# بازیابی بار شبکه های توزیع با در نظر گرفتن تولید پراکنده

امین مرادخانی  دکتر محمودرضا حقی‌فام  دکتر مصطفی محمدیان

چکیده:
امروزه تعداد و اندازه ژنراتورهای تولید پراکنده (DG) متصل به سیستم‌های توزیع با سرعت در حال افزایش است. منبع DG در طی عملیات بازیابی می‌تواند با ایجاد یک جزیره عمدی باعث سرعت بخشیدن به عملیات بازیابی شود. جزیره عمدی جهت بالابردن قابلیت اطمینان بارهای انتهایی شبکه که به شاخه پشتیبان دیگری دسترسی ندارند یک گزینه مناسب است در غیر اینصورت این بارها در اثر ایجاد یک خطای دائمی بایستی قطعی طولانی را تجربه کنند. این مقاله روشی جهت بازیابی بار شبکه های توزیع در حضور DG ارائه می‌کند. روش ارائه شده، 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 بارزدایی، بیشترین بار با بیشترین اهمیت، در کمترین زمان بازیابی شود. روش ارائه شده واحدهای انرژی‌محدود و محل تجهیزات سنکرون‌سازی در شبکه را درنظر می‌گیرد. این روش بروی یک شبکه تست ۳۲ باس اجرا شده و نتایج آن ارائه شده‌است.

## ۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع متداول، انرژی از سمت منبع به صورت شعاعی به سوی مصرف‌کنندگان انتقال می‌یابد. در صورتی‌که خطایی در سیستم توزیع بوجود آید، بایستی محل خطا هر چه 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 مسیری دیگری برای تغذیه بارهای بی‌برق از سکشن‌های 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. دراین صورت با استفاده از کلیدهای مانور می‌توان تمام یا بخشی از بارهای بی-برق را دوباره برق‌دار کرد و از این طریق قابلیت اطمینان سیستم توزیع را بهبود بخشید. اما اگر محل خطا در سکشن‌های انتهایی فیدر باشد که در مجاورت منطقه بدون برق هیچ کلید مانوری وجود نداشته باشد، دیگر نمی‌توان بارهای منطقه بدون برق را برق‌دارکرد و بایستی منتظر رفع خطا شد، تا اینکه دوباره تغذیه بارها از سوی مسیر اصلی از سر گرفته‌شود.

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 از پیچیده‌تر شدن حفاظت وکنترل سیستم توزیع ، عدم قطعیت در شرایط بهره برداری و مالکیت خصوصی DG که باعث پیچیده شدن هماهنگی بین DGهای خصوصی با یکدیگر و با شبکه شده است، به عنوان اشکالات نفوذ DG در شبکه‌های توزیع نام برد.

DG به دو صورت می‌تواند در عملیات بازیابی تاثیر گذار باشد اول اینکه خود باعث ایجاد خطای اضافی شود (ایجاد جزیره ناخواسته) و دوم اینکه در طی عملیات بازیابی با ایجاد یک جزیره عمدی باعث سرعت بخشیدن به عملیات بازیابی شود. جزیره عمدی جهت بالابردن قابلیت اطمینان بارهای انتهایی شبکه که به سکشن پشتیبان دیگری دسترسی ندارند یک گزینه مناسب است. در غیر اینصورت 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 بوجود می‌آید که بخشی از سیستم توزیع فقط از منبع DG تغذیه‌شود. که به موارد زیر تفکیک می‌شود:

جزیره‌شدن ناخواسته (non-intentional islanding ) : وقتی اتفاق می‌افتد که بعد از وقوع خطا امکان قطع اتصال DG از شبکه وجود نداشته باشد. جزیره ناخواسته بایستی سریعا شناخته‌شود و از سیستم حذف شود.

جزیره‌شدن عمدی(intentional islanding) : به ایجاد جزیره با طرح ازپیش تعیین‌شده اطلاق می‌شود این جزیره‌ها بایستی توسط یک منبع مطمئن تغذیه شوند که بتوانند ولتاژ و فرکانس و کیفیت تغذیه را تضمین کنند. در اینصورت می‌تواند نقش مهمی در کمک به فرایند بازیابی بار انجام‌دهد [۱].

