

بازیابی بار شبکه‌های توزیع در حضور تولید پراکنده با در نظر گرفتن منابع انرژی ذخیره‌ای

امین مرادخانی، محمودرضا حقی‌فام و مصطفی محمدیان

بایستی منتظر رفع خطا شد، تا این که دوباره تغذیه بارها از سوی مسیر اصلی از سر گرفته شود.

امروزه تعداد و اندازه ژنراتورهای محلی متصل به سیستم‌های توزیع با سرعت در حال افزایش است. در میان مزیت‌های نفوذ منابع DG در شبکه‌های توزیع می‌توان به کاهش تلفات سیستم، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری برای توسعه شبکه نام برد. از طرف دیگر می‌توان پیچیده‌تر شدن حفاظت و کنترل سیستم توزیع، عدم قطعیت در شرایط بهره‌برداری و مالکیت خصوصی DG که باعث پیچیده‌شدن هماهنگی بین DG های خصوصی با یکدیگر و با شبکه شده است، به‌عنوان اشکالات نفوذ DG در شبکه‌های توزیع نام برد. DG به دو شکل می‌تواند در عملیات بازیابی تأثیرگذار باشد. اول این که خود باعث ایجاد خطای اضافی شود (ایجاد جزیره ناخواسته) و دوم این که در طی عملیات بازیابی با ایجاد یک جزیره عمدی باعث سرعت‌بخشیدن به عملیات بازیابی شود. جزیره عمدی جهت بالابردن قابلیت اطمینان بارهای انتهایی شبکه که به سگشن پشتیبان دیگری دسترسی ندارند یک گزینه مناسب است. در غیر این صورت در اثر ایجاد یک خطای دائمی بایستی این بارها قطعی طولانی را تجربه کنند. موضوع جزیره‌شدن مهم‌ترین بحث در حضور DG در عملیات بازیابی است. جزیره زمانی به‌وجود می‌آید که بخشی از سیستم توزیع فقط از منبع DG تغذیه شود که به موارد زیر تفکیک می‌شود:

- جزیره‌شدن ناخواسته: وقتی اتفاق می‌افتد که بعد از وقوع خطا امکان قطع اتصال DG از شبکه وجود نداشته باشد. جزیره ناخواسته بایستی سریعاً شناخته شود و از سیستم حذف شود.
- جزیره‌شدن عمدی: به ایجاد جزیره با طرح از پیش تعیین شده اطلاق می‌شود. این جزیره‌ها بایستی توسط یک منبع مطمئن تغذیه شوند که بتوانند ولتاژ و فرکانس و کیفیت تغذیه را تضمین کنند. در این صورت می‌تواند نقش مهمی در کمک به فرایند بازیابی بار انجام دهد [۱].
- شبکه‌های کوچک: به نوع به‌خصوصی از جزیره عمدی اطلاق می‌شوند که اساساً به‌صورت مستقل کار می‌کنند و به شبکه متصل نیستند. تمام شبکه‌های کوچک را می‌توان سیستم توزیع با یک نقطه بار در نظر گرفت و برای برطرف‌کردن ملاحظات قابلیت اطمینان یک بار محلی طراحی شده‌اند [۱].

بعد از وقوع خطا در سیستم توزیع جهت اجتناب از اثر منفی DG بر روی جریان خطا و عملکرد سیستم حفاظتی، اتصال واحدهای DG بایستی قطع شود. به همین جهت تمام بارهای موجود در ناحیه جزیره یک قطعی تغذیه گذرا را تجربه می‌کنند. اگر DG توانایی نگهداری بار جزیره

چکیده: امروزه تعداد و اندازه ژنراتورهای DG^۱ متصل به سیستم‌های توزیع با سرعت در حال افزایش است. منبع DG در طی عملیات بازیابی می‌تواند با ایجاد یک جزیره عمدی باعث سرعت‌بخشیدن به عملیات بازیابی شود. جزیره عمدی جهت بالابردن قابلیت اطمینان بارهای انتهایی شبکه که به شاخه پشتیبان دیگری دسترسی ندارند یک گزینه مناسب است و در غیر این صورت این بارها در اثر ایجاد یک خطای دائمی بایستی قطعی طولانی را تجربه کنند. این مقاله روشی جهت بازیابی بار شبکه‌های توزیع در حضور DG ارائه می‌کند. روش ارائه‌شده، الگوریتمی مبتنی بر جستجوی ممنوع با هدف کمینه‌کردن هزینه خاموشی مشترکین طی عملیات بازیابی بار است. در این روش سعی شده که با بازیابی، ایجاد جزیره و در نهایت بازسازی، بیشترین بار با بیشترین اهمیت در کمترین زمان بازیابی شود. روش ارائه‌شده واحدهای انرژی محدود و محل تجهیزات سنکرون‌سازی در شبکه را در نظر می‌گیرد. این روش بر روی یک شبکه تست ۳۲ باس اجرا شده و نتایج آن ارائه شده است.

کلید واژه: بازیابی بار شبکه‌های توزیع، تولید پراکنده، جستجوی ممنوع.

۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع متداول، انرژی از سمت منبع به‌صورت شعاعی به سوی مصرف‌کنندگان انتقال می‌یابد. در صورتی که خطایی در سیستم توزیع به‌وجود آید، بایستی محل خطا هرچه سریع‌تر از سیستم توزیع ایزوله شود. بر اثر این جدایی ممکن است مسیر انتقال انرژی به سوی بعضی از بارها قطع شود و اصطلاحاً این بارها بی‌برق شوند. در سیستم توزیع کلیدهایی وجود دارند که در حالت نرمال باز هستند و می‌توان با بستن آنها مسیر دیگری برای تغذیه بارهای بی‌برق از سگشن‌های دیگر همان فیدر یا فیدر پشتیبان ایجاد کنند. به این کلیدها، کلید مانور گفته می‌شود. قابلیت اطمینان شبکه توزیع به میزان و سرعت بازیابی بار مصرف‌کنندگان و همچنین سرعت برگرداندن شبکه به آرایش طبیعی خود وابسته است. در این صورت با استفاده از کلیدهای مانور می‌توان تمام یا بخشی از بارهای بی‌برق را دوباره برق‌دار کرد و از این طریق قابلیت اطمینان سیستم توزیع را بهبود بخشید. اما اگر محل خطا در سگشن‌های انتهایی فیدر باشد که در مجاورت منطقه بدون برق هیچ کلید مانوری وجود نداشته باشد، دیگر نمی‌توان بارهای منطقه بدون برق را برق‌دار کرد و

این مقاله در تاریخ ۲۸ مرداد ماه ۱۳۸۸ دریافت و در تاریخ ۱ خرداد ماه ۱۳۸۹ بازنگری شد.

