بهبود شاخص فروافتادگی ولتاژ در شبکه‌های توزیع شعاعی با بازآرایی همزمان با سایزیابی منبع تولید پراکنده به کمک الگوریتم تجمعی ذرات

محمد محمدی ندوشن، علی اصغر قدیمی و ابوالفضل سلامی

چکیده - میزان بارهای حساس در شبکه‌های توزیع با گذشت زمان در حال افزایش است. نگهداشتن ولتاژ این بارها در محدوده مجاز از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از دلایل مهم فروافتادگی ولتاژ رخ دادن خطا در شبکه است. در گذشته، هر یک از روش‌های بازآرایی و نصب منابع تولید پراکنده(DG) به طور جداگانه به منظور بهبود فروافتادگی ولتاژ بعد از خطا به کار رفته اند هرچندکه در استفاده از هر یک از این روش‌ها به تنهایی با محدویت‌های عملی زیادی روبرو هستیم. کار اصلی انجام شده در این مقاله، استفاده همزمان از بازآرایی و نصب DG به منظور کاهش شاخص فروافتادگی ولتاژ است که به ما کمک می‌کند تا بر این محدودیت‌ها غلبه کنیم. شاخص در نظر گرفته شده در این مقاله، تعداد دفعاتی است که ولتاژ در این بارها به مقداری پایینتر از مقدار بحرانی سقوط می‌کند. به منظور یافتن ظرفیت بهینه DG و آرایش بهینه شبکه، از الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات باینری(BPSO) اصلاح شده استفاده گردیده است. شبکه مورد بررسی در این مقاله یکی از شبکه‌های تست در اکثر مقالاتی که بازآرایی را به نحوی انجام داده اند بوده است. نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های قبلی، کارایی آن را به خوبی نشان می‌دهد.

***واژه‌های کلیدی*- الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات باینری، بازآرایی، تولید پراکنده، فروافتادگی ولتاژ.**

۱- مقدمه

علیرغم بهتر شدن کیفیت تولید انرژی الکتریکی و استفاده از تکنولوژیهای جدید در شبکه توزیع و انتقال، استفاده از بارهای حساس به تعداد زیاد در مراکز صنعتی، بیمارستانی و ... باعث پر اهمیت تر شدن موضوع کیفیت توان شده است. یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت توان میزان فروافتادگی ولتاژ است. فروافتادگی ولتاژ به دلایل مختلفی از جمله خطا در شبکه، اضافه شدن ناگهانی بار و روشن شدن موتورهای بزرگ رخ می‌دهد. بارهای حساس صنعتی در اثر اتصال کوتاه در نقاط مختلف شبکه دچار فروافتادگی ولتاژ میشوند. پایین تر آمدن ولتاژ از حد مجاز در این بارها باعث عملکرد نادرست تجهیزات و خسارات شدید اقتصادی می‌شود که باید راه حلی برای این مسئله پیدا کرد.

بازآرایی شبکه‌های توزیع به مفهوم تغییر در وضعیت کلیدهای شبکه به دو منظور اساسی کاهش تلفات و رفع اضافه بار انجام می‌شود. همچنین به منظور افزایش ظرفیت تولید و به دلیل نگرانی‌های عمومی از آلودگی محیط زیست، منابع تولید پراکنده در شبکه نصب می‌شوند. نصب منابع DG همچنین میتواند با بالا بردن سطح اتصال کوتاه از افت ولتاژ در بارهای حساس جلوگیری کند. از آنجایی‌که میزان فروافتادگی ولتاژ بعد از خطا تا حد زیادی به مسیر بین مکان خطا و باس حساس و همچنین به سطح اتصال کوتاه شبکه در این باس‌ها بستگی دارد. لذا میتوان از دو روش بازآرایی و نصب منابع DG جهت بهبود فروافتادگی ولتاژ در شبکه استفاده نمود. اما مشکل اینجاست که هرگونه تغییر در توپولوژی شبکه لزوما به بهتر شدن فروافتادگی ولتاژ نمی‌انجامد و همچنین محدودیت‌های دیگر شبکه، امکان پیاده سازی هر توپولوژی دلخواه در شبکه را از ما می‌گیرد. ضمن آنکه برای استفاده بردن از مزایای DG باید نوعDG، نحوه اتصال، مکان، تعداد و ظرفیت آن به بهترین نحو مشخص گردد در غیر اینصورت نه تنها مشکل حل نخواهد شد بلکه بیشتر شدن فروافتادگی ولتاژ را در پی دارد. مشکل دیگر منابع DG پیامدهای منفی استفاده از آنها در ظرفیت‌های بالا است، مشکلاتی نظیر بد عمل کردن مدارات حفاظتی، تغییر فرکانس شبکه، بالارفتن سطح ولتاژ از حد مجاز و مشکلات پایداری. در نتیجه هریک از روش‌های بازآرایی و نصب DG تا حدی در کاهش اثرات فروافتادگی ولتاژ موثراند اما هر کدام محدویت‌هایی دارند.