شبکه‌های کوچک(microgrids) : به نوع بخصوصی از جزیره عمدی اطلاق می‌شوند که اساسا بصورت مستقل کار می‌کنند و به شبکه متصل نیستند. تمام شبکه‌های کوچک را می‌توان سیستم توزیع با یک نقطه بار در نظر گرفت. و برای برطرف کردن ملاحظات قابلیت اطمینان یک بار محلی طراحی شده اند[۱].

بعد از وقوع خطا در سیستم توزیع جهت اجتناب از اثر منفی DG بروی 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 را نداشته باشد بایستی اتصال DG قطع شود. کلید قطع کننده DG بایستی بتواند هنگامی که خطا در ناحیه جزیره اتفاق می‌افتد آن را تشخیص دهد و اتصال مجدد جزیره جلوگیری کند. بعد از رفع خطا اتصال مجدد جزیره به شبکه بایستی در شرایطی که جزیره با شبکه اصلی سنکرون شده است، صورت گیرد. مهمترین خصوصیت DG برای شرکت در عملیات بازیابی بار قابلیت جزیره‌شدن است. اولین خصوصیت که برای ایجاد جزیره لازم است، توانایی خودراه‌اندازی(Black Start) است. یعنی اینکه ژنراتور بتواند بدون منبع ولتاژ خارجی راه‌اندازی شود. همچنین DG بایستی توانایی کنترل فرکانس و ولتاژ بار را داشته باشد. در ضمن توانایی پاسخگویی به تغییرات بار را داشته‌باشد[۲]. علاوه براین واحد DG بایستی قابلیت ارتباط ،کنترل و فرمان‌گیری از اپراتور توزیع را داشته باشد[۳]. همچنین ابزار لازم برای حفاظت، اتصال و سنکرون‌سازی DG با شبکه اصلی در نظر گرفته شده-باشد

بازیابی بار یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده ترکیبی است. در مراجع[۵-۴] از روش‌های ابتکاری برای حل مسئله بازیابی بار در شبکه‌های متداول(بدون DG) بهره جسته‌اند. اما این روش‌ها وابسته به تجربه و تخصص متخصصان است و در همه ساختارهای متفاوت شبکه‌های توزیع کارایی ندارد. یعنی هزینه طراحی مجدد آن زیاد است. لیکن در مورد یک شبکه خاص پاسخ مناسبی می‌دهند. اما این پاسخ لزوماً پاسخ بهینه نیست. در مراجع [۷-۶] نیز برای بهینه‌سازی عملیات بازیابی از الگوریتم ژنتیک بهره‌گیری شده است. در حل مسائل بازیابی بار نظریه فازی معمولا با ترکیب یک روش ابتکاری دیگر مطرح شده است[۹-۸]. در مرجع [۱۰] از جستجوی ممنوع( Tubo Search) برای حل مسئله بازیابی بار در شبکه‌های توزیع استفاده می‌شود. مهمترین مزیت جستجوی ممنوع نسبت به الگوریتم ژنتیک استفاده هوشمندانه از حافظه جستجوی گذشته برای اثرگذاری در جستجوی آتی است. در [۱۱] 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 الگوریتمی مبتنی بر جستجوی ممنوع برای طرح بازیابی در حضور DG با هدف کاهش هزینه خاموشی ارائه می‌شود. در این الگوریتم DG های انرژی ذخیره‌ای و تجهیزات سنکرون‌سازی در شبکه را در نظر گرفته می‌شود. همچنین قیود شعاعی ماندن شبکه، عدم تخطی از جریان مجاز خطوط و ولتاژ باس‌ها و محدودیت ظرفیت منابع مدل شده‌اند. در نهایت اجرای الگوریتم بروی شبکه تست ۳۲ باس ارائه می‌شود. باید خاطرنشان 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 شده‌اند.