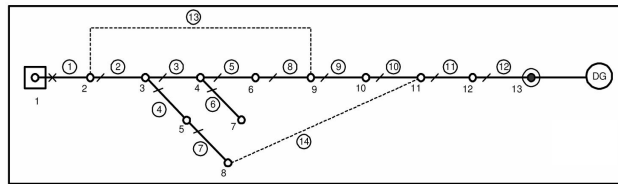
امین مرادخانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهلران،
(email: aminmoradkhani@yahoo.com)

محمودرضا حقی‌فام، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس تهران،
(email: haghifam@modares.ac.ir)

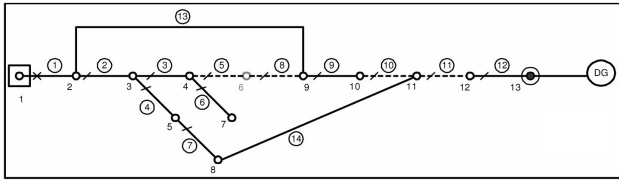
مصطفی محمدیان، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس تهران،
(email: mohamadian@modares.ac.ir)

1. Distributed Generation

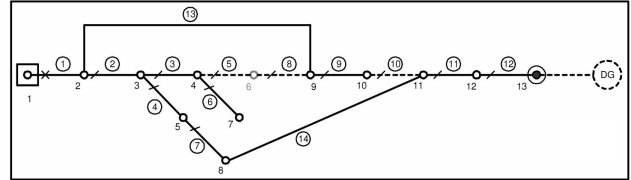
2. Non-Intentional Islanding
3. Intentional Islanding
4. Microgrids



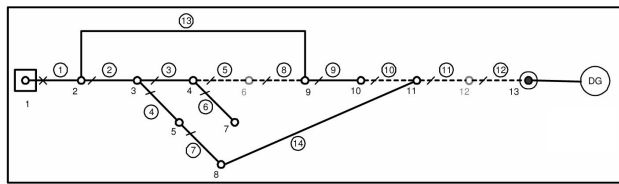
(الف)



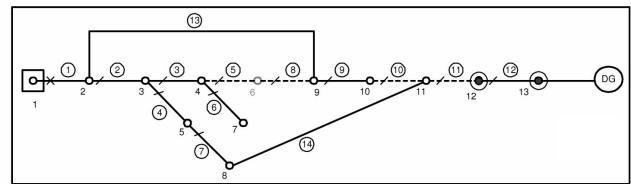
(ب)



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۱: دیاگرام تک خطی شبکه فرضی.

جدول ۱: شرح علائم و اختصارات به کار رفته.

علائم	شرح علائم	علائم	شرح علائم
□	پست فوق توزیع	⊙	واحد تولید پراکنده
×	کلید قطع کننده	⊙	تجهیزات سنکرون سازی
/	سکسیونر	Ⓜ	شماره سکشن

بازیابی تعیین شده و در نهایت الگوریتمی مبتنی بر جستجوی ممنوع برای طرح بازیابی در حضور DG با هدف کاهش هزینه خاموشی ارائه می شود. در این الگوریتم DG های انرژی ذخیره ای و تجهیزات سنکرون سازی در شبکه را در نظر گرفته می شود. همچنین فیود شعاعی ماندن شبکه، عدم تخطی از جریان مجاز خطوط و ولتاژ باس ها و محدودیت ظرفیت منابع مدل شده اند. در نهایت اجرای الگوریتم بر روی شبکه تست ۳۲ باس ارائه می شود. باید خاطر نشان کرد که رفتار دینامیکی منابع تولید پراکنده در این مقاله مورد نظر نبوده و عدم قطعیت در تولید DG در نظر گرفته نشده است. همچنین DG ها تحت مالکیت شرکت توزیع در نظر گرفته شده اند.

۲- طرح مسئله بازیابی بار در حضور DG

با توجه به این که حضور DG در عملیات بازیابی بار به پیچیدگی مسئله می افزاید ابتدا مسئله بازیابی بار در حضور DG بررسی می شود. دیاگرام تک خطی فیدر توزیع فرضی شکل ۱-الف در نظر بگیرید. این فیدر دارای ۱۳ نقطه بار است و سکشن هایی که به صورت خط چین نشان داده شده اند سکشن های مانور هستند. یک واحد DG در باس ۱۳ قرار دارد و اعداد داخل دایره شماره هر سکشن را نشان می دهد. جدول ۱ شرح علائم و اختصارات به کار رفته در فیدر نمونه شکل ۱ را نشان می دهد.

باتوجه به شکل ۱-الف فرض می شود خط در سکشن ۵ ایجاد شده باشد. در این صورت کلید قطع کننده بالادست محل خط باز می شود و کلیه بارهای پایین دست کلید از جمله بارهای بین محل خط و کلید قطع کننده بی برق می شوند. برای جلوگیری از اثر منفی DG بر روی جریان خط، اتصال آن از شبکه قطع می شود. با بازکردن سکسیونرهای دوطرف محل وقوع خط، کلید قطع کننده دوباره بسته می شود و بارهای بالادست محل خط تا کلید قطع کننده دوباره برق دار می شوند ولی بارهای ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ هنوز بی برق هستند که بایستی به وسیله سکشن های مانور در دسترس و واحد DG دوباره برق دار شوند. بار گره ۶ چون در محدوده خط قرار گرفته، تا زمان رفع عیب باید بی برق بماند.

در حالت اول فرض می شود که تخمین بار تمام پست های توزیع سیستم توزیع موجود باشد و ظرفیت در دسترس سکشن های مانور توانایی

را نداشته باشد بایستی اتصال DG قطع شود. کلید قطع کننده DG بایستی بتواند هنگامی که خط در ناحیه جزیره اتفاق می افتد آن را تشخیص دهد و از اتصال مجدد جزیره جلوگیری کند. بعد از رفع خط اتصال مجدد جزیره به شبکه بایستی در شرایطی که جزیره با شبکه اصلی سنکرون شده است، صورت گیرد.

بازیابی بار یک مسئله بهینه سازی پیچیده ترکیبی است. در [۲] تا [۴] از روش های ابتکاری برای حل مسئله بازیابی بار در شبکه های متداول (بدون DG) بهره جستند. اما این روش ها وابسته به تجربه و تخصص متخصصان است و در همه ساختارهای متفاوت شبکه های توزیع کارایی ندارد یعنی هزینه طراحی مجدد آن زیاد است، لیکن در مورد یک شبکه خاص پاسخ مناسبی می دهند اما این پاسخ لزوماً پاسخ بهینه نیست. در [۵] تا [۷] نیز برای بهینه سازی عملیات بازیابی از الگوریتم ژنتیک بهره گیری شده است. در حل مسایل بازیابی بار نظریه فازی معمولاً با ترکیب یک روش ابتکاری دیگر مطرح شده است [۸] تا [۱۰]. در [۱۱] از جستجوی ممنوع برای حل مسئله بازیابی بار در شبکه های توزیع استفاده می شود. مهم ترین مزیت جستجوی ممنوع نسبت به الگوریتم ژنتیک استفاده هوشمندانه از حافظه جستجوی گذشته برای اثرگذاری در جستجوی آتی است. در [۱۲] کاربرد شبکه عصبی در بازیابی بار نشان داده شده است اما آموزش شبکه عصبی کار آسانی نیست، همچنین هزینه طراحی مجدد آن زیاد است.

در این مقاله به بررسی اثر DG در عملیات بازیابی بار پرداخته شده است و مشخصات مورد نیاز برای واحد DG جهت شرکت در عملیات

جدول ۲: زمان بازیابی برای هر یک از بارهای محدوده بی‌برق.

بار	زمان بازیابی شکل ۱-ب	زمان بازیابی شکل ۱-ج	زمان بازیابی شکل ۱-د	زمان بازیابی شکل ۱-ه
۶	t_{repair}	t_{repair}	t_{repair}	t_{repair}
۹	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}
۱۰	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}
۱۱	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}	t_{sw}
۱۲	t_{sw}	$t_{is} + t_{connect}$	t_{is}	t_{repair}
۱۳	t_{sw}	t_{is}	t_{is}	t_{is}

بی‌برق برای تغذیه تمامی بارهای ناحیه بی‌برق کافی نباشد. در این صورت بایستی از برق دار کردن بعضی از بارهای ناحیه خط صرف نظر کرد. شکل ۱-ه آرایش شبکه را در این حالت نشان می‌دهد. در این صورت بار ۱۲ زمان خاموشی به اندازه زمان رفع کامل خط (t_{repair}) متحمل می‌شود.

زمان هر طرح بازیابی به انواع عملیات انجام شده در طی فرایند بازیابی مرتبط است. جدول ۲ مقایسه بین تمام حالت‌های بررسی شده شکل‌های ۱-ب الی ۱-ه را بر اساس زمان بازیابی بارها نشان می‌دهد.