در گذشته بازآرایی به دلایل مختلف از جمله بهبود شاخص‌های کیفیت توان مورد استفاده قرار گرفته است. مجموعه کارهایی که در زمینه بازآرایی و با هدف کاهش تلفات تا سال ۱۹۹۴ انجام شده اند در [۱] مرور شده اند. بازآرایی با اهداف دیگری از جمله متعادل سازی بار، بهبود قابلیت اطمینان سیستم و افزایش ضریب نفوذ

محمد محمدی ندوشن، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت
(email: mohammadinodoshan@gmail.com)
علی اصغر قدیمی، استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه اراک، ۳۸۱۳۸۵۳۹۴۵
(email: a-ghadimi@araku.ac.ir)
ابوالفضل سلامی، استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اراک ۳۸۱۸۱۴۱۱۶۷
(email: salami@arakut.ac.ir)

منابع تولید پراکنده، نیز در گذشته انجام شده است[۲-۴]. اخیرا بعضی از محققین اثرات بازآرایی را بر روی پارامترهای کیفیت توان مورد بررسی قرار داده اند. کاهش هزینه‌های ناشی از فروافتادگی ولتاژ به وسیله الگوریتم ژنتیک اصلاح شده با تقاطع دو نقطه‌ای و جهش وفقی در [۵] انجام شده است. در مرجع [۶]، به وسیله روش مونت کارلو پارامترهای مربوط به خطا به صورت تصادفی تولید و با انجام تحلیل خطا سعی در مینیمم کردن تابع هدف به وسیله الگوریتم تکاملی می‌شود. تابع هدف، هزینه‌های تلفات شبکه و هزینه‌های ناشی از فروافتادگی ولتاژ و همچنین قیدهای مربوط به پروفیل ولتاژ و توان شاخه‌ها را در بر می‌گیرد. جاذبی و وحیدی[۷]، با استفاده از الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی، سعی کرده‌اند ساختاری را برای شبکه پیدا کنند که THD ولتاژ مربوط به بارهای خاص، مقدار فروافتادگی ولتاژ و تلفات در آن، مینیمم باشد. علیرغم بهبود شاخص‌های کیفیت توان به وسیله بازآرایی در کارهای فوق، هیچ کدام منابع DG که سهم آنها در شبکه‌های توزیع کنونی و تاثیر ثابت شده شان در بهبود کیفیت توان، غیر قابل چشم پوشی است را در نظر نگرفته اند.

انتخاب مکان واندازه DG، نیز یک مسئله بهینه سازی پیچیده است که در گذشته برای حل آن از روش‌های متعددی استفاده شده است. ویرال و خاتود[۸]، مروری جامع بر روش‌های مختلف از جمله روش‌های محاسباتی، فوق ابتکاری، هوشمند و روش‌های ترکیبی با الگوریتم ژنتیک که تا به حال در مراجع مورد استفاده قرار گرفته اند، انجام داده اند. مرجع [۹] از آنالیز حساسیت به منظور مکان یابی استفاده کرده است ضمن آنکه مکان یابی منابع تولید تولید پراکنده با بازآرایی ترکیب شده است تا تلفات توان در سه سطح مختلف بار کاهش یابد. در [۱۰]، با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی به مکان یابی همزمان DG و خازن پرداخته شده است. مکان یابی DG به منظور بهبود شاخص‌های کیفیت توان موضوع جدیدی است که که در سالهای اخیر توسط برخی از محقیق انجام شده است. حامدی و گندمکار[۱۱] به ارزیابی اثرات تغییر بار بر روی کیفیت توان در حضور DG پرداخته‌اند. اخیرا بیسواس و دیگران در [۱۲] با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین تعداد، مکان و ظرفیت بهینه منابع DG پرداخته‌اند. تابع هدف در نظر گرفته شده در این کار سه قسمتی و در بر گیرنده هزینه ناشی از تلفات، فروافتادگی ولتاژ و هزینه‌های نصب و نگهداری منابع DG می‌باشد. اگرچه استفاده از منابع DG جهت بهبود اثرات فروافتادگی ولتاژ موثرند، اما در بارهای زیاد یا در خطاهای شدید، استفاده بردن از منابع به تنهایی جوابگو نمی‌باشد ضمن آنکه همانطور که بیان شد بالا بردن ظرفیت منابع DG، اثرات منفی دیگری را در پی دارد. در نتیجه بهتر است همزمان با استفاده از منابع DG از روش‌های دیگر نظیر بازآرایی هم سود برد.

همانطور که بیان شد تا به حال هر کدام از روش‌های بازآرایی و استفاده از منابع DG به طور جداگانه به منظور بهبود فروافتادگی ولتاژ بعد از رخ دادن خطا مورد استفاده قرار گرفته اند. ایده اصلی این کار، استفاده همزمان از بازآرایی و منابع تولید پراکنده به منظور بهبود فروافتادگی ولتاژ است در حالیکه هدف اصلی بازآرایی یعنی کاهش تلفات هم ارضا می‌شود. با قرار دادن DG در یکی از باس‌های شبکه توزیع و با مصالحه میان شاخص‌های کیفیت توان و تلفات سیستم، بهترین حالت ممکن شبکه در بین ظرفیت‌های مختلف DG و آرایش‌های مختلف شبکه بدست می‌آید. به دلیل سادگی و کارایی بالا در مسئله بازآرایی از الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات باینری (BPSO) اصلاح شده به منظور یافتن ظرفیت بهینه DG و آرایش بهینه شبکه استفاده شده است. نتایج نشان دهنده اثربخشی بالای روش ارائه شده در کاهش فروافتادگی ولتاژ است.

این مقاله به چند بخش کلی تقسیم شده است. در بخش ۲، فرمول‌ها و نحوه تاثیر بازآرایی و نصب DG بر میزان فروافتادگی ولتاژ بطور جداگانه آورده شده است. نحوه انتخاب تابع هدف، قیود و توضیحات مختصری در مورد الگوریتم BPSO اصلاح شده در بخش ۳ ارائه شده است. بخش ۴، در مورد شبکه و نتایج و تحلیل آنها، توضیح می‌دهد. در بخش ۵و۶ نتیجه گیری و مراجع آورده شده است.

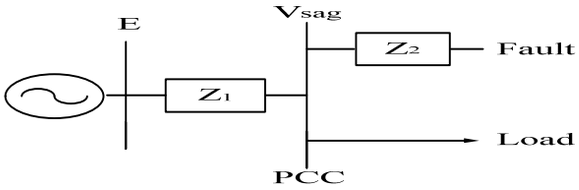
۲- عوامل موثر درکاهش فروافتادگی ولتاژ

خطاها از جمله اتفاقات رایج در سیستم قدرت است که به دلایل متعددی از جمله صاعقه، اتصال کوتاه شدن اتفاقی فازها به وسیله درختان یا حیوانات و... رخ می‌دهد رخ دادن خطا در شبکه ممکن است باعث قطعی برق در ناحیه کوچکی شود اما چون کل شبکه مجبور به تامین جریان خطا می‌شوند، ناحیه وسیعی دچار فروافتادگی ولتاژ میشوند. کاهش جذر میانگین ولتاژ به میزانی ما بین ۰.۱ تا ۰.۹ پریونیت در فرکانس قدرت، که بین نیم سیکل تا یک دقیقه طول بکشد فروافتادگی ولتاژ نامیده می‌شود [۱۳]. عمده‌ی کارهایی که در زمینه بهبود فروافتادگی ولتاژ ناشی از رخ دادن خطا انجام می‌شود شامل چهار قسمت است ۱- کاهش تعداد خطا به وسیله هرس کردن درختان، نصب برقگیرها و ... ۲- کاهش زمان رفع خطا به وسیله به کار بردن تجهیزات حفاظتی سریعتر که تنها روی زمان فروافتادگی ولتاز تاثیر می‌گذارد ۳- کارهایی برای

افزایش فاصله الکتریکی بین مکان خطا و باس حساس به وسیله بازآرایی ۴- بالا بردن سطح اتصال کوتاه به وسیله نصب DG. خطاهای سه فاز اگر چه رایج‌ترین نوع خطاها نیستند اما نسبت به خطاهای دیگر بسیار شدیدتر هستند. دراین کار با در نظر گرفتن خطاهای سه فاز، بدترین حالت ممکن در نظر گرفته شده است.

۲-۱ اثر بازآرایی

در شبکه‌های شعاعی به منظور محاسبه فرورفتگی ولتاژ معمولا از مدلی مانند شکل ۱ استفاده میکنند. با صرف نظر از جریان بار میتوان ولتاژ نقطه اتصال مشترک (PCC) و در نتیجه بار را از طریق ۱ بدست آورد[۱۳].



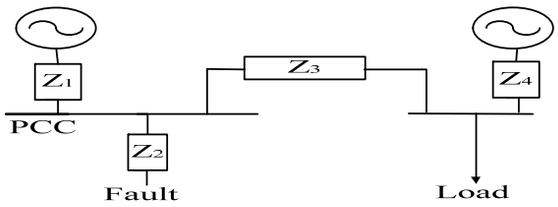
شکل ۱: مدل استفاده شده به منظور توضیح فروافتادگی ولتاژ

$$V_{sag} = \frac{Z2}{Z1+Z2}E \qquad (۱)$$

V_{sag}، اندازه ولتاژ در PCC یا باس حساس بعد از رخ دادن خطا است. Z_1، امپدانس منبع در PCC و Z_2 امپدانس بین PCC و مکان خطا است. معمولا E را ۱pu در نظر میگیریم. اندازه ولتاژ در باس‌های محل اتصال بارهای حساس، نباید از حد خاصی پایینتر باشد. بازآرایی با تغییر امپدانس بین باس حساس و مکان‌های مستعد خطا (Z_2) باعث افزایش اندازه ولتاژ بعد از خطا در باس‌های حساس می‌گردد. یعنی تغییر میزان فرو افتادگی ولتاژ به راحتی با تغییر آرایش شبکه امکان پذیر است. همچنین آرایش سیستم در اندازه امپدانس تونن دیده شده از باس حساس (Z_1) نیز موثراست.

۲-۲ اثر نصب منابع DG

شکل ۲ مدل اصلاح شده را زمانی که در شبکه DG داریم نشان میدهد. Z_3، امپدانس بین PCC و ژنراتور و Z_4 راکتانس گذرای DG است. میزان فرورفتگی ولتاژ را میتوان از (۲) بدست آورد.



شکل۲- مدار معادل سیستم در حضور تولید پراکنده

$$V_{sag} = 1 - \left[\frac{Z_4}{Z_3+Z_4}(1 - V_{PCC})\right] \qquad (۲)$$

افزایش ظرفیت منبع DG، باعث کاهش توان عبوری از خطوط و کاهش افت ولتاژ و نزدیک شدن V_{PCC} به مقدار نرمال یعنی ۱pu می‌شود. در نتیجه مطابق ۲ ولتاژ باس حساس افزایش می‌یابد. همچنین مکان نصب منبع DG در اندازه Z_3 تاثیر گذار است و میتوان با افزایش Z_3، مقدار ولتاژ باس حساس را بهبود داد.

۳- روش پیشنهادی

همانطور که در بخش دوم اشاره شد هر دو روش بازآرایی و نصب منابع DG، میتوانند در کاهش فروافتادگی ولتاژ موثر باشند. لذا در این بخش چگونگی در نظر گرفتن هر دوی این پارامترها بطور همزمان در کاهش فروافتادگی ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن بهترین آرایش شبکه و مناسب‌ترین ظرفیت منبع DG بدست می آید.

۳-۱ انتخاب تابع هدف

برای بارهای حساس، تعداد دفعات قطع به علت سقوط ولتاژ به مقادیر غیر مجاز در یک سال پارامتر مهمی است[۱۴]. تعداد باس‌های حساس در شبکه برابر n فرض شده است. اتصال کوتاه در همه باس‌های سیستم باعث فروافتادگی ولتاژ در این باس‌ها می‌شود که در برخی از حالات ممکن است ولتاژ در این باس‌ها به مقداری پایینتر از حد مجاز یعنی V_{cri} برسد. . در این کار هدف مینیمم کردن تعداد دفعاتی است که ولتاژ در بارهای حساس به عددی کمتر از V_{cri} می‌رسد که با N_{dist} نشان داده شده است. تابع هدف استفاده شده در این مقاله مطابق ۳ است.

$$Minimize\ N_{dist} = \sum_{i}^{n} N_i \qquad (۳)$$

i شماره باس‌های حساس، N_i تعداد دفعاتی است که ولتاژ در آن باس به مقداری کمتر از V_{cri} میرسد و n تعداد بارهای حساس است.

۳-۲ قیود

در بازآرایی یک شبکه توزیع واقعی، قیودی باید در شبکه در نظر گرفته شوند. قیود در نظر گرفته شده در این مقاله در قسمت‌های بعد آمده است.

۳-۲-۱ قید شعاعی بودن ساختار شبکه

یکی از قیودی که در بازآرایی باید به آن توجه شود شعاعی ماندن شبکه است. A، ماتریس تلاقی راسها در گراف متناظر با شبکه است. صفر بودن دترمینان ماتریس A نشان دهنده غیر شعاعی بودن شبکه است. شرط شعاعی بودن شبکه مطابق(۴) است.

$$\det(A) = 1\ or - 1 \qquad (۴)$$

۳-۲-۲ قید مربوط به حداکثر ظرفیت مجاز DG

مکانDG ثابت و هدف محاسبه ظرفیت بهینهDG است. در شبیه‌سازی‌ها ظرفیتDG مقادیر گسسته‌ای اختیار میکنند که حداکثر آن با توجه به استانداردهای شبکه و تعیین میشود.

$$DG \le DG_{max} \qquad (۵)$$

۳-۲-۳ قید توان عبوری از شاخه‌ها

$S_{k,k+1}$ مقدار توان عبوری از شاخه بین باس k و k+1 است. برای عملکرد صحیح شبکه باید توان ظاهری عبوری از شاخه‌ها نباید از حد مجاز در آن شبکه ($S_{k,k+1}max$) تجاوز کند.

$$S_{k,k+1} < S_{k,k+1}max \qquad (۶)$$

۳-۲-۴ قید تلفات سیستم

تعداد دفعات خارج شدن ولتاژ از حد مجاز در باس‌های حساس به عنوان تابع هدف و تلفات بعنوان یک قید در نظر گرفته شده است. برای انتخاب یک آرایش به عنوان آرایش بهینه باید تلفات آن از مقدار تلفات آرایش اولیه شبکه یا $P_{loss}(initial)$کمتر باشد.

$$P_{loss} < P_{loss}(initial) \qquad (۷)$$

۳-۲-۵ قید مربوط به ولتاژهای شبکه

ولتاژ باس‌های غیر حساس شبکه نیز نباید از محدوده نرمال تجاوز کند. هر چند که ولتاژ نرمال در باس‌های غیر حساس محدوده وسیعتری را نسبت به باس‌های حساس شامل می‌شود.

$$V_{min} \le |V_k| \le V_{max} \qquad (۸)$$

۳-۳ بهینه سازی تابع هدف

در هر ظرفیت DG فلوچارت شکل ۳ پیاده سازی می‌شود و بهترین آرایش شبکه برای داشتن کمترین شاخص فروافتادگی ولتاژ در آن ظرفیت بدست می‌آید و در نهایت در میان تمام ظرفیت‌های DG و آرایش‌های ممکنه، بهترین حالت بدست می‌آید.

در الگوریتم BPSO مکان و سرعت ذره i ام به صورت $xi = (xi1,...,xid)$ و $vi = (vi1,...,vid)$ که xij بسته یا باز بودن کلید را نشان می‌دهد وD تعداد کلیدهای شبکه است.

$$\begin{aligned} &\text{for } d = 1:D \\ &\quad vid = \omega \times vid + c_1 \times randNO1 \times (pid - xid) \\ &\qquad + c_2 \times randNO2 \times (pgd - xid) \\ &\quad rid = S(vid) - randNO1 \\ &\text{end} \end{aligned} \qquad (۹)$$

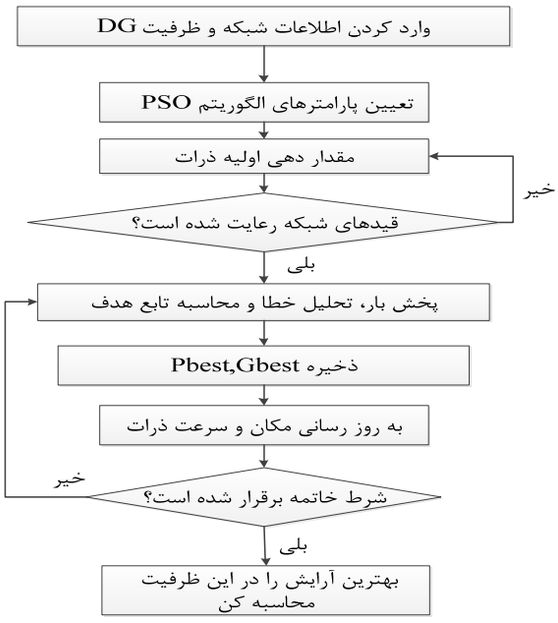
مسئله بازآرایی مسئله پیچیده‌ای است به این دلیل که ساختار شعاعی شبکه باید حفظ شود. اکثر الگوریتم‌های هوشمند به دلیل ماهیت تصادفی، تولید جمعیت هایی میکنند که غیرشعاعی هستند که این موضوع باعث زمانگیر بودن روند بهینه‌سازی می شود. در [۱۵] الگوریتم BPSO اصلاح شده است تا این مشکل حل شود. برای حفظ ساختار شعاعی شبکه از (۱۰) به منظور بروز رسانی مکان ذرات استفاده می شود.

$$\begin{aligned} &\text{for } d = 1:D \\ &\quad \text{if (rid} < \text{the qth lowest value of all } ri) \\ &\qquad \text{then } xid = 0 \\ &\qquad Else\ xid = 1 \\ &\qquad End \\ &end \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

در روابط بالا C_1 و C_2 پارامترهای یادگیری هستند که اگر پایین انتخاب شوند باعث می‌شود ذرات در فضایی دور از هدف، پرسه زده و مقادیر بالای آنها باعث گذشتن از ناحیه هدف می‌شود و معمولاً انتخاب عدد ۲ برای آنها مناسب است. $randNO$ عددی تصادفی در محدوده‌ی [۰ ۱] است. ω پارامتری است که تأثیر سرعت فعلی را بر سرعت بعدی کنترل میکند و یک حالت تعادل بین توانایی الگوریتم در جستجو بصورت محلی و سراسری ایجاد می‌نماید. منطقی بنظر میرسد کهω بتدریج کاهش یابد تا در ابتدا جستجو بصورت سراسری صورت گرفته و بتدریج به سمت جستجوی محلی پیش رویم. انتخاب درستω باعث بهبود زمان رسیدن به جواب میشود. در اغلب اوقات از (۱۱) برای تعیینω استفاده میشود.

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times iter \qquad (۱۱)$$

کهω_{max}، مقدار اولیهω، ω_{min} مقدار نهاییω، $iter_{max}$، ماکزیمم تعداد تکرار است و$iter$ شماره‌ی تکرار فعلی است.



شکل ۳- فلوچارت روش شبیه سازی شده

۴- شبیه سازی

۴-۱ معرفی سیستم مورد مطالعه و پارامترهای آن

شکل ۴ ساختار اولیه شبکه مورد مطالعه که یک شبکه با ولتاژ ۱۲.۶۶KV و مجموع بار اکتیو و راکتیو ۵۰۸۴.۲۶KW و۲۵۴۷.۳۲Kvar است را نشان میدهد. این شبکه یکی از نخستین شبکه‌هایی است که برای بازآرایی مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه فوق،۳۳ باس، ۳۲ کلید در حالت عادی بسته و ۵ کلید در حالت عادی باز دارد. باس‌های حساس باس‌های شماره ۶ و ۷ و ۲۳ و ۲۴ و ۳۱ در نظر گرفته شده اند چون بار موجود در این باس‌ها بیشتر از سایر باس‌ها است. مقدار تلفات برای آرایش اولیه شبکه مورد بررسی برابر ۲۰۳KW است. سایر اطلاعات شبکه مورد نظر در مرجع [۱۶] آمده است.

۴-۲ شبیه سازی روش پیشنهادی

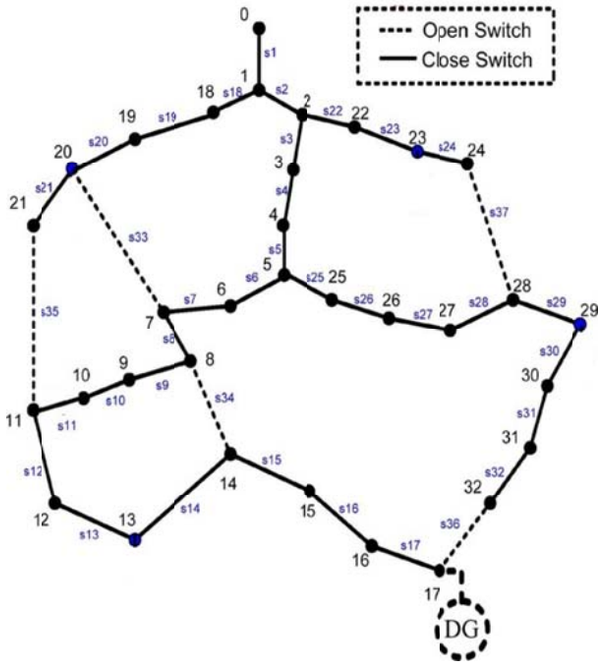
تعداد اعضای جمعیت، ۵۰ و تعداد تکرار برابر ۲۰۰ انتخاب شده اند. مقادیر پایین تعداد اعضای جمعیت و تکرار، سرعت را بالا برده اما دقت را کاهش می‌دهد و مقادیر بالای آنها، اثر بر عکس دارد. در شبیه‌سازی مشاهده گردید که انتخاب مقادیر فوق انتخاب مناسبی است. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی (بازآرایی همزمان با نصب DG)، چهار حالت در نظر گرفته شده است.

حالت اول : شبکه بدون انجام بازآرایی و نصب DG

حالت دوم: شبکه با انجام بازآرایی و بدون نصب DG

حالت سوم : شبکه بدون انجام بازآرایی و با نصب DG

حالت چهارم : شبکه با انجام بازآرایی و نصب DG



شکل ۴- شبکه مورد مطالعه

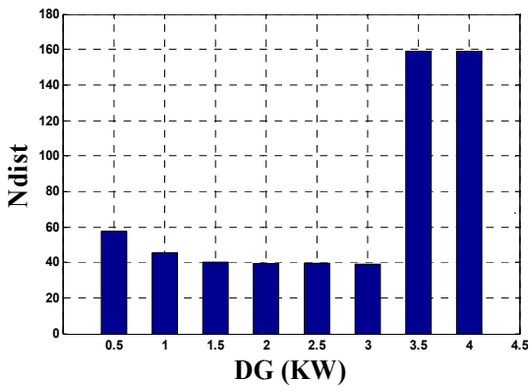
در شبکه فوق قبل از بازآرایی و نصب DG، شاخص فروافتادگی ولتاژ ۱۵۹ است. درحالت سوم، DG در باس ۱۷ که در انتهای شبکه قرار داشته و در حالت عادی کمترین میزان ولتاژ را دارد نصب شده است و بهترین ظرفیت DG به منظور داشتن کمترین شاخص فرو افتادگی ولتاژ به دست آمده است. در حالت چهارم DG در باس ۱۷ نصب شده است و در هر ظرفیت DG، بهترین آرایش شبکه به دست آمده است تا در نهایت ظرفیت بهینه DG و آرایش بهینه را پیدا کنیم.. نتایج شبیه سازی چهار حالت در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج شبیه سازی سیستم ۳۳ باسه

حالت	DG	کلیدهای باز	Ndist	%Ndist Reduction
۱	0	۳۳,۳۴,۳۵,۳۶,۳۷	۱۵۹	-
۲	0	۶,۱۲,۱۷,۲۳,۳۳	۴۷	۷۰
۳	۱.۸	۳۳,۳۴,۳۵,۳۶,۳۷	۱۵۸	۱
۴	۳	۶,۹,۱۴,۲۳,۳۳	۳۸	۷۶

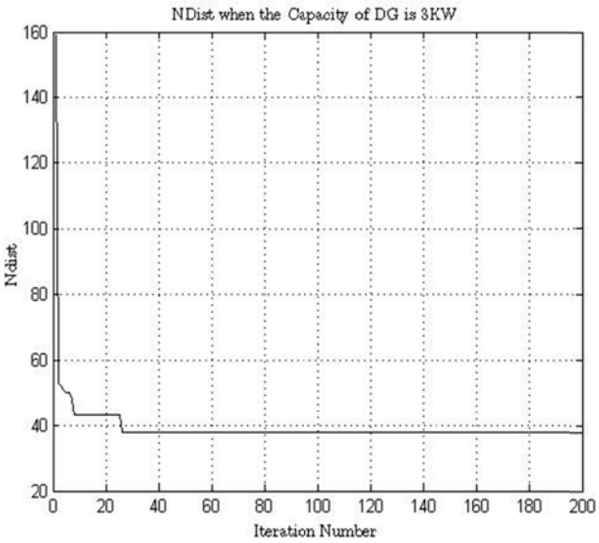
۴-۳- تحلیل نتایج

از جدول ۱ مشاهده می‌شود که شاخص فروافتادگی ولتاژ از مقدار ۱۵۹ در حالت اول به مقادیر ۴۷،۱۵۸ و ۳۸ در حالت‌های دوم،سوم و چهارم رسیده است. درصد کاهش شاخص فرو افتادگی ولتاژ در حالت‌های دوم تا چهارم به ترتیب عبارتست از ۱،۷۰, ۷۶. این نشان میدهد که شاخص فروافتادگی ولتاژ در حالت چهارم نسبت به حالت‌های دیگر وضعیت بهتری دارد که نمایانگر کارایی بالای روش پیشنهادی مقاله است. در حالت دوم که تنها از بازآرایی استفاده شده است نسبت به حالت سوم که تنها DG در شبکه نصب شده است، درصد کاهش شاخص فروافتادگی ولتاژ خیلی بیشتر است که نشان میدهد که نصب DG در این شبکه نتایج دلخواه را به منظور کاهش شاخص فروافتادگی ولتاژ به دنبال ندارد. همانطور که از شکل ۵ دیده می‌شود مقدار شاخص فروافتادگی ولتاژ با افزایش ظرفیت DG، از ۰ تا ۳، کاهش و بعد از آن افزایش می‌یابد و بهترین ظرفیت برای DG مقدار ۳KW است.



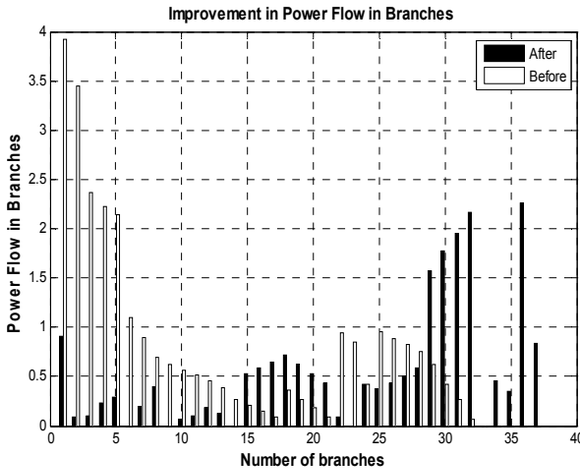
شکل ۵- شاخص فروافتادگی ولتاژ به ازای مقادیر مختلف DG

شکل ۶ رابطه بین تعدا تکرارها و شاخص فروافتادگی ولتاژ را زمانی که ظرفیت DG برابر ۳KW قرار داده شده است نشان می‌دهد این شکل بهبود ۷۶ درصدی را در استفاده همزمان از بازآرایی و منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد.



شکل۶- همگرایی الگوریتم BPSO اصلاح شده

شکل ۷، توان عبوری از شاخه‌ها را در حالت اول و چهارم نشان می‌دهد(قبل وبعد از اعمال روش پیشنهادی) که به وضوح از شکل مشخص است که بعد از بازآرایی همزمان با نصب DG، توان عبوری از تمام شاخه‌ها به جز شاخه‌های ۳۷-۳۳ بهبود یافته است که آن هم به این دلیل است که این شاخه‌ها در آرایش اولیه شبکه باز هستند.



شکل۶- مقایسه توان عبوری از شاخه‌ها، قبل و بعد از روش پیشنهادی

۵- نتیجه گیری

این مقاله با در نظر گرفتن تعداد دفعات قطع شدن بارهای حساس از شبکه به عنوان تابع هدف، نشان داد که نصب منابع DG در این شبکه تاثیر زیادی در بهبود تابع هدف نداشته در صورتیکه شاخص در نظر گرفته شده در استفاده از بازآرایی به تنهایی ۷۰ درصد و با بکار بردن همزمان بازآرایی و DG بطور همزمان، ۷۶ درصد بهبود یافته است. با توجه به اینکه در شبکه مورد بررسی در این مقاله، قیود بحث شده در بخش سوم اجازه بالابردن ظرفیت DG را نمیداد پیشنهاد می‌شود شبیه سازی‌ها بر روی شبکه‌های دیگر انجام شود تا تاثیر روش پیشنهادی این مقاله بیشتر مشخص گردد.

۶- مراجع

[۱] R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, "A survey of the state of the art in distribution system reconfiguration for system loss reduction," *Electric Power Systems Research,* vol. 31, pp. 61-70, 1994.
[۲] A. Ukil and W. Siti, "Feeder load balancing using fuzzy logic and combinatorial optimization-based implementation," *Electric Power Systems Research,* vol. 78, pp. 1922-1932, 2008.
[۳] P. Zhang, W. Li, and S. Wang, "Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 34, pp. 138-144, 2012.
[٤] S. Sheng-Yi, L. Chan-Nan, C. Rung-Fang, Gutie, x, and G. rrez-Alcaraz, "Distributed Generation Interconnection Planning: A Wind Power Case Study," *Smart Grid, IEEE Transactions on,* vol. 2, pp. 181-189, 2011.
[٥] S. Bahadoorsingh, J. V. Milanovic, Z. Yan, C. P. Gupta, and J. Dragovic, "Minimization of Voltage Sag Costs by Optimal Reconfiguration of Distribution Network Using Genetic Algorithms," *Power Delivery, IEEE Transactions on,* vol. 22, pp. 2271-2278, 2007.
[٦] J. C. Cebrian and N. Kagan, "Reconfiguration of distribution networks to minimize loss and disruption costs using genetic algorithms," *Electric Power Systems Research* ,vol. 80, pp. 53-62, 2010.
[٧] S. Jazebi and B. Vahidi, "Reconfiguration of distribution networks to mitigate utilities power quality disturbances," *Electric Power Systems Research,* vol. 91, pp. 9-17, 2012.
[٨] R. Viral and D. K. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 16, pp. 5146-5165, 2012.
[٩] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *Power Systems, IEEE Transactions on,* vol. PP, pp. 1-9, 2012.
[١٠]S. M. Sajjadi, M.-R. Haghifam, and J. Salehi, "Simultaneous placement of distributed generation and capacitors in distribution networks considering voltage stability index," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 46, pp. 366-375, 2013.
[١١]H. Hamedi and M. Gandomkar, "A straightforward approach to minimizing unsupplied energy and power loss through DG placement and evaluating power quality in relation to load variations over time," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 35, pp. 93-96, 2012.
[١٢]S. Biswas, S. K. Goswami, and A. Chatterjee, "Optimum distributed generation placement with voltage sag effect minimization," *Energy Conversion and Management,* vol. 53, pp. 163-174, 2012.
[١٣]"IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment," *IEEE Std 1346-1998* ,p. 0_1, 1998.
[١٤]N. R. PATNE and K. L. THAKRE, "Effect of transformer on stochastic estimation of voltage sag due to faults in the power system: a PSCAD/EMTDC simulation," *Elec Eng & Comp Sci,* vol. 18, 2010.
[١٥]Y. Shih-An and L. Chan-Nan, "Distribution Feeder Scheduling Considering Variable Load Profile and Outage Costs," *Power Systems, IEEE Transactions on,* vol. 24, pp. 652-660, 2009.
[١٦]M. E. Baran and F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," *Power Engineering Review, IEEE,* vol. 9, pp. 101-102, 1989.