## ۲- الگوریتم پیشنهادی

برای جستجوی بهترین آرایش نهایی بازیابی شبکه ازتکنیک جستجوی ممنوع استفاده می‌شود. الگوریتم جستجوی ممنوع یکی از مدرن‌ترین روش‌های هوشمند برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی است که در [۱۲و۱۳] به عنوان یکی از موثرترین روش‌ها در حل مسائل بیان شده‌است یک مشخصه جستجوی ممنوع نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی، بهره‌گیری آن از شکل‌های انعطاف پذیر حافظه‌است. از آنجا که ممکن است پس از چند تکرار متوالی پاسخ بدست آمده یکی از نقاط جستجوی مراحل قبل باشد. جواب های چند مرحله آخر درحافظه‌ی کوتاه مدت قرار می‌گیردکه به آن فهرست ممنوع گفته می‌شود. بهترین پاسخ هرمرحله در فهرست ممنوعه 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 به عنوان 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:

۱. انتخاب بیشینه‌ی تکرار$IT_{max}$، تعداد پاسخ‌های همسایه $N_{ts}$ و اندازه فهرست ممنوع$M_{lts}$ .
۲. در نظر گرفتن یک پاسخ اولیه $A_c$ (K=۰) .در این مرحله از میان سکشن‌های مانوری که قادرند به ناحیه خطا توان برسانند، یکی وصل می‌شود و آرایش بدست آمده به عنوان آرایش اولیه شبکه در نظر گرفته می‌شود.
۳. K=K+۱.
۴. محاسبه مقدار برازندگی برای پاسخ فعلی $J_c$.
۵. ایجاد تعداد Nts پاسخ همسایه پاسخ فعلی و محاسبه برازندگی آنها $J_1,J_2,\ldots,J_{Nts}$
۶. بهینه‌ترین پاسخ همسایه را که جزو فهرست ممنوع نیست انتخاب می‌کنیم. وآن را به عنوان پاسخ فعلی جدید در نظر می‌گیریم.
۷. پاسخ فعلی جدید را در فهرست ممنوع قرار می‌دهیم.اگر فهرست ممنوع حاوی $M_{lts}$ عضو است, ابتدا قدیمی‌ترین پاسخ را از فهرست حذف می‌کنیم و بعد پاسخ فعلی جدید را در فهرست ممنوع قرار می‌دهیم.
۸. اگر $K<IT_{max}$ برو به ۳ .
۹. بهترین پاسخ بدست آمده تا حال را به عنوان پاسخ نهایی در نظر گرفته می‌شود.

هر آرایش کاندید برای بازیابی 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 رادر نظر می‌گیریم.

### ۲-۱ ایجاد آرایش‌های همسایه

در روش جستجوی ممنوع در هر تکرار مجموعه ای 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 هریک از دستورهای زیر به آرایش فعلی می‌توان یک آرایش همسایه تولید کرد. انتخاب جفت سکشن‌های که باید به ترتیب قطع و وصل شوند بصورت تصادفی از میان سکشن‌های که در فیدر موجود هستند، انجام می‌گیرد. در میان

آرایش‌های تولید شده آرایش‌های غیرواقعی بوجود خواهد آمد. بطور مثال ممکن است در آرایش همسایه حلقه ایجاد شود که با کنترل تمام آرایش‌های همسایه از بوجود آمدن حالت‌های غیرشعاعی جلوگیری به عمل خواهد آمد.

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

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

## ۲-۲ تابع هزینه

تابع هزینه F بصورت رابطه (۱) طرح می‌شود:

$$F = \sum_{i=1}^{L}\left(price_i \times P_{l_non_i} \times t_i\right) + \sum_{j=1}^{W}\left(t_{repair} - t_{is_j} - t_{E_j}\right) \times \cos t_{l_E_j} + f_{penalty} \quad (۱)$$

که:

$P_{l_non_i}$ : توان بار بی‌برق i ام

$\text{price}_i$ : هزینه خاموشی 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 شکل دادن جزیره

$\cos t_{l_E_j}$: هزینه خاموشی توان تغذیه شده توسط DG انرژی ذخیره‌ای j ام

$t_{repair}$: مدت زمان رفع کامل عیب شبکه

بخش اول تابع هزینه درحقیقت زمان و تعداد کلیدزنی‌ها را کاهش می‌دهد. با در نظر گرفتن هزینه خاموشی هر بار می‌توان اهمیت آن بار را در تابع هزینه، بصورت هزینه خاموشی برای آن مشترکین لحاظ کرد. درحقیقت با اینکار 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 سپس اختلاف بین زمان پیش‌بین 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 ( $\cos t_{l_E_j}$ ) ضرب‌شده 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. برای هر آرایش ولتاژ جریمه تخطی از قید ولتاژ( $f^V_{penalty}$ )، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$f^V_{penalty} = \alpha_1 \sum_{i=1}^{m} \Delta V_i^2 \quad (۲)$$