در شبکه‌های توزیع واقعی که دارای تعداد بار و سگشن‌های بیشتری هستند، یافتن یک طرح بازیابی بهینه کار پیچیده‌ای است. کمبود زمان بازیابی یک پارامتر بسیار مهم در عملیات بازیابی بار است که مستقیماً بر روی ENS شبکه تأثیرگذار است. در نتیجه یک فاکتور مهم در عملیات بازیابی کم کردن ENS می‌باشد که با انتخاب آرایشی از شبکه که دارای کمترین زمان بازیابی باشد، تحقق می‌پذیرد.

فاکتور دیگر تعداد کلیدزنی‌های انجام شده برای دست‌یافتن به یک طرح بازیابی است. بدیهی است تعداد کلیدزنی‌ها هم بر روی زمان بازیابی و هم در عمر تجهیزات کلیدزنی تأثیرگذار است. از این رو پارامتر مهم دیگر در انتخاب طرح بهینه بازیابی، کمینه بودن تعداد کلیدزنی است. فاکتور تأثیرگذار دیگر در بحث بازیابی بار اهمیت بارهاست. در صورت نیاز به بارزدایی، اهمیت بارها بایستی در نظر گرفته شود تا بارهای با اهمیت بالا تغذیه شوند.

فاکتور دیگر نوع و محدودیت‌های بهره‌برداری DGهای شرکت‌کننده در عملیات بازیابی است. باید توجه داشت مهم‌ترین خصوصیت DG برای شرکت در عملیات بازیابی بار، قابلیت جزیره‌شدن است. اولین خصوصیتی که برای ایجاد جزیره لازم است، توانایی راه‌اندازی سرد است یعنی این که ژنراتور بتواند بدون منبع ولتاژ خارجی راه‌اندازی شود. همچنین DG بایستی توانایی کنترل فرکانس و ولتاژ بار و در ضمن توانایی پاسخ‌گویی به تغییرات بار را داشته باشد [۱۳]. علاوه بر این واحد DG بایستی قابلیت ارتباط، کنترل و فرمان‌گیری از اپراتور توزیع را داشته باشد [۱۴]. همچنین ابزار لازم برای حفاظت، اتصال و سنکرون‌سازی DG با شبکه اصلی در نظر گرفته شده باشد. در صورت وجود DG از نوع انرژی ذخیره‌ای، با توجه به محدودبودن انرژی این واحدها، زمان حضور آنها وابسته به میزان توان درخواستی از آنها است. تعیین مدت زمان بهره‌برداری بهینه از واحدهای انرژی ذخیره‌ای در طی عملیات بازیابی بر روی ENS سیستم تأثیرگذار است. از سوی دیگر محل قرارگرفتن تجهیزات سنکرون‌سازی در شبکه بر طول زمان بازیابی مؤثر است. از این رو تعیین روش بهینه به‌کارگیری واحدهای انرژی ذخیره‌ای در طرح بازیابی و در نظر گرفتن محل تجهیزات سنکرون‌سازی از پیچیدگی‌های مسئله بازیابی بار در حضور DG هستند.

۳- الگوریتم پیشنهادی

۳-۱ الگوریتم جستجوی ممنوع

برای جستجوی بهترین آرایش نهایی بازیابی شبکه از تکنیک جستجوی ممنوع استفاده می‌شود. الگوریتم جستجوی ممنوع یکی از مدرن‌ترین روش‌های ابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است که در [۱۵] و [۱۶] به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها در حل مسائل بیان شده است. یک مشخصه جستجوی ممنوع نسبت به سایر روش‌های

تغذیه تمام بارهای ناحیه بی‌برق را داشته باشد. شکل ۱-ب آرایش جدید سیستم را نشان می‌دهد. در این حالت با بازکردن سکسیونر ۱۰ و بستن کلیدهای مانور ۱۳ و ۱۴ تمام بارهای ناحیه خط دوباره برق دار می‌شوند. بار گره‌های ۹ و ۱۰ توسط سگشن مانور ۱۳ و بار گره‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ توسط سگشن مانور ۱۴ تغذیه می‌شوند. سپس می‌توان DG را با عملیات سنکرون‌سازی به شبکه متصل کرد. زمان بازیابی بارهای پایین‌دست در این حالت برابر با زمان لازم برای عملیات کلیدزنی (t_{sw}) است. اگر فرض کافی بودن ظرفیت در دسترس سگشن‌های مانور برای تغذیه تمام بارهای ناحیه بی‌برق برقرار نباشد، آنگاه بایستی ظرفیت در دسترس DG را نیز در نظر گرفت. در این حالت ممکن است محدوده جزیره از قبل مشخص باشد و زمانی که تغذیه از سمت پست فوق توزیع دچار مشکل شد، بارهای انتهایی فیدر به‌وسیله یک کلید جداکننده به‌صورت جزیره توسط منبع DG تغذیه شوند. بعد از رفع خطا، بارهای جزیره توسط تجهیزات سنکرون‌سازی به شبکه اصلی متصل می‌شوند. اما نوع دیگر جزیره با محدوده متغیر است که می‌تواند با توجه به نوع خطا محدوده آن متغیر باشد. در این مقاله جزیره با محدوده متغیر مد نظر است. شکل ۱-ج آرایش بازیابی شده شبکه را به کمک DG و سگشن‌های مانور، با این فرض که ظرفیت در دسترس DG و نقاط مانور پاسخ‌گویی تمام بارهای قطع شده می‌باشد، نشان می‌دهد. بار گره‌های ۹ و ۱۰ از طریق سگشن مانور ۱۳ و بار گره ۱۱ نیز توسط سگشن مانور ۱۴ تغذیه می‌شود. بار گره‌های ۱۲ و ۱۳ نیز توسط DG به‌صورت جزیره تغذیه می‌شود. زمان بازیابی برای بارهای ۹، ۱۰ و ۱۱ برابر با t_{sw} و بار ۱۲ که در محدوده جزیره قرار دارد. علاوه بر زمانی که برای جداکردن جزیره از شبکه اصلی ($t_{connect}$) نیاز دارد، زمانی برای راه‌اندازی جزیره (t_{is}) متحمل می‌شود. بعد از رفع خطا برای بازگشت شبکه به آرایش اصلی بایستی DG با شبکه دوباره سنکرون شود که این کار از طریق گره کولپینگ مشترک که تجهیزات سنکرون‌سازی به آن متصل است، انجام می‌گیرد. پس ابتدا باری که بین مرز جزیره و محل تجهیزات سنکرون‌سازی قرار دارد بی‌برق می‌شود، سپس این بارها به شبکه اصلی متصل می‌شوند و بعد عملیات سنکرون‌سازی انجام می‌شود.

در صورتی که تجهیزات سنکرون‌سازی در مرز جزیره و شبکه اصلی قرار داشته باشد، شکل‌گرفتن جزیره و اتصال مجدد جزیره به شبکه بدون اتلاف وقت انجام می‌گیرد. شکل ۱-د آرایش بازیابی شده شبکه را در حالتی نشان می‌دهد که تجهیزات سنکرون‌سازی در مرز جزیره و شبکه قرار دارند. در این صورت بارهای متصل به سگشن‌های مانور زمان t_{sw} و بارهای محدوده جزیره زمان t_{is} را در عملیات بازیابی متحمل می‌شوند. اما حالت دیگری که وقوع آن محتمل می‌باشد این است که ظرفیت در دسترس سگشن‌های مانور همراه با ظرفیت DGهای در دسترس ناحیه

سکشن قطع شده	۹	-
سکشن وصل شده	۱۳	۱۴

شکل ۳: یک پاسخ اولیه برای آرایش شکل ۱-ب.

۶) بهینه‌ترین پاسخ همسایه را که جزو فهرست ممنوع نیست انتخاب می‌کنیم و آن را به‌عنوان پاسخ فعلی جدید در نظر می‌گیریم.
 ۷) پاسخ فعلی جدید را در فهرست ممنوع قرار می‌دهیم. اگر فهرست ممنوع حاوی MIts عضو است، ابتدا قدیمی‌ترین پاسخ را از فهرست حذف می‌کنیم و بعد پاسخ فعلی جدید را در فهرست ممنوع قرار می‌دهیم.

۸) اگر $K < IT_{max}$ به مرحله ۳ می‌رویم.

۹) بهترین پاسخ به‌دست آمده تا این مرحله به‌عنوان پاسخ نهایی در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۲ فلوجارت مربوط به الگوریتم جستجوی ممنوع را نشان می‌دهد. هر آرایش کاندید برای بازبایی را می‌توان با تغییرات اعمال شده در وضعیت کلیدها نشان داد ولی در اینجا برای کاهش حجم محاسبات فقط تغییرات سکشن‌ها نسبت به حالت اولیه را در نظر می‌گیریم. به‌طور مثال شکل ۳ یک پاسخ اولیه برای آرایش شکل ۱-ب نشان می‌دهد. سکشن ۹ سکشن متصل‌کننده گره‌های ۹ و ۱۰ است که در اینجا بایستی باز شود و کلیدهای مربوط به سکشن‌های مانوری ۱۳ و ۱۴ بایستی بسته شوند.

۳-۲ ایجاد آرایش‌های همسایه

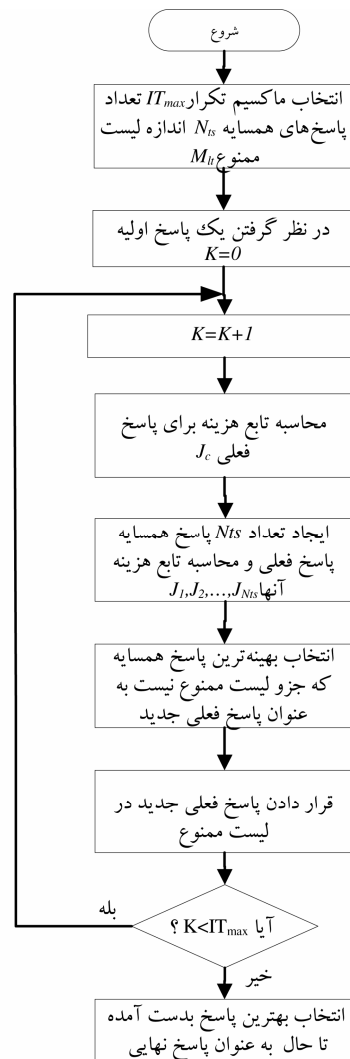
در روش جستجوی ممنوع در هر تکرار مجموعه‌ای از پاسخ‌ها (آرایش‌ها) که در همسایه پاسخ (آرایش) فعلی هستند بایستی ایجاد شوند. مجموعه پاسخ‌های همسایه با استفاده از دستورهای زیر تولید می‌شوند:

- جایگزینی اولین سکشن مانور با سکشن مانور در دسترس دیگر.
- اضافه کردن یک یا چند جفت سکشن قطع - وصل به آرایش فعلی.
- خارج کردن یک یا چند جفت سکشن قطع - وصل از آرایش فعلی.
- جایگزینی یک یا چند جفت سکشن قطع - وصل از آرایش فعلی با یک یا چند جفت سکشن قطع - وصل دیگر.

با استفاده از هر یک از دستورهای زیر به آرایش فعلی می‌توان یک آرایش همسایه تولید کرد. انتخاب جفت سکشن‌های که باید به‌ترتیب قطع و وصل شوند به‌صورت تصادفی از میان سکشن‌های که در فیدر موجود هستند، انجام می‌گیرد. در میان آرایش‌های تولیدشده آرایش‌های غیر واقعی به‌وجود خواهد آمد. به‌طور مثال ممکن است در آرایش همسایه حلقه ایجاد شود که با کنترل تمام آرایش‌های همسایه از به‌وجود آمدن حالت‌های غیر شعاعی جلوگیری به عمل خواهد آمد.

در صورتی که نیاز به بارزدایی باشد بایستی در ایجاد آرایش‌های همسایه به بارزدایی نیز توجه داشت. مدل بار در نظر گرفته به‌صورت بار غیر قابل کنترل است. بار غیر قابل کنترل قسمتی از بار است که وقتی باس تحت سرویس است، برق‌دار می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی، در ایجاد آرایش‌های همسایه با حذف یک یا چند سکشن، بارهای پایین دست این سکشن‌ها حذف می‌شوند. در حقیقت با این کار بارزدایی نیز وارد چرخه بهینه‌سازی می‌شود. در نتیجه این دستورها نیز به چهار دستور قبلی اضافه می‌شود:

- اضافه کردن یک یا چند سکشن "قطع" به پاسخ فعلی.
- جایگزینی کردن یک یا چند سکشن "قطع" به پاسخ فعلی.
- حذف کردن یک یا چند سکشن "قطع" از پاسخ فعلی.



شکل ۲: فلوجارت مراحل الگوریتم جستجوی ممنوع.

بهینه‌سازی، بهره‌گیری آن از شکل‌های انعطاف‌پذیر حافظه است. از آنجا که ممکن است پس از چند تکرار متوالی پاسخ به‌دست آمده یکی از نقاط جستجوی مراحل قبل باشد، جواب‌های چند مرحله آخر در حافظه کوتاه‌مدت قرار می‌گیرد که به آن فهرست ممنوع گفته می‌شود. بهترین پاسخ هر مرحله در فهرست ممنوع قرار می‌گیرد و قدیمی‌ترین پاسخ از فهرست حذف می‌شود. در روند حل مسئله اگر بهترین پاسخ در بین پاسخ‌های همسایه در فهرست ممنوع قرار داشت، پاسخ مورد قبول نبوده و پاسخ همسایه دیگری به‌عنوان بهترین پاسخ انتخاب می‌شود. با این کار از بازگشت به مسیرهای قبلی جلوگیری شده و با طی مسیرهای جدید فضای بیشتری مورد جستجو قرار می‌گیرد.

الگوریتم جستجوی ممنوع بدین صورت است:

- انتخاب پیشینه تکرار IT_{max} ، تعداد پاسخ‌های همسایه Nts و اندازه فهرست ممنوع $MIts$.
- در نظر گرفتن یک پاسخ اولیه $A_c (K=0)$. در این مرحله از میان سکشن‌های مانوری که قادرند به ناحیه خطا توان برسانند، یکی وصل می‌شود و آرایش به‌دست آمده به‌عنوان آرایش اولیه شبکه در نظر گرفته می‌شود.
- $K = K + 1$
- محاسبه مقدار برازندگی برای پاسخ فعلی J_c .
- ایجاد تعداد Nts پاسخ همسایه پاسخ فعلی و محاسبه برازندگی آنها J_1, J_2, \dots, J_{Nts} .

جریمه تخطی از ولتاژ از نمودار شکل ۴ تبعیت می‌کنیم. در حقیقت با انعطاف‌پذیر کردن قید ولتاژ، مصالحه‌ای بین قابلیت اطمینان و کیفیت توان سیستم صورت می‌گیرد و می‌توان بارهای بیشتری با کیفیت توان کمتری تغذیه کرد و میزان بارزدایی را کاهش داد.

اگر (۳) برقرار نبود، یعنی حداقل ولتاژ آرایش مذکور کوچک‌تر از حداقل ولتاژ بحرانی شبکه باشد، در این صورت جریمه تخطی از قید ولتاژ ($f_{penalty}^V$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$f_{penalty}^V = \alpha_v \sum_{i=1}^m \Delta V_i^2 \quad (4)$$

که در آن ΔV_i میزان اختلاف ولتاژ باس i با ولتاژ V_{min} است. جریمه تخطی از قید جریان ($f_{penalty}^I$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$f_{penalty}^I = \alpha_v \sum_{i=1}^m \Delta I_i^2 \quad (5)$$

که در آن ΔI_i میزان اختلاف جریان خط i از مقدار مجاز α_v و α_v ضرایب وزنی هستند. ضرایب وزنی α_v و α_v طوری تنظیم می‌شوند که میزان جریمه به اندازه کافی بزرگ باشد تا در جریان انتخاب پاسخ بهینه، این آرایش کنار گذاشته شود. در نهایت میزان جریمه کلی برابر است با $f_{penalty} = f_{penalty}^V + f_{penalty}^I$

محدوده بار تخمینی برای هر جزیره به صورت زیر است

$$(1-\beta) \sum (P_G)^{min} \leq \sum_{k \in N_L} P_{Lk} \leq (1-\beta) \sum (P_G)^{max} \quad (6)$$

$$(1-\beta) \sum (Q_G)^{min} \leq \sum_{k \in N_L} Q_{Lk} \leq (1-\beta) \sum (Q_G)^{max} \quad (7)$$

که β درصد میزان تلفات نسبت به کل تولید، P_G و Q_G حداکثر توان اکتیو و راکتیو تولیدی DG و P_{Lk} و Q_{Lk} بار اکتیو و راکتیو k ام است. این محدودیت‌ها به وسیله مقادیر نامی DG ها برای اجتناب از اضافه بار شدن DG ها اعمال می‌شود. اگر در آرایش‌های همسایه مجموعه بارهای در نظر گرفته شده برای یک جزیره در (۶) و (۷) صدق نکرد، از ورود این آرایش به بخش محاسبات جلوگیری می‌شود. این روش از نظر محاسباتی تعداد اجزای بخش بار را کاهش می‌دهد. باید توجه داشت که حدود بار در (۶) و (۷) با کم کردن تلفات از تولید ژنراتورها محاسبه می‌شود. β هر بار تجدید شده و پس از هر بخش بار دوباره محاسبه می‌شود.

۳-۳-۱ محاسبه زمان بازیابی برای هر بار

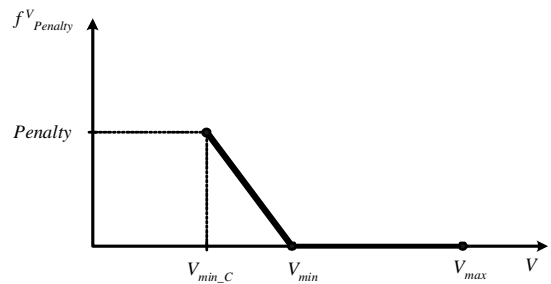
در هر آرایش زمان بازیابی بار که در محاسبه ENS بازیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت زیر انجام می‌گیرد:

اگر بار در محدوده شبکه اصلی بود زمان مورد نیاز برای بازیابی برای بار مربوطه برابر با زمان کلیدزنی (t_{sw}) است. زمان کلیدزنی از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$t = \frac{n_{sw}}{n_{op}} \times t_{sw} \quad (8)$$

که در آن n_{sw} تعداد کلیدزنی‌ها، t_{sw} زمان لازم برای هر کلیدزنی و n_{op} تعداد گروه‌های عملیات کلیدزنی است. باید توجه داشت که نسبت n_{sw} / n_{op} اگر غیر صحیح باشد باید به سمت عدد صحیح بالاتر گرد شود.

اگر بار در محدوده جزیره باشد زمان مورد نیاز برای بازیابی بار مربوطه برابر با زمان مورد نیاز برای شکل‌دادن جزیره (t_{is}) است. اگر تجهیزات سنکرون‌سازی در مرز جزیره با شبکه اصلی قرار نداشته باشد،



شکل ۴: نمودار جریمه بر اساس تخطی از محدوده ولتاژ.

۳-۳-۲ تابع هزینه

تابع هزینه F به صورت (۱) مطرح می‌شود

$$F = \sum_{i=1}^L (price_i \times P_{l_non_i} \times t_i) + \sum_{j=1}^W (t_{repair} - t_{is_j} - t_{E_j}) \times cost_{l_E_j} + f_{penalty} \quad (1)$$

که در آن $P_{l_non_i}$ توان بار بی‌برق i ام، $price_i$ قیمت بار i ، t_i زمان بازیابی بار i ، L تعداد بارهای محدوده بی‌برق، W تعداد DG های انرژی ذخیره‌ای، t_{E_j} مدت زمان بهره‌برداری از واحد انرژی ذخیره‌ای i ام، t_{is_j} زمان لازم برای شکل‌دادن جزیره، $cost_{l_E_j}$ هزینه خاموشی توان تغذیه‌شده توسط DG انرژی ذخیره‌ای j ام و t_{repair} مدت زمان رفع کامل عیب شبکه است.

بخش اول تابع هزینه، زمان و تعداد کلیدزنی‌ها را کاهش می‌دهد. با در نظر گرفتن قیمت هر ساعت خاموشی هر بار می‌توان اهمیت آن بار را در تابع هزینه، به صورت هزینه خاموشی برای آن مشترکین لحاظ کرد. در حقیقت با این کار می‌توان بیشترین بار با اهمیت بالاتر را در زمان کمتر و با تعداد کلیدزنی کمتر بازیابی کرد.

بخش دوم تابع هزینه مربوط به DG های انرژی ذخیره‌ای است. برای تعیین زمان بهره‌برداری از این منابع در فرایند بازیابی سعی می‌شود که هزینه خاموشی بارهای جزیره‌ای که توسط DG انرژی ذخیره‌ای تغذیه می‌شوند، حداقل شود. در هر آرایش زمان تداوم تغذیه توسط DG انرژی ذخیره‌ای محاسبه می‌شود

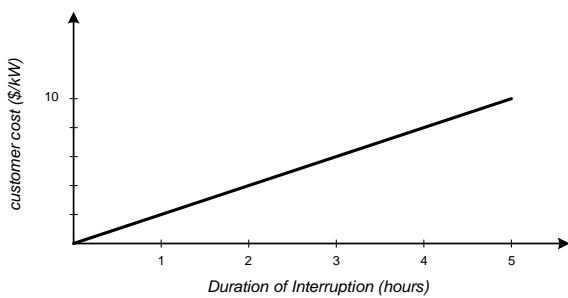
$$t_{E_j} = \frac{E_j}{(1+\beta) \times P_{l_non_E}} \quad (2)$$

که در آن E_j میزان انرژی DG، $P_{l_non_E}$ میزان توان بارهای محدوده جزیره و β درصد تلفات شبکه است. سپس اختلاف بین زمان پیش‌بینی شده برای رفع کامل عیب شبکه (t_{repair}) و زمان تداوم تغذیه توسط DG (t_{E_j}) و زمان لازم برای شکل‌دهی جزیره (t_{is_j})، در هزینه هر ساعت خاموشی مشترکین جزیره ($cost_{l_E_j}$) ضرب شده و این ترم در تابع هزینه بهینه می‌شود.

$f_{penalty}$ تابع جریمه تخطی از قیود است که در آن دو قید ولتاژ و جریان لحاظ می‌شوند. نحوه محاسبه جریمه مربوط به قید ولتاژ بدین صورت است که برای هر آرایش ولتاژ کمینه شبکه را پیدا می‌کنیم ($V_{j\ min}$). سپس رابطه زیر بررسی می‌شود

$$V_{min_C} \leq V_{j\ min} \leq V_{min} \quad (3)$$

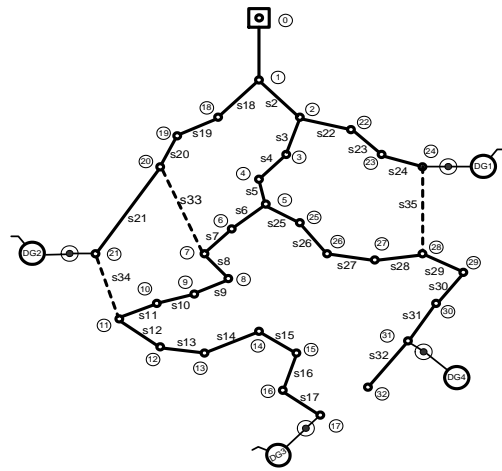
که V_{min} ولتاژ کمینه مجاز شبکه در حالت عادی است و V_{min_C} ولتاژ کمینه مجاز شبکه در حالت بحرانی است. اگر (۳) برقرار بود برای محاسبه



شکل ۶: نمودار هزینه هر کیلووات خاموشی مشترک خانگی بر اساس ساعت خاموشی.

جدول ۳: نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم.

۳۳۳	۳۳۵	وصل
-	۳۲۷	قطع



شکل ۵: دیاگرام تک‌خطی شبکه نمونه.

جدول ۴: نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم سناریوی دوم.

کلیدزنی	زمان بازبایی (دقیقه)	تابع هزینه (هزار دلار)		ENS (MWh)
		هزینه خاموشی	جریمه	
وصل	۳۳۵ ۳۳۳ ۳۳۴	۹,۲۰۲	۱,۰۲۵	۴,۰۷۷
قطع	۳۲۶ ۳۲۵ ۳۱۱ ۳۳۱ ۳۱۳	-	-	-

بارهای پایین دست کلید قطع کننده بی‌برق می‌شوند. تمام DG ها اتصال خود را از شبکه قطع می‌کنند. اپراتور توزیع بایستی ابتدا مکان خطا را بیابد و سپس آن را از شبکه ایزوله کند که ایزوله کردن خطا با بازکردن سکسیونرهای دو طرف محل خطا انجام می‌شود. سپس دوباره کلید قطع کننده ابتدای فیدر وصل شده و شبکه بالادست محل خطا برق دار می‌شود و شبکه پایین دست بی‌برق باقی می‌ماند. بار باس شماره ۴ بایستی تا زمان رفع خطا بی‌برق باقی بماند. بار باس‌های ۵ الی ۱۷ و باس‌های ۲۵ الی ۳۲ نیز قطع شده است. هدف برنامه در اینجا پیدا کردن مسیر دیگری برای تغذیه این بارها و بازبایی آنهاست. فرض می‌شود زمان‌های بازبایی مطابق جدول پ-۳ و همچنین هزینه خاموشی هر کیلووات توان اکتیو در ساعت پیک مطابق نمودار شکل ۶ محاسبه می‌شود.

با اجرای برنامه بهینه‌سازی جستجوی تابو در ۳۰ تکرار، با اندازه لیست تابو ۱۰ و تعداد نقاط همسایه ۳۰ بهترین جواب به دست آمده به عنوان پاسخ نهایی در نظر گرفته شد. جدول ۳ کلیدزنی‌های لازم برای بازبایی بارهای قطع شده را با یک گروه عملیاتی نشان می‌دهد. روند همگرایی الگوریتم جستجوی تابو در نمودار شکل ۷ ارائه شده است.

در سناریوی بعدی بارهای شبکه را افزایش می‌دهیم و با فرض ۲۸۰٪ افزایش در بارهای اکتیو و راکتیو شبکه و ۵ گروه عملیاتی مسئله بازبایی بار در حالت قبل را بررسی می‌کنیم. جدول ۴ نتایج برنامه بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

شکل ۸ آرایش شبکه را بعد از بازبایی نشان می‌دهد. همان‌طور که پیداست بارزدایی انجام گرفته است و بار ۲۵ بی‌برق مانده است. بقیه بارها با ایجاد دو جزیره و سکشن‌های مانور برق دار می‌شوند.

در سناریوی سوم فرض می‌شود DG شماره ۳ یک باتری اسید-سرب باشد. با فرض ۲۳۰٪ افزایش در بارهای شبکه بازبایی بار را در حضور DG انرژی ذخیره‌ای بررسی می‌کنیم. نتایج برنامه بازبایی در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که پیداست با توجه به انرژی واحد DG برنامه سعی کرده است که بار مناسبی را به DG اختصاص دهد به صورتی که زمان تداوم تغذیه بارهای جزیره توسط DG تا زمان

تمام بارهای مرز جزیره تا تجهیزات سنکرون‌سازی زمان خاموشی بیشتری به اندازه $t_{connect}$ متحمل می‌شوند. بارهایی که هیچ مسیری برای تغذیه ندارند، زمان خاموشی به اندازه لازم برای رفع عیب (t_{repair}) متحمل می‌شوند.

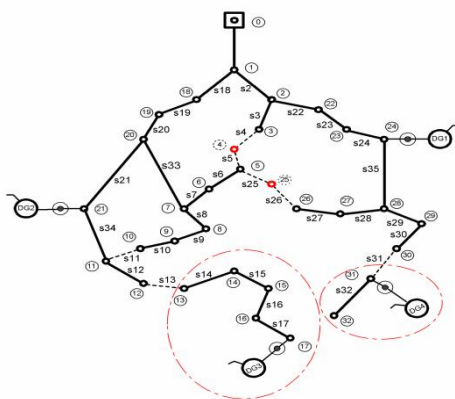
۳-۳-۲ پخش بار

پخش بار جاروب رفت و برگشت یک روش سریع برای پخش بار شعاعی است که به‌طور معمول از این پخش بار در شبکه‌های توزیع شعاعی استفاده می‌کنند. این الگوریتم در هر تکرار تا رسیدن به همگرایی شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول جریان تمام گره‌ها و در نهایت جریان تمام سکشن‌ها محاسبه می‌شود و در مرحله دوم با توجه به جریان به دست آمده در مرحله نخست ولتاژ شین‌ها محاسبه می‌گردد و این روند تا همگرایی الگوریتم ادامه می‌یابد. اما در شبکه‌های توزیع شامل تولید پراکنده اگر DG به صورت PV در نظر گرفته شود، دیگر نمی‌توان از پخش بار جاروب رفت و برگشت استفاده کرد. با توجه به این که منابع DG می‌توانند به صورت باس‌های PV و PQ باشند، پخش بار جاروب رفت و برگشت برای در نظر گرفتن منبع PV توسعه داده شده است [۱۷].

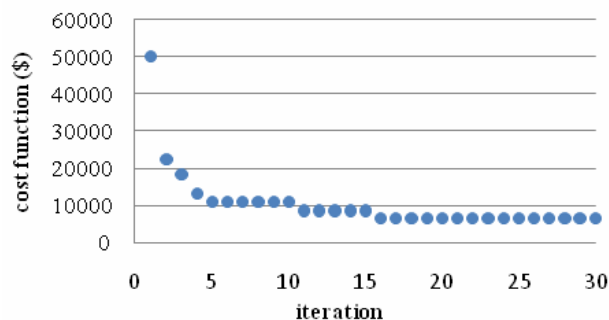
۴- شبیه‌سازی

به‌خاطر این که مطالعه مسئله بازآرایی با حضور DG سابقه چندانی ندارد، شبکه آزمون متداولی برای آن یافت نشد. به همین جهت یک شبکه توزیع مرسوم انتخاب گردیده و چند واحد تولید پراکنده به آن اضافه شده است. شبکه تست شامل ۳۲ نقطه بار، ۳۲ سکشن، ۳ خط مانوری، ۴ واحد تولید پراکنده و یک پست تغذیه می‌باشد. شکل ۵ آرایش شبکه را نشان می‌دهد. اطلاعات بار و خطوط شبکه توزیع در جدول پ-۱ در پیوست مقاله داده شده است [۱]. بارها مربوط به باس انتها است.

شبکه فوق دارای ۴ واحد تولید پراکنده است. مشخصات واحدهای DG در جدول پ-۲ در پیوست مقاله ارائه شده است. اگر خطا در سکشن ۴ اتفاق بیفتد، کلید قطع کننده بالادست خطا قطع می‌شود و در نتیجه تمام



شکل ۸: دیاگرام تک‌خطی شبکه بازیابی شده.



شکل ۷: روند همگرایی الگوریتم جستجوی ممنوع.

جدول ۵: نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم سناریوی سوم.

کلیدزنی	زمان بازیابی (دقیقه)		تابع هزینه (هزار دلار)	ENS (MWh)	زمان تداوم تغذیه DG	انرژی واحد (MWh)
	جزیره	شبکه				
- S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۲,۷۳	۲,۲۶۵	۱۵۷	۳
S۲۶ S۱۲ S۳۱	قطع	۴۵	۲,۷۳	۲,۲۶۵	۱۵۷	۳
S۳۴ S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۴,۶۴	۳,۲۵۴	۱۷۴	۲
S۳۱ S۲۸ S۱۴ S۱۱	قطع	۴۵	۴,۶۴	۳,۲۵۴	۱۷۴	۲
S۳۴ S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۷,۴۹	۳,۵۹۱	۱۲۲	۱
S۳۱ S۲۷ S۱۵ S۱۰	قطع	۴۵	۷,۴۹	۳,۵۹۱	۱۲۲	۱
S۳۴ S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۸,۸۵	۳,۷۵۴	.	.
S۳۱ S۲۶ S۱۷ S۱۱	قطع	۴۵	۸,۸۵	۳,۷۵۴	.	.

جدول ۶: نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم سناریوی چهارم.

کلیدزنی	زمان بازیابی (دقیقه)		تابع هزینه (هزار دلار)	ENS (MWh)	محل تجهیزات سنکرون‌سازی
	جزیره	شبکه			
- S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۲,۷۳	۲,۲۶	-
S۲۷ S۱۲ S۳۱	قطع	۴۵	۲,۷۳	۲,۲۶	-
- S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۲,۶۱	۱,۹۳	۱۱
S۳۱ S۲۵ S۱۱	قطع	۴۵	۲,۶۱	۱,۹۳	۱۱
S۳۳ S۳۵	وصل	۲۰	۲,۳۹	۱,۹۱	۱۳
S۳۱ S۲۷ S۱۳	قطع	۴۵	۲,۳۹	۱,۹۱	۱۳

همچنین در این روش اثر واحدهای تولید پراکنده انرژی محدود و محل تجهیزات سنکرون‌سازی در عملیات بازیابی بار در نظر گرفته شده است. می‌توان نتیجه گرفت وجود DG در انتهای شبکه در صورتی که قابلیت جزیره‌شدن داشته باشد بسیار می‌تواند در بازیابی بار مؤثر باشد. همچنین تعیین محدوده جزیره‌ای که توسط یک DG انرژی ذخیره‌ای تغذیه می‌شود، بایستی با توجه به میزان ذخیره انرژی واحد و زمان پیش‌بینی شده برای رفع خطا انجام گیرد به طوری که استفاده بهینه از واحد انرژی ذخیره‌ای انجام شود. محل تجهیزات سنکرون‌سازی در تعیین مرز جزیره بسیار مهم هستند و با وجود تجهیزات سنکرون‌سازی در شبکه در جای مناسب می‌توان باعث کاهش زمان شکل‌گرفتن جزیره و اتصال مجدد به شبکه شد.

۶- پیوست

سایر فرضیات مسئله به شرح زیر است:

رفع خطا به طول بیانجامد تا از این طریق ENS شبکه را کاهش دهد. در سناریوی چهارم اثر تجهیزات سنکرون‌سازی در عملیات بازیابی بار بررسی شده است. جدول ۶ نتایج بازیابی بار را در حالتی که تجهیزات سنکرون‌سازی در باس‌های ۱۱ و ۱۳ قرار داشته باشد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است برنامه مرز جزیره را در محل تجهیزات سنکرون‌سازی قرار می‌دهد تا بازیابی بارهای جزیره سریع‌تر صورت گیرد و ENS شبکه کاهش پیدا کند.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله روشی جهت بازیابی بار شبکه‌های توزیع در حضور تولید پراکنده ارائه می‌کند. روش ارائه‌شده الگوریتمی مبتنی بر جستجوی ممنوع، با هدف کمینه‌کردن هزینه خاموشی مشترکین طی عملیات بازیابی بار است. در این روش سعی شده که با بازآرایی، ایجاد جزیره و در نهایت بازآرایی، بیشترین بار با بیشترین اهمیت، در کمترین زمان بازیابی شود.

جدول پ-۲: مشخصات واحدهای DG.

شماره واحد	باس اتصال	ظرفیت (MVA)	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)	Q_{max} (MVAR)	Q_{min} (MVAR)	نوع بهره‌برداری	قابلیت جزیره‌شدن
۱	۲۴	۰٫۲۵	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۱۴	-۰٫۰۶	PV	بله
۲	۲۱	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۳۵	-۰٫۱۵	PV	بله
۳	۳۱	۱٫۵	۱٫۲	۰٫۵	۰٫۸۵	-۰٫۳	PV	بله
۴	۱۷	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۳	۰٫۴۲	-۰٫۱۵	PV	بله

جدول پ-۳: زمان‌های در نظر گرفته شده (دقیقه).

t_{repair}	$t_{connect}$	t_{is}	t_{sw}
۲۰۰	۲۰	۲۵	۲۰

جدول پ-۱: اطلاعات مربوط به شبکه ۳۲ باس.

شماره	ابتدا	انتهای	R (ohm)	X (ohm)	P (Kw)	Q (Kvar)
۱	۱	۲	۰٫۹۹۲	۰٫۴۷۰	۱۰۰	۶۰
۲	۲	۳	۰٫۴۹۳	۰٫۴۹۳	۹۰	۴۰
۳	۳	۴	۰٫۳۶۶	۰٫۱۸۶۴	۱۲۰	۸۰
۴	۴	۵	۰٫۳۸۱۱	۰٫۱۹۴۱	۶۰	۳۰
۵	۵	۶	۰٫۸۱۹	۰٫۷۰۷	۶۰	۲۰
۶	۶	۷	۰٫۱۸۷۲	۰٫۶۱۸۸	۲۰۰	۱۰۰
۷	۷	۸	۰٫۷۱۱۴	۰٫۲۳۵۱	۲۰۰	۱۰۰
۸	۸	۹	۱٫۰۳	۰٫۷۴	۶۰	۲۰
۹	۹	۱۰	۱٫۰۴۴	۰٫۷۴	۶۰	۲۰
۱۰	۱۰	۱۱	۰٫۱۹۶۶	۰٫۶۵	۴۵	۳۰
۱۱	۱۱	۱۲	۰٫۳۷۴۴	۰٫۱۲۳۸	۶۰	۳۵
۱۲	۱۲	۱۳	۰٫۴۶۸۰	۱٫۱۵۵	۶۰	۳۵
۱۳	۱۳	۱۴	۰٫۵۴۱۶	۰٫۷۱۲۹	۱۲۰	۸۰
۱۴	۱۴	۱۵	۰٫۵۹۱۰	۰٫۵۲۶	۶۰	۱۰
۱۵	۱۵	۱۶	۰٫۷۴۶۳	۰٫۵۴۵	۶۰	۲۰
۱۶	۱۶	۱۷	۱٫۲۸۹	۱٫۷۲۱	۶۰	۲۰
۱۷	۱۷	۱۸	۰٫۷۳۲	۰٫۵۷۴	۹۰	۴۰
۱۸	۲	۱۹	۰٫۱۶۴	۱٫۵۶۵	۹۰	۴۰
۱۹	۱۹	۲۰	۱٫۵۰۴	۱٫۳۵۵۴	۹۰	۴۰
۲۰	۲۰	۲۱	۰٫۴۰۹۵	۰٫۴۷۸۴	۹۰	۴۰
۲۱	۲۱	۲۲	۰٫۷۰۸۹	۰٫۹۳۷۳	۹۰	۴۰
۲۲	۲۲	۲۳	۰٫۴۵۱۲	۰٫۳۰۸۳	۹۰	۵۰
۲۳	۲۳	۲۴	۰٫۸۹۸	۰٫۷۰۹۱	۴۲۰	۲۰۰
۲۴	۲۴	۲۵	۰٫۸۹۶	۰٫۷۰۱۱	۴۲۰	۲۰۰
۲۵	۲۵	۲۶	۰٫۲۰۲	۰٫۱۰۳۴	۶۰	۲۵
۲۶	۲۶	۲۷	۰٫۲۸۴۲	۰٫۱۴۴۷	۶۰	۲۵
۲۷	۲۷	۲۸	۱٫۰۵۹	۰٫۹۳۳۷	۶۰	۲۰
۲۸	۲۸	۲۹	۰٫۸۰۴۲	۰٫۷۰۰۶	۱۲۰	۷۰
۲۹	۲۹	۳۰	۰٫۵۰۷۵	۰٫۲۵۸۵	۲۰۰	۶۰۰
۳۰	۳۰	۳۱	۰٫۹۷۴۴	۰٫۹۶۳	۱۵۰	۷۰
۳۱	۳۱	۳۲	۰٫۳۱۰۵	۰٫۳۶۱۹	۲۱۰	۱۰۰
۳۲	۳۲	۳۳	۰٫۳۴۱	۰٫۵۳۰۲	۶۰	۴۰
۳۳	۸	۲۱	۲	۲	۲	۲
۳۴	۱۲	۲۲	۲	۲	۲	۲
۳۵	۲۵	۲۹	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵

پارامترهای جستجوی تابو: اندازه لیست تابو ۱۰، تعداد کل تکرارها ۳۰ و تعداد نقاط همسایه ۳۰ نقطه انتخاب شد.

مراجع

- [1] E. Carpaneto, G. Chicco, and A. Prunotto, "Reliability of reconfigurable distribution systems including distributed generation," in *Proc. 9th Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 6 pp., Stockholm, Sweden, 11-15 Jun. 2006.
- [2] K. Aoki, K. Nara, M. Itoh, T. Satoh, and H. Kuwabara, "A new algorithm for service restoration in distribution systems," Paper 89 WM 085-2 PWRD, presented at the *IEEE/PES 1989 Winter Meeting*.
- [3] A. L. Morelato and A. Monticelli, "Heuristic search approach to distribution system restoration," Paper 89 WM 1 11 -6 PWRD, presented at the *IEEE/PES 1989 Winter Meeting*.
- [4] K. Aoki, T. Satoh, M. Itoh, H. Kuwabara, and M. Kanazashi, "Voltage drop constrained restoration of supply by switch operation in distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 3, no. 3, pp. 1267-1274, Jul. 1988.
- [5] I. Watanabe and M. Nodu, "A genetic algorithm for optimizing switching sequence of service restoration in distribution systems," in *Proc. Congress on Evolutionary Computation, CEC2004*, vol. 2, pp. 1683-1690, 19-23 Jun. 2004.
- [6] Y. Fukuyama and H. D. Chiang, "A parallel genetic algorithm for service restoration in electric power distribution systems," in *Proc. of the IEEE Int. 4th Conf. on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 275-282, 20-24 Mar 1995.
- [7] S. Chavali, A. Pahwa, and S. Das, "A genetic algorithm approach for optimal distribution feeder restoration during cold load pickup," in *Proc. Congress on Evolutionary Computation, CEC2002*, vol. 2, pp. 1816-1819, 12-17 May 2002.
- [8] Q. Zhou, D. Shirmohammadi, and W. E. Liu, "Distribution feeder reconfiguration for service restoration and load balancing," *IEEE Trans. on Power System*, vol. 12, no. 2, pp. 724-729, May 1997.
- [9] D. Shirmohammadi, "Service restoration in distribution networks via network reconfiguration," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 7, no. 2, pp. 952-958, Apr. 1992.
- [10] H. C. Kuo and Y. Y. Hsu, "Distribution system load estimation and service restoration using a fuzzy set approach," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 8, no. 4, pp. 1950-1957, Oct. 1993.
- [11] S. Toune, H. Fudo, T. Genji, Y. Fukuyama, and Y. Nakanishi, "A reactive Tabu Search for service restoration in electric power distribution systems," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation (ICEC)*, pp. 763-768, 4-9 May 1998.
- [12] Y. Y. Hsu and H. M. Huang, "Distribution system service restoration using the artificial neural network approach and pattern recognition method," in *IEE Proc. of Generation, Transmission, and Distribution*, vol. 142, no. 3, pp. 251-256, May 1995.
- [13] J. H. Choi, J. C. Kim, and S. I. Moon, "Integration operation of dispersed generations to automated distribution networks for network reconfiguration," in *Proc. IEEE Power Tech Conf.*, vol. 2, 5 pp., Bologna, Italy, 23-26 Jun. 2003.
- [14] Distributed Generation as a Mean of Increase System Robuthness, CRISP, EESP Project ENK5-CT_2000
- [15] F. Glover, "Tabu Search part I," *ORSA J. of Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 190-206, Summer 1989.
- [16] F. Glover, "Tabu Search part II," *ORSA J. of Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 4-32, Winter 1990.
- [17] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, "A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May 1995.

ظرفیت ترانس فوق توزیع: ۷٫۵ MVA.

نوع هادی: هادی سکشن ۱ از نوع DOG با ظرفیت ۴۱۷ آمپر در شرایط نرمال و بقیه سکشن‌ها هادی MINK با ظرفیت جریانی ۲۸۸ آمپر.

سطح ولتاژ سیستم توزیع (V_n) : ۱۲٫۶۶ kV.

محدوده ولتاژ مجاز: $۰٫۹۵ \times V_n < V < ۱٫۰۳ \times V_n$.

ولتاژ کمینه مجاز شبکه در حالت بحرانی (V_{min_C}) : $۰٫۹۳ \times V_n$.

مصطفی محمدیان در سال ۱۳۶۸ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در سال ۱۳۷۱ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه تهران دریافت نمود. پس از آن به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه کلگری، کانادا وارد گردید و در سال ۱۳۷۶ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق گردید. از سال ۱۳۷۶ الی ۱۳۷۹ نام‌برده به عنوان مهندس نرم افزار در OPISystems کلگری به کار مشغول بود. از سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۴ در سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران در تهران فعالیت کردند و دکتر محمدیان از سال ۱۳۸۴ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس در تهران مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند کنترل موتورهای الکتریکی، کاربرد ادوات الکترونیک قدرت در تولید پراکنده و کاربرد DSP در الکترونیک قدرت می‌باشد.

امین مرادخانی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد برق قدرت به ترتیب در سالهای ۱۳۸۳ از دانشگاه امیرکبیر و ۱۳۸۵ از دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است و هم‌اکنون در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهلران مشغول تدریس می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: تولید پراکنده، برنامه ریزی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع و مدیریت دارایی.

محمودرضا حقی‌فام در سال ۱۳۶۶ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه تبریز و در سال ۱۳۶۹ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه تهران دریافت نمود. در سال ۱۳۷۴ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق قدرت از دانشگاه تربیت مدرس گردید. دکتر حقی‌فام از سال ۱۳۷۴ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس در تهران مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت، تولید پراکنده، سیستم‌های تجدید ساختار، شبکه‌های توزیع و انتقال، مدیریت دارایی و شبکه‌های هوشمند می‌باشد.

Archive of SID