوشته شود که عمومیت داشته باشد و برای همه آرایش‌ها قابل استفاده باشد. در این مقاله، ابتدا کوشش شده است با استفاده از روش تحلیلی، نحوه محاسبه قابلیت اطمینان در حضور منابع تولید پراکنده (با تولید پیوسته توان) و در مسائل تجدید آرایش تشریح شود. سپس، مسأله بازآرایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، که بر اساس روش جدید لبه پنجره کدگذاری شده است، بر روی سیستم ۳۳ باسه (Baran) در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است. توابع هدف این مسأله بهینه‌سازی چندهدفه، انرژی تغذیه نشده و تلفات توان اکتیو است. در انتها نتایج شبیه‌سازی آورده شده است.

واژه‌های کلیدی: تجدید آرایش، تولید پراکنده، الگوریتم ژنتیک بر اساس کدگذاری لبه پنجره، انرژی تغذیه نشده

۱- مقدمه

قرار می‌گیرند و در نتیجه تلفات و قابلیت اطمینان شبکه نیز تغییر می‌کند. بنابراین، هنگامی که در شبکه‌های توزیع DG وجود دارد، برای عملکرد بهتر شبکه باید دوباره تجدید آرایش انجام شود تا بهترین آرایش برای شرایط جدید به دست آید. به باز و بسته کردن یکسری از کلیدهای شبکه توزیع به منظور انجام هدفی خاص (رفع عیب، بهبود قابلیت اطمینان، تعدیل بار، کاهش تلفات و...) که به تغییر در مسیر تغذیه برخی بارهای سیستم منجر می‌شود تجدید آرایش می‌گویند. دو نوع روش کلی برای حل مسأله تجدید آرایش وجود دارد. روش اول، روش‌های ریاضی (قطعی) است که بسیار جدید هستند و معادلات آن‌ها فقط برای حالت ساده‌ای از بازآرایی یعنی بازآرایی با هدف کاهش تلفات استخراج شده است و مدل‌سازی آن برای اهداف

با توجه به رشد روزافزون استفاده از منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه‌های توزیع، پژوهش و بررسی در مورد این منابع و آثاری که بر شبکه توزیع می‌گذارند، به یکی از دغدغه‌های اصلی بهره‌برداران و برنامه‌ریزان شبکه‌های توزیع تبدیل شده است. وقتی DG وارد شبکه توزیع می‌شود نحوه بارگذاری خطوط و ولتاژ باس‌ها تحت تأثیر

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

نام نویسنده مسؤول: مهدی بانژاد

نشانی نویسنده مسؤول: ایران - شاهرود - دانشگاه شاهرود - دانشکده برق

هدف هزینه جابه‌جایی فازها، هزینه تلفات، شاخص نامتعادلی شبکه و جریان نقطه خنثی مینیمم می‌شود. به مرور زمان نسخه‌های جدیدتری از الگوریتم ژنتیک (GA) انتشار یافت. در [۱۰] از روش میکروژنتیک برای حل مسأله چندهدفه بازآرایی بدون حضور DG، استفاده شد و در آن تلفات توان در چند مرحله به طور دو به دو به همراه یکی از شاخص‌های قابلیت اطمینان همزمان بهبود بخشیده شد و نقاطی با عنوان پارتوفرانانت به عنوان آرایش‌های بهینه به دست آمد. در [۱۱] با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبودیافته قابلیت اطمینان و تلفات توان اکتیو در مسأله تجدید آرایش بهینه می‌شود. در [۱۲] یکی از جدیدترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌های تجدید آرایش، یعنی الگوریتم ژنتیک توسعه یافته بر اساس روش کدگذاری لبه پنجره، برای حل و تشریح یک مسأله ساده بازآرایی تک‌هدفه استفاده شده است.

مرجع [۱۳] به تحلیل قابلیت اطمینان در حضور DGها پرداخته است اما نحوه محاسبه قابلیت اطمینان به وضوح ارائه نشده است. همچنین، در شبکه مورد بررسی آن‌ها، تنها یک تجهیز قطع‌کننده خطا، آن هم در ابتدای فیدر حضور دارد که حالت بسیار ساده‌ای از شبکه توزیع است. تاکنون تجدید آرایش در حضور DG و با هدف بهبود قابلیت اطمینان و با در نظر گرفتن تغذیه پیوسته DG، چه در وضعیت نرمال و چه در وضعیت خطادار، بررسی نشده است. از این رو در این مقاله، ضمن ارائه فرمول‌های جدید برای محاسبه قابلیت اطمینان در حضور DG، با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس روش کدگذاری لبه پنجره، انرژی تغذیه نشده (ENS) و تلفات به طور همزمان در مدت برنامه‌ریزی یک ساله برای شبکه توزیع ۳۳ باسه، که دارای تجهیزات حفاظتی مختلف و متعدد در بخش‌های مختلف آن است، کاهش داده می‌شود. ادامه مقاله به شکل زیر سازماندهی شده است. در بخش بعد فرمول‌بندی مسأله و توابع هدف بررسی می‌شود. بخش ۳ الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان را به طور کامل توضیح می‌دهد و در نهایت،

دیگری مانند بهبود قابلیت اطمینان کار بسیار دشواری است. ابتدا مسأله بازآرایی را به شکل یک مسأله محدب در می‌آورند و سپس، آن را به روش‌های لاگرانژ و... حل می‌کنند. از مزایای روش‌های ریاضی این است که جوابی که در پایان به دست می‌آید یک مینیمم یا ماکزیمم مطلق است. روش دوم که در این مقاله استفاده شده است، روش‌های ابتکاری (احتمالی) هستند که ابتدا آرایش‌های مختلفی را برای بهبود خود در هر مرحله تولید می‌کنند، سپس آرایش‌های مورد قبول را از آرایش‌هایی که نادرستند تشخیص می‌دهد و در انتها هدف مورد نظر ما را (برای مثال قابلیت اطمینان شبکه، تلفات و...) برای هر آرایش محاسبه می‌کند. نخستین کسانی که به سراغ حل مسأله تجدید آرایش رفتند آقایان Merlin و Back بودند [۱]. در روش آن‌ها ابتدا فرض شده است که تمام سوئیچ‌ها بسته است و شبکه توزیع در وضعیتی می‌باشد که دارای حلقه است. سپس، بر اساس استراتژی خاصی شاخه‌ها یکی یکی باز می‌شوند و در هر مرحله تلفات شبکه بهبود بخشیده می‌شود. آقای Baran و Wu نیز از روش باز کردن کلیدها استفاده کردند. آن‌ها ابتدا همه کلیدها را بسته در نظر گرفتند و سپس با انجام پخش بار، حلقه‌ای که دارای بیش‌ترین تلفات باشد انتخاب و باز می‌شود. این روند تا باز شدن آخرین کلید از آخرین حلقه موجود ادامه می‌یابد تا به بهترین آرایش منجر شود [۲]. کار Merlin و Back به وسیله آقای شیرمحمدی و Hong در [۳] بهبود داده شد. بعدها از روش‌های فراابتکاری، که از طبیعت الهام می‌گیرند، در حل مسأله بازآرایی استفاده شد. نویسندگان [۴] نخستین کسانی بودند که از الگوریتم ژنتیک (GA) برای حل مسأله بازآرایی استفاده کردند. در [۵-۸] به ترتیب از روش‌های فراابتکاری کلونی مورچگان، جست‌وجوی تابو، ذرات تجمعی (PSO) و بهینه‌سازی باینری ذرات تجمعی (BPSO) استفاده شده است. در [۹] آقایان هوشمند و سلطانی از روش ترکیبی BF-NM برای حل همزمان تجدید آرایش و متعادل‌سازی فازها استفاده کردند که در آن چهار

بنابراین، با توجه به توابع هدف و قیود بهره‌برداری، تابع برازندگی مطابق با رابطه ۴ می‌شود که در آن L_1 و L_2 ضرایب جریمه برای خروج از قید هستند و مقدارشان در این مقاله برابر ۲۵۰۰۰ است. این عدد با استفاده از روش سعی و خطا به دست آمده است به گونه‌ای که ضرایب جریمه بزرگتر از این مقدار تغییری در جواب ایجاد نمی‌کند.

$$F = ENS + P + L_1 N(V) + L_2 N(I) \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، $N(V)$ بیانگر تعداد گره‌هایی است که ولتاژ آن‌ها خارج از محدوده مجاز است و $N(I)$ تعداد خطوطی است که جریان در آن‌ها از حد مجاز بیشتر شده است. طبق این رابطه چنانچه قیدی برآورده نشود در ضرایب جریمه ضرب می‌شود و تابع برازندگی را افزایش می‌دهد. بیان این نکته ضروری است که با توجه به کدگذاری لبه پنجره [۱۲]، نحوه اجرای GA را می‌توان به گونه‌ای نوشت که همواره جواب‌های شعاعی تولید شود. بنابراین، نیازی نیست که قید شعاعی بودن شبکه در تابع برازندگی مدل شود.

۳- محاسبه قابلیت اطمینان

برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع در مقالات و کتاب‌های علمی هم از روش شبیه‌سازی Monte Carlo و هم از روش تحلیلی، استفاده شده است. اما روش تحلیلی به علت سادگی روش و این که زمان کمتری نیاز دارد، برای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. شرایط در شبکه‌های توزیع شعاعی ایجاب می‌کند که برای تغذیه گره‌های پایین‌دستی در هر شاخه از شبکه، بخش بالادست شاخه سالم باشد. به عبارت دیگر شبکه‌های شعاعی همانند سیستم‌های سری رفتار می‌کنند. شاخص‌های اساسی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع شامل موارد زیر می‌شود: متوسط نرخ خرابی λ_s با واحد (fault/year)، متوسط زمان خاموشی r_s با واحد (hour/fault) و متوسط زمان خاموشی سالانه U_s با واحد (hour/year). روابط بین ۳ شاخص بالا در رابطه (۵) آورده

نتایج عددی و نتیجه‌گیری در بخش ۴ و ۵ آورده شده است.

۲- فرمول‌بندی مسأله

مسأله تجدید آرایش در این مقاله، در قالب یک مسأله برنامه‌ریزی ارایه شده است که مدت زمان برنامه‌ریزی در آن یک سال است. همچنین، مسأله تجدید آرایش در حضور DG و در شبکه توزیع شعاعی متعادل، با هدف حداقل کردن تلفات اهمی شبکه و حداقل کردن ENS انجام می‌شود:

$$P_{\text{losses}} = \sum_{i=1}^L 3R_i I_i^2 \quad (۱)$$

$$\begin{cases} ENS = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i \\ U_i = \sum_{j=1}^L \lambda_j \cdot r_j \end{cases} \quad (۲)$$

در معادله (۱)، R ، I و L به ترتیب مقاوت خط، جریان خط و تعداد خطوط است. همچنین، شاخص‌های P ، U ، N ، λ و r در رابطه (۲) به ترتیب بیانگر توان اکتیو گره، دسترس‌ناپذیری گره، تعداد گره‌های شبکه، نرخ خروج خط و زمان خاموشی گره i است. زمان خاموشی گره به محل خط بستگی دارد و ممکن است برابر صفر (هنگامی که خطا تأثیری بر گره ندارد)، زمان مانور و یا زمان تعمیر باشد. قیود بهره‌برداری برای مسأله به شکل زیر است:

- حفظ توپولوژی شعاعی شبکه توزیع؛
- محدوده مجاز برای ولتاژ باس‌ها ($0.95 \leq V_i \leq 1.05$ پریونیت)؛
- محدوده مجاز برای جریان خطوط ($I_i \leq I_{i \max}$).

واحد تلفات و ENS به ترتیب کیلووات و کیلووات ساعت بر سال است. بنابراین، توابع هدف یاد شده از یک جنس نیستند و نمی‌توان آن‌ها را به طور مستقیم با هم جمع کرد. طبق رابطه (۳) اگر مقدار تلفات را در ۸۷۶۰ که برابر تعداد ساعات سالانه است ضرب کنیم آن‌گاه دو تابع هدف هم‌واحد می‌شوند و به راحتی قابل جمع شدن می‌شوند.

$$P = P_{\text{losses}} \times 8760 \Rightarrow \text{KW} \times \text{h} / \text{yr} = \text{KWh} / \text{yr} \quad (۳)$$

شده است. هر چند این شاخص‌ها مهم هستند اما آن‌ها به طور کامل رفتار سیستم را ارزیابی نمی‌کنند. در نتیجه شاخص‌های تکمیلی دیگری برای ارزیابی دقیق‌تر شبکه‌های توزیع معرفی شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ENS است.

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = \lambda_s r_s \quad (5)$$

۳-۱- مفروضات محاسبه قابلیت اطمینان

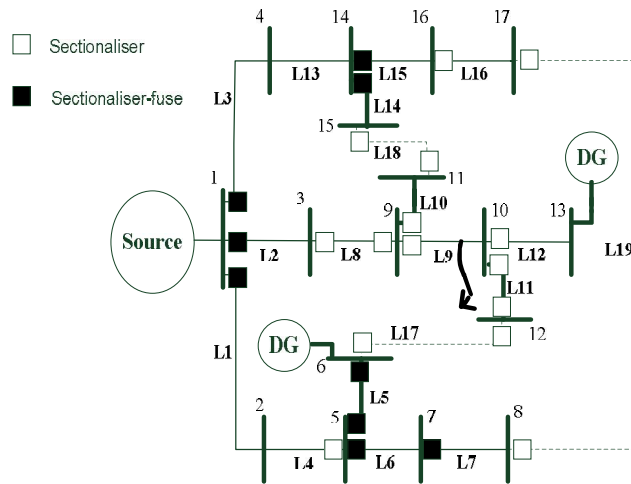
برای شفاف‌تر شدن محاسبه قابلیت اطمینان لازم است فرض‌های زیر در نظر گرفته شود:

۱- خرابی‌ها تنها به خطوط مربوط می‌شود و خطوط از مدل دو حالت وصل/قطع پیروی می‌کند. همچنین، خرابی‌ها از هم مستقل‌اند. ۲- تجهیزات حفاظتی عملکرد درستی دارند و خطا در سیستم با ساختار شعاعی توسط نزدیک‌ترین دستگاه حفاظتی اضافه جریان در سمت منبع قطع می‌شود. ۳- وقتی خطایی در بخشی از شبکه رخ می‌دهد و در پایین دست خطا DG وجود دارد، طبق استاندارد IEEE 1547، DG از شبکه قطع می‌شود. اما فرض می‌شود که DG قابلیت تغذیه همه یا بخشی از بار متصل به باسی که به آن وصل است را دارد، هرچند از شبکه و فیدر قطع شده است و قادر به تغذیه باس‌های دیگر نیست. در این حالت به علت اینکه DG بار را به شکل محلی تغذیه می‌کند تلفات ناچیز است و می‌توان از تلفات مربوط به تغذیه بار محلی صرفه‌نظر کرد. ۴- فرض می‌شود که بارهای مشترکین هر باس، کنترل‌پذیرند و قابلیت قطع و وصل شدن دارند در این حالت چنانچه توان DG بیشتر از توان بار مصرفی باشد، تمام بار مصرفی توسط DG تغذیه می‌شود. اما اگر توان DG از توان بار مصرفی باسبار کمتر باشد بارزدایی انجام می‌شود و با بارزدایی ضمن تغذیه بخشی از توان باسبار، کیفیت توان را هم می‌توان در حد

استاندارد نگه داشت.

بیشتر خطاهایی که در شبکه توزیع رخ می‌دهد از نوع خطاهای گذرا هستند که در این حالت ریکلوزر عمل کرده و سیستم به حالت عادی باز می‌گردد. اما اگر خطا گذرا نباشد بخشی که دارای خرابی است ایزوله می‌شود و گره‌های موجود در این بخش تا زمانی که تعمیرات تمام نشود بی‌برق خواهند ماند و بخش‌های دیگر شبکه هم بعد از عملیات مانور بازیابی می‌شوند.

با توجه به شکل (۱)، که سیستم Civanlar را با DG‌های متصل به باس‌های ۶ و ۱۳ نشان می‌دهد، وضعیت‌های مختلفی که برای گره‌های شبکه به علت وقوع خطا در خط ۹ پیش می‌آید تشریح می‌شود. در این شبکه دو نوع تجهیز حفاظتی وجود دارد که تنها-sectionaliser fuseها قابلیت قطع جریان خطا را دارند. این خطا سبب می‌شود تا نزدیک‌ترین تجهیز حفاظتی اضافه جریان از طرف منبع، یعنی فیوزی که در خط ۲ وصل است، عمل کند و باعث قطعی کل بارهای پایین دست شاخه ۲ شود. در این حالت DG از شبکه قطع می‌شود، اما باری که به گره ۱۳ وصل است را تا جایی که توان DG اجازه دهد همچنان تغذیه می‌کند. بنابراین، تمام گره‌ها به جز گره‌های ۳، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ جزو گره‌هایی هستند که خطا بر آن‌ها هیچ تأثیری ندارد. بعد از مدتی سکسیونر خط ۹ و سکسیونرهایی که در ابتدای خط ۱۱ و ۱۲ قرار دارد باز می‌شود و سپس، فیوز خط ۲ بعد از تعمیر دوباره وصل می‌شود و باعث می‌شود بعضی از گره‌ها مانند گره‌های ۳، ۹ و ۱۱ بازیابی شوند. همچنین گره ۱۲ نیز بعد از مدتی با عملیات مانور یعنی وصل کردن خط ۱۷، از طریق شاخه دیگر شبکه تغذیه می‌شود. گره ۱۰ هم تا زمان تعمیر باید بدون برق بماند.

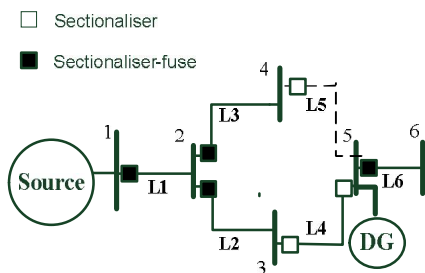


شکل (۱): سیستم Civanlar در حین خطا

(L) و شماره گره‌ها (بردارهای N) و همین طور کدحفاظتی (بردارهای P) مربوط به هر شاخه است. برای مثال برای شبکه شکل (۲) که از دو شاخه تشکیل شده است بردارهای بالا به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$L_1 = [1 \text{ و } 3] \quad N_1 = [1 \text{ و } 2 \text{ و } 4] \quad P_1 = [4 \text{ و } 4]$$

$$L_2 = [1 \text{ و } 2 \text{ و } 4 \text{ و } 6] \quad N_2 = [1 \text{ و } 2 \text{ و } 3 \text{ و } 5 \text{ و } 6] \quad P_2 = [4 \text{ و } 3 \text{ و } 4]$$



شکل (۲): سیستم آزمون نمونه

جدول (۱): اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه الف. توان و تعداد مشترکین در گره انتهای خط

| خط | گره | λ (f/yr) | تعداد مشترکین الف | KW-KVAr الف |
|----------------|-----|---------------------|-------------------|-------------|
| L ₁ | ۱-۲ | ۰/۲ | ۲۸ | ۸۰۰-۳۰۰ |
| L ₂ | ۲-۳ | ۰/۳ | ۲۰ | ۶۰۰-۲۵۰ |
| L ₃ | ۲-۴ | ۰/۲ | ۴۵ | ۱۰۰۰-۴۰۰ |
| L ₄ | ۳-۵ | ۰/۱ | ۲۵ | ۷۵۰-۳۰۰ |
| L ₆ | ۵-۶ | ۰/۲ | ۲۲ | ۴۰۰-۱۵۰ |
| L ₅ | ۴-۵ | ۰/۱ | | |

۳-۲- محاسبه ENS

از آن‌جا که محاسبه ENS برای مسأله تجدید آرایش بخ کار می‌رود، الگوریتم باید عمومیت داشته باشد و قادر باشد ENS را برای همه آرایش‌ها محاسبه کند. برای این کار نیاز است که ابتدا گره‌ها و شاخه‌های درخت فراگیر هر آرایش پیدا شود. نحوه محاسبه ENS با توجه به شبکه توزیع نمونه شکل (۲) توضیح داده خواهد شد.

اطلاعات مربوط به سیستم آزمون نمونه در جدول (۱) آورده شده است. همچنین، یک DG در باس ۵ وجود دارد که قابلیت تولید توان ۵۰۰ کیلو ولت آمپر را دارد. زمان تعمیر و زمان مانور و کلیدزنی برای خطایی که رخ می‌دهد به ترتیب ۶۰ و ۳۰ دقیقه فرض شده است.

ادوات حفاظتی در محاسبه ENS نقش مؤثری دارند. بنابراین، باید تأثیر نوع و مکان این تجهیزات در الگوریتم آورده شود. از این رو به هر خط از نظر نوع و مکان تجهیز حفاظتی یک عددی نسبت داده می‌شود که در جدول (۲) آورده شده است. در جدول (۲) منظور از ابتدای خط یعنی آن طرفی از خط که سمت منبع اصلی است و انتهای خط طرفی است که سمت منبع اصلی نیست. برای مثال برای شبکه توزیع نمونه شکل (۲) کدگذاری به شکل جدول (۳) می‌شود.

برای محاسبه ENS ابتدا باید شاخه‌های هر آرایش به دست آورده شود. منظور از شاخه، شماره خطوط (بردارهای

L_i قرار دارند پیدا می‌شوند. این گره‌ها، جزو گره‌هایی هستند که تحت تأثیر خطا قرار می‌گیرند و باید تا زمان تعمیر یا زمان عملیات مانور بدون برق باشند. این گره‌ها در برداری مثلاً A ذخیره می‌شوند.

۳- اکنون با استفاده از بردار P ، خط خطادار یعنی L_i از دو طرف برای تعمیر ایزوله می‌شود و گره‌هایی که باید تا زمان تعمیر بی‌برق باشند، در هر شاخه مشخص می‌شود. این گره‌ها در بردار B ذخیره می‌شوند.

۴- در هر شاخه‌ای که خط L_i در آن‌ها وجود دارد، با استفاده از بردار N مربوط به آن شاخه، از خط L_i به پایین دست می‌آییم و همه گره‌ها را تا زمانی که به یکی از گره‌های B برسیم در برداری مثلاً C ذخیره می‌کنیم. این گره‌ها جزو گره‌هایی هستند که بر اثر کلیدزنی و بدون استفاده از بستن $Tie-switch$ ، توسط شاخه خودش برق‌دار می‌شوند.

۵- تمام گره‌هایی که تحت تأثیر خطا قرار گرفتند، یعنی در A قرار دارند، به جز گره‌های B و C ، جزو گره‌هایی هستند که باید از طریق $Tie-switch$ ‌ها و گره‌هایی که دچار قطعی نشده‌اند و خطا بر آن‌ها تأثیری ندارد، تغذیه شوند. بیان این نکته ضروری است که اگر بر اثر خطایی، هیچ گره برق‌داری وجود نداشته باشد تا از طریق یک $Tie-switch$ گره‌های بی‌برق را تغذیه کند، آن‌گاه گره‌های بدون برق باید تا زمان تعمیر بدون برق باشند. این حالت وقتی خط شماره یک در شبکه توزیع نمونه قطع شود رخ می‌دهد.

۶- برای همه گره‌ها، نرخ خروج خط L_i در مدت زمان خاموشی T مربوط به آن گره (که می‌تواند یا صفر و یا زمان تعمیر و یا زمان مانور باشد) ضرب می‌شود تا U هر گره به ازای این پیشامد (خروج خط L_i) به دست آید. این مقادیر در یک برداری مثلاً $Unavailability$ ذخیره می‌شود.

روند بالا به ازای وقوع خطا در همه خطوط انجام می‌شود. در این مرحله مدت زمان خاموشی سالیانه برای هر

جدول (۲): کدگذاری خطوط از نظر تجهیزات حفاظتی

| کد | مکان | نوع |
|----|----------------------------|--|
| ۰ | هیچ تجهیز وجود نداشته باشد | |
| ۱ | ابتدای خط | هر تجهیز که قابلیت قطع جریان خطا را ندارد اما قابلیت قطع و وصل خطوط باردار را دارد مانند سکسیونرها |
| ۲ | انتهای خط | |
| ۳ | هر دو طرف | |
| ۴ | ابتدای خط | هر تجهیز که قابلیت قطع جریان خطا را دارد مانند کلیدها و sectionaliser-fuse |
| ۵ | انتهای خط | |
| ۶ | هر دو طرف | |

جدول (۳): کد حفاظتی خطوط شبکه شکل ۲

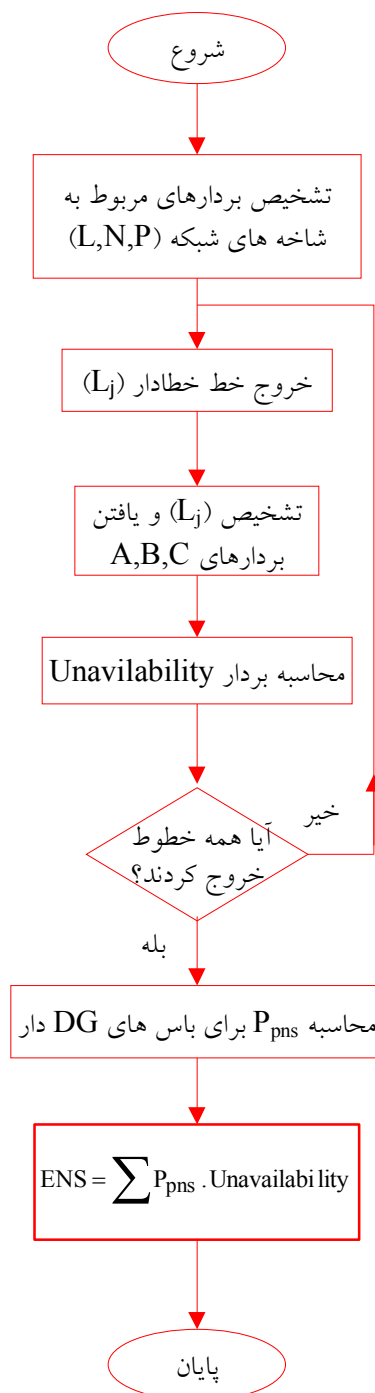
| شماره خط | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 | L_5 | L_6 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| کد | ۴ | ۴ | ۴ | ۳ | ۱ | ۴ |

پس از تشخیص بردارهای مربوط به شاخه‌های شبکه، تمام خطوطی که در شبکه وصل هستند، با فرض وقوع خطا یکی یکی قطع می‌شوند و برای هر کدام از آن‌ها مراحل زیر انجام می‌شود:

۱- ابتدا تشخیص می‌دهیم خط خطادار L_i در کدام شاخه قرار دارد.

۲- در یکی از شاخه‌هایی که این خط در آن قرار دارد با استفاده از بردار P مربوط به آن شاخه، خطی که در بالادست خط L_i قرار دارد و قابلیت قطع جریان خطا را دارد، پیدا می‌شود (مثلاً خط L_i). این خط باید یکی از کدهای ۴، ۵ یا ۶ را داشته باشد. اکنون با استفاده از بردارهای L_i مشخص می‌شود که خط L_i در کدام شاخه‌ها قرار دارد این شاخه‌ها، در واقع شاخه‌هایی هستند که در اثر خطا تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. سپس، توسط بردارهای N متناظر با شاخه‌های متأثر از خطا، گره‌هایی که بالاتر از خط

جدول منظور از P_{pns} توان تأمین نشده در باس است. این مقدار برای باس ۵ که به DG وصل است طبق روابط (۶) تا (۸) برابر ۳۰۰ کیلووات است. مقدار کل ENS شبکه از مجموع ENS هر گره به دست می‌آید که برابر KWh/yr ۱۲۵۰ است.



شکل (۳): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

گره از طریق جمع U های مربوط به هر گره به ازای پیشامدهای مختلف، که در بردار Unavailability ذخیره شده است، به دست می‌آید.

۷- اکنون برای گره‌هایی که در پایین دست خط L_j قرار دارند و به آن‌ها DG وصل است باید محاسبه شود که چه مقدار از بار این باس‌ها توسط DG تأمین می‌شود یا به عبارت دیگر چقدر از بار باس تأمین نمی‌شود. مقدار توان تأمین نشده توسط روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{P_i}{N_c} \quad (6)$$

مصرف‌کننده

تعداد مشترکینی که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شوند.

$$n_c = \left\lceil \frac{S_{DG} \times \cos \varphi}{P} \right\rceil \quad (7)$$

= بار اکتیوی که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شود

$$P_c = P \times n_c \quad (8)$$

در روابط بالا P_i توان اکتیو، $\cos \varphi$ ضریب قدرت بار الکتریکی باس، N_c تعداد مشترکین متصل به باس دارای DG و S_{DG} توان ظاهری DG است. بنابراین، مقدار باری که تغذیه نشده است برابر $P_{pns} = P_i - P_c$ است. بدیهی است که اگر توان DG بیشتر از بار مصرفی باس باشد آنگاه کل بار توسط DG تأمین می‌شود و نیازی به محاسبات بالا نیست.

۸- در آخرین گام برای تمام گره‌ها، U هر گره را در مقدار بار تأمین نشده ضرب می‌کنیم تا ENS مربوط به هر گره به دست آید. بعد از آن که ENS برای همه گره‌ها به دست آمد، با هم جمع می‌شوند و انرژی تغذیه نشده برای کل شبکه محاسبه می‌شود.

فلوچارت الگوریتم بالا در شکل (۳) آورده شده است. جدول (۴) نتایج محاسبه ENS را به ازای خروج هر خط و برای کل شبکه توزیع نمونه شکل (۲) نشان می‌دهد. در این

و ولتاژ ۱۱ باس هم از محدوده مجاز پایین تر است.

الگوریتم ژنتیک بر اساس کدگذاری لبه پنجره نخستین بار در [۱۲] ارائه شد. انتخاب مناسب استراتژی کدگذاری و عملگرهای ژنتیک، از فاکتورهای کلیدی برای حل کارآمد مسأله تجدید آرایش است. به طور کلی یک جمعیت با پراکندگی بالا به منظور دوری از همگرایی بی‌موقع و بهینه محلی مهم است. این ویژگی شدیداً به استراتژی کدگذاری و عملگرهای ژنتیک وابسته می‌شود. کدگذاری لبه پنجره، شعاعی بودن جمعیت اولیه را تضمین می‌کند و باعث آسان شدن فرایند تکاملی می‌شود. همچنین، این روش بسیار قابل فهم است و عملگرهای برش و جهش با استفاده از این روش بسیار ساده انجام می‌گیرد. روند تشکیل جمعیت اولیه به این شکل است که ابتدا با فرض وصل بودن همه خطوط، از نخستین گره فیدر شروع کرده و مسیرهای متفاوتی به صورت تصادفی طی می‌شود به شکلی که همه گره‌ها حداقل یک بار طی شوند. با این کار رشته‌های مربوط به درخت‌های فراگیر ساخته می‌شود. سپس، با استفاده از لبه پنجره درخت‌های فراگیر از آن رشته‌ها استخراج می‌شود. P_c نرخ برش و P_m نرخ جهش است و هرگاه مقدار عدد تصادفی از آن‌ها کمتر بود عمل برش یا جهش انجام می‌شود. طبق این روش، فرآیند تولید فرزند توسط عملگرهای برش و جهش بگونه‌ای انجام می‌شود که فرزند به شکل شعاعی تولید می‌شود. P_c ، P_m و تعداد جمعیت اولیه در این شبیه‌سازی به ترتیب برابر $0/7$ ، $0/7$ و 15 است. مقدار زیاد P_m به نوع کدگذاری مربوط می‌شود، این مقدار در [۱۲] برابر $0/8$ گرفته شده است.

شکل (۴) روند رسیدن به جواب بهینه را در طول ۷۵ تکرار نشان می‌دهد که مدت زمان اجرای الگوریتم در این ۷۵ تکرار ۷۰ ثانیه طول می‌کشد. در این شکل نمودار بهترین تابع برازندگی و میانگین برازندگی کروموزوم‌ها، در هر تکرار آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد تکرار، مقدار میانگین و مقدار بهینه به سرعت رو به کاهش می‌روند به گونه‌ای که در تکرار دوازدهم مقدار بهینه به دست آمده است.

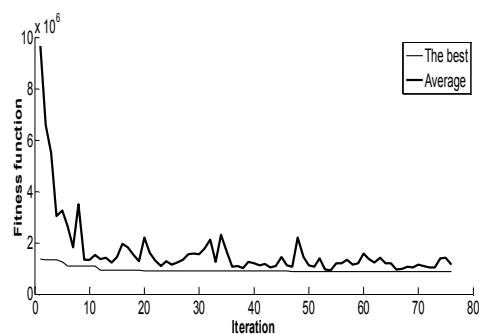
جدول (۴): نتایج مربوط به محاسبه ENS شبکه شکل ۲

| شماره باس | پیشامد | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 | L_6 | کل |
|-----------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| ۲ | λ | $0/2$ | $0/3$ | $0/2$ | $0/1$ | $0/2$ | ۱ |
| | r | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | $0/2$ |
| | U | $0/2$ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | $0/2$ |
| | P_{pns} | ۸۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸۰۰ |
| | ENS | ۱۶۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۶۰ |
| ۳ | λ | $0/2$ | $0/3$ | $0/2$ | $0/1$ | $0/2$ | ۱ |
| | r | ۱ | ۱ | ۰ | $0/5$ | ۰ | $0/55$ |
| | U | $0/2$ | $0/3$ | ۰ | $0/5$ | ۰ | $0/55$ |
| | P_{pns} | ۶۰۰ | ۶۰۰ | ۰ | ۶۰۰ | ۰ | ۶۰۰ |
| | ENS | ۱۲۰ | ۱۸۰ | ۰ | ۳۰ | ۰ | ۳۳۰ |
| ۴ | λ | $0/2$ | $0/3$ | $0/2$ | $0/1$ | $0/2$ | ۱ |
| | r | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | $0/4$ |
| | U | $0/2$ | ۰ | $0/2$ | ۰ | ۰ | $0/4$ |
| | P_{pns} | ۱۰۰۰ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۰ | ۰ | ۱۰۰۰ |
| | ENS | ۲۰۰ | ۰ | ۲۰۰ | ۰ | ۰ | ۴۰۰ |
| ۵ | λ | $0/2$ | $0/3$ | $0/2$ | $0/1$ | $0/2$ | ۱ |
| | r | ۱ | $0/5$ | ۰ | $0/5$ | ۰ | $0/4$ |
| | U | $0/2$ | $0/15$ | ۰ | $0/5$ | ۰ | $0/4$ |
| | P_{pns} | ۳۰۰ | ۳۰۰ | ۰ | ۳۰۰ | ۰ | ۳۰۰ |
| | ENS | ۶۰ | ۴۵ | ۰ | ۱۵ | ۰ | ۱۲۰ |
| ۶ | λ | $0/2$ | $0/3$ | $0/2$ | $0/1$ | $0/2$ | ۱ |
| | r | ۱ | $0/5$ | ۰ | $0/5$ | ۱ | $0/6$ |
| | U | $0/2$ | $0/15$ | ۰ | $0/5$ | $0/2$ | $0/6$ |
| | P_{pns} | ۴۰۰ | ۴۰۰ | ۰ | ۴۰۰ | ۴۰۰ | ۴۰۰ |
| | ENS | ۸۰ | ۶۰ | ۰ | ۲۰ | ۸۰ | ۲۴۰ |

۴- شبیه‌سازی سیستم Baran

سیستم Baran دارای ۳۳ باس و ۵ Tie-line و ولتاژ نامی KV ۱۲/۶۶ است. پیکربندی این سیستم به همراه مکان sectionaliser و sectionaliser-fuse در [۱۰] آورده شده است. چهار DG با قدرت KW ۳۵۰ در باس‌های ۹، ۱۲، ۱۹ و ۲۴ قرار دارد. شایان ذکر است که DG ها به شکل بار منفی مدل شده‌اند. تعداد بارهای کنترل‌پذیر یا تعداد مشترکین در این باس‌ها به ترتیب برابر ۵، ۱۲، ۱۵ و ۱۰ است. در این حالت تلفات و ENS شبکه به ترتیب برابر KW ۱۲۹/۲۶۰۷ و KWh/yr ۵۹۵۴/۵ است

آن‌ها باعث عملکرد بهتر شبکه‌های توزیع است. از این رو این مقاله برای بهره‌برداران و برنامه‌ریزان می‌تواند بسیار مفید باشد. در نهایت، این دو شاخص با توجه به قیود بهره‌برداری، توسط یکی از جدیدترین الگوریتم‌های ژنتیک در زمینه مسأله بازآرایی، یعنی الگوریتم ژنتیک بر اساس کدگذاری لبه پنجره، به یک مصالحه‌ای رسیدند که به حداقل شدن هزینه‌ها منجر شد. نتایج شبیه‌سازی بر روی سیستم ۳۳ باسه، گواهی بر درستی الگوریتم پیشنهادی است.



شکل (۴): روند رسیدن به بهینه فراگیر

مراجع

- [1] Merlin, A., Back, H., "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in urban power distribution systems", in Proc. 5th Power Syst. Comp. Conf., Cambridge, U. K., Sep. 1-5, 1975.
- [2] Baran, M., Wu, F., "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1401-1407, 1989.
- [3] Shirmohammadi, D., Hong, H., "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 1492-1498, Apr. 1989.
- [4] Nara, K., Shiose, A., Kitagawa, M., Ishibara, T., "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration", IEEE Transaction on Power System, Vol. 7, No. 3, pp.1044-1051, 1992.
- [5] Abdullah, M., Alshehri, "Optimal Reconfiguration of Distribution Networks Using Ant Colony Method", Master Thesis, King Saud University College of Engineering Electrical Engineering Department, 2007.
- [6] Abdelaziz, A., Mohammed, F., Mekhamer, S., Badr, M., "Distribution system reconfiguration using a modified tabu search", Electr Power Syst Res, Vol. 80, No. 8, pp. 943-53, 2010.
- [7] Olamaei, J., Niknam, T., Gharehpetian, G., "Application of particle swarm optimization for distribution feeder reconfiguration considering distributed generators", Applied Mathematics and Computation, pp. 575-586, 2008.
- [8] Ananulla, B., chakrabarti, Saikat., Singh, S. N., "Reconfiguration of power Distribution Systems Considering Reliability and Power Loss", IEEE Transaction on Power Delivery,

شبیه‌سازی یاد شده ۵ بار متوالی اجرا شده است که در همه آن‌ها آرایش با Tie-line های ۷، ۹، ۱۴، ۲۸ و ۳۲ به عنوان جواب بهینه به دست آمد. در این آرایش تلفات شبکه و ENS به ترتیب برابر ۹۵/۲۵۱۴ KW و ۶۱۱۵/۷ KWh/y است. اگرچه قیود جریانی برآورده هستند اما ولتاژ دو باس از محدوده مجاز پایین تر است. علت این که همچنان دو قید ولتاژ برآورده نشده است این است که در این سیستم هیچ آرایشی وجود ندارد که تعداد قیود برآورده نشده آن از دو کمتر باشد. بنابراین، آرایش بهینه از این آرایش‌ها انتخاب می‌شود. اگرچه ENS در این آرایش، از آرایش اولیه سیستم بیشتر شده است اما تلفات نسبت به قبل خیلی کمتر شده است. اثر این دو شاخص در مجموع باعث شده است که این آرایش به عنوان آرایش بهینه انتخاب شود.

۵- نتیجه گیری

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک الگوریتم محاسباتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان در مسأله تجدید آرایش در حضور DG است که تاکنون به آن پرداخته نشده است. با توجه به تجدید ساختار و ایجاد رقابت در بازار برق، بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع با هدف افزایش سود یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان شرکت‌های توزیع است. در این مقاله، از شاخص ENS به علت رابطه مستقیم با سود شبکه و همین‌طور رضایتمندی مشتریان، به عنوان یکی از اهداف مسأله استفاده شده است. اگرچه الگوریتم پیشنهادی به گونه‌ای است که به وسیله آن می‌توان شاخص‌های دیگری از قابلیت اطمینان را نیز حساب کرد. در واقع ENS و تلفات دو شاخص مهم شبکه‌های توزیع هستند که کاهش

- distribution system operation", Elsevier, Electrical Power and Energy Systems , pp. 177–184, 2013.
- [12] Torres, J., Guardado, J., Rivas-Davalos, F., Maximov, S., Melgoza, Enrique., "A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration", Elsevier, Electrical Power and Energy Systems, pp. 28–34, 2013.
- [13] Amini, A., Shayanfar, H., Kalantar, M., Fotuhi Firuzabad, M., " Reliability Analysis in Distribution Network in presence of Distributed Generation Units", fourteenth Iranian Power Engineering Confrance, 2006.
- Vol. 27, No. 2, April 2012.
- [9] Hooshmand, R., Soltani, S., "Simultaneous optimization of phase balancing and reconfiguration in distribution networks using BF–NM algorithm", Elsevier, Electrical Power and Energy Systems, pp. 76–86, 2012.
- [10] Mendoza, J., Lopez, M., Coello Coello, C., Lopez, E., "Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network", IET Gener. Transm. Distrib, Vol. 3, Iss. 9, pp. 825–840, 2009.
- [11] Vitorino, R., Jorge, H., Neves, L., "Loss and reliability optimization for power