$\Delta V_i$ :میزان اختلاف ولتاژ باس i با ولتاژ $V_{\min}$

جریمه تخطی از قید جریان ( $f^I_{penalty}$ )، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f^I_{penalty} = \alpha_2 \sum_{i=1}^{m} \Delta I_i^2 \quad (۳)$$

که در اینجا:

$\Delta I_i$ : میزان اختلاف جریان خط i ام از مقدار مجاز.

$\alpha_1, \alpha_2$ : ضرایب وزنی.

ضرایب وزنی $\alpha_1, \alpha_2$ طوری تنظیم می‌شوند که میزان جریمه به اندازه کافی بزرگ باشد تا درجریان انتخاب پاسخ بهینه، این آرایش کنارگذاشته شود.

در نهایت میزان جریمه کلی برابر است با

$$f_{penalty} = f^V_{penalty} + f^I_{penalty}$$

محدوده بار تخمینی برای هرجزیره به صورت زیر است:

$$(1-\beta)\sum\left(P_G\right)^{\min} \le \sum_{k \in N_i} P_{Lk} \le (1-\beta)\sum\left(P_G\right)^{\max} \quad (۴)$$

$$(1-\beta)\sum\left(Q_G\right)^{\min} \le \sum_{k \in N_i} Q_{Lk} \le (1-\beta)\sum\left(Q_G\right)^{\max} \quad (۵)$$

$\beta$: درصد میزان تلفات نسبت به کل تولید

$P_G$ و$Q_G$ : حداکثر توان اکتیو و راکتیو تولیدی DG

$P_{Lk}$ و$Q_{Lk}$ : بار اکتیو و راکتیو k ام

این محدودیتها به وسیله مقادیر نامی DG ها برای اجتناب از اضافه بار شدن DG ها اعمال می‌شود. اگر در آرایش های همسایه مجموعه بارهای در نظر گرفته شده برای یک جزیره در رابطه‌های (۴) و (۵) صدق نکرد، از ورود این آرایش به بخش محاسبات جلوگیری می‌شود. این روش از نظر محاسباتی تعداد اجراهای پخش بار را کاهش می‌دهد.

### ۲-۲-۱ محاسبه زمان بازیابی برای هر بار

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

۱. 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:

$$t = \frac{n_sw}{n_op} \times t_{sw} \qquad (۶)$$

n_sw : تعداد کلید زنی‌ها

t_sw : زمان لازم برای هر کلیدزنی

n_op : تعداد گروه‌های عملیات کلیدزنی

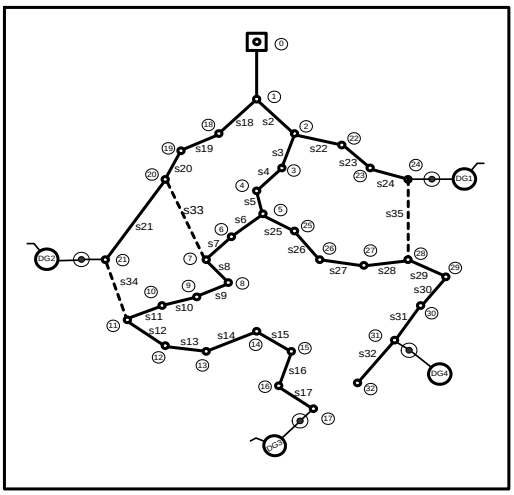
باید توجه داشت که نسبت $\frac{n_sw}{n_op}$ اگر غیرصحیح باشد باید به سمت عدد صحیح بالاتر" گِرد" شود.

۲. اگر بار در محدوده جزیره باشد زمان مورد نیاز برای بازیابی برای بار مربوطه برابر با زمان مورد نیاز برای شکل دادن جزیره ($t_{is}$) است. اگر تجهیزات سنکرون‌سازی در مرز جزیره با شبکه اصلی قرار نداشته باشد، تمام بارهای مرزجزیره تا تجهیزات سنکرون‌سازی زمان خاموشی بیشتری به اندازه $t_{connect}$ متحمل می‌شوند.

۳. بارهایی که هیچ مسیری برای تغذیه ندارند، زمان خاموشی به اندازه زمان لازم برای رفع عیب($t_{repair}$) متحمل می‌شوند.

## ۳- شبیه سازی

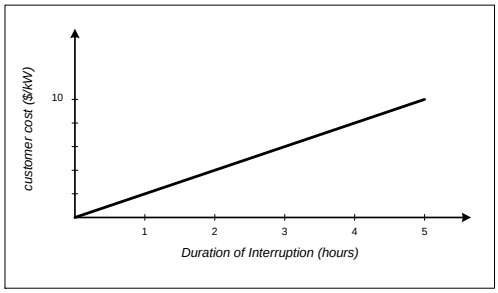
شبکه آزمون شامل ۳۲ نقطه بار، ۳۲ سکشن، ۳ خط مانوری و یک پست تغذیه می‌باشد. شکل(۱) آرایش شبکه را نشان می‌دهد. اطلاعات بار و خطوط شبکه توزیع در جدول (۷) در پیوست مقاله داده شده است. شبکه فوق دارای ۴ واحد تولید پراکنده است. مشخصات واحدهای DG در جدول (۶) در پیوست مقاله ارائه شده‌است. اگر خطا در سکشن ۴ اتفاق بیفتد، کلید قطع کننده بالادست خطا قطع می‌شود در نتیجه تمام بارهای پایین دست کلید قطع کننده بی برق می‌شوند.تمام DGها اتصال خود را از شبکه قطع می‌کنند.



شکل(۱):دیاگرام تک خطی شبکه نمونه

اپراتور توزیع بایستی ابتدا مکان خطا را بیابد سپس آن را از شبکه ایزوله کند. ایزوله‌کردن خطا با باز کردن سکسیونرهای دوطرفِ محلِ خطا انجام می‌شود سپس دوباره کلید قطع‌کننده ابتدای فیدر وصل شده و شبکه بالادست محل خطا برق‌دار می‌شود و شبکه پایین‌دست 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 شده‌است. هدف ما در اینجا پیدا کردن مسیر دیگری برای تغذیه این بارها و بازیابی آنهاست.

فرض می‌شود زمان های بازیابی مطابق جدول(۵) (پیوست) و همچنین هزینه خاموشی هر کیلوات توان اکتیو در ساعت پیک مطابق نمودار(۲) محاسبه می‌شود:



شکل(۲): نمودار هزینه هر کیلو وات خاموشی مشترک خانگی بر اساس

جدول (۱) کلیدزنی های لازم برای بازیابی بارهای قطع‌شده را با یک گروه عملیاتی نشان می‌دهد.

جدول(۱) : نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم

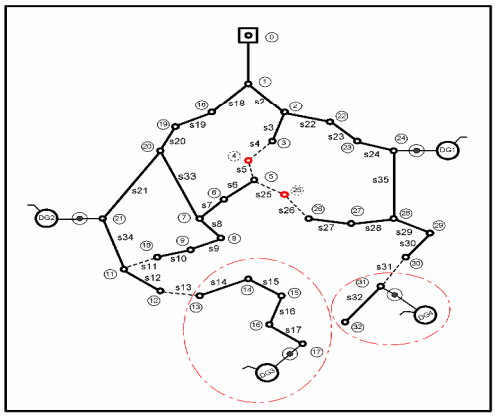
| وصل | S۳۷ | S۳۳ |
|---|---|---|
| قطع | S۲۷ | - |

درسناریوی بعدی بارهای شبکه را افزایش می‌دهیم و با فرض ۲۸۰٪ افزایش در بارهای اکتیو و راکتیو شبکه و ۵ گروه عملیاتی مسئله بازیابی بار درحالت قبل را بررسی می‌کنیم. جدول (۲) پاسخ بدست آمده را نشان می‌دهد.

جدول(۲) : نتایج عملیات کلیدزنی‌های لازم سناریوی دوم

| ENS (MWh) | تابع هزینه (هزاردلار) | | زمان بازیابی (دقیقه) | کلیدزنی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | جریمه | هزینه‌خاموشی | | | | | | | |
| ۴/۰۷۷ | ۰/۰۲۵ | ۹/۲۰۲ | ۴۰ | وصل | S۳۴ | S۳۳ | S۳۵ | - | - |
| | | | | قطع | S۱۳ | S۳۱ | S۱۱ | S۲۵ | S۲۶ |

شکل(۳) آرایش شبکه را بعد از بازیابی نشان می‌دهد. همانطور که پیداست بارزدایی انجام گرفته‌است و بار ۲۵ بی‌برق مانده است. بقیه بارها با ایجاد دو جزیره و سکشن‌های مانور برق‌دار می‌شوند.



شکل(۳): دیاگرام تک خطی شبکه بازیابی شده

درسناریو سوم فرض می‌شود DG شماره ۳ یک باطری اسید-سرب باشد با فرض ۲۳۰٪ افزایش در بارهای شبکه بازیابی بار را در حضور DG انرژی‌ذخیره‌ای بررسی می‌کنیم. نتایج برنامه بازیابی در جدول (۳)نشان داده شده است. همانطور که پیداست که باتوجه به انرژی واحد DGبرنامه سعی کرده‌است که بار مناسبی را به DG اختصاص دهد به صورتیکه زمان تداوم تغذیه بارهای جزیره توسط DG تا زمان 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 شده‌است. جدول (۴) نتایج بازیابی بار را در حالتی‌که تجهیزات سنکرون‌سازی در باس‌های ۱۱ و ۱۳ قرار داشته باشد را نشان می‌دهد. همانطور که پیداست برنامه مرز جزیره را در محل تجهیزات سنکرون‌سازی قرار می‌دهد تا بازیابی بارهای جزیره سریع‌تر صورت گیرد و ENS شبکه کاهش پیدا کند.

جدول(۳) : نتایج عملیات کلیدزنی لازم سناریوی سوم

| انرژی واحد (MWh) | زمان تداوم تغذیه DG | ENS (MWh) | تابع هزینه (هزار دلار) | زمان بازیابی (دقیقه) | | کلیدزنی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | شبکه | جزیره | | | | | | |
| ۳ | ۱۵۷ | ۲/۲۶۵ | ۲/۷۳ | ۲۰ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | - | | |
| | | | | | | قطع | S۳۱ | S۱۲ | S۲۶ | | |
| ۲ | ۱۷۴ | ۳/۲۵۴ | ۴/۶۴ | ۴۰ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | S۳۴ | | |
| | | | | | | قطع | S۱۱ | S۱۴ | S۲۸ | S۳۱ | |
| ۱ | ۱۲۲ | ۳/۵۹۱ | ۷/۴۹ | ۴۰ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | S۳۴ | | |
| | | | | | | قطع | S۱۰ | S۱۵ | S۲۷ | S۳۱ | |
| ۰ | ۰ | ۳/۷۵۴ | ۸/۸۵ | ۴۰ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | S۳۴ | | |
| | | | | | | قطع | S۱۱ | S۱۷ | S۲۶ | S۳۱ | |

جدول(۴) : نتایج عملیات کلیدزنی لازم سناریوی چهارم

| محل تجهیزات سنکرون‌سازی | ENS (MWh) | تابع هزینه (هزاردلار) | زمان بازیابی (دقیقه) | | | کلیدزنی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | شبکه | جزیره | | | | | | |
| | | | | ۳ | ۴ | | | | | |
| - | ۲/۲۶ | ۲/۷۳ | ۲۰ | ۴۵ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | - | |
| | | | | | | قطع | S۳۱ | S۱۲ | S۲۷ | |
| ۱۱ | ۱/۹۳ | ۲/۶۱ | ۲۰ | ۲۵ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | - | |
| | | | | | | قطع | S۱۱ | S۲۵ | S۳۱ | |
| ۱۳ | ۱/۹۱ | ۲/۳۹ | ۲۰ | ۲۵ | ۴۵ | وصل | S۳۵ | S۳۳ | | |
| | | | | | | قطع | S۱۳ | S۲۷ | S۳۱ | |

## ۴- نتیجه‌گیری:

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

این روش اثر واحدهای تولید پراکنده انرژی‌محدود و محل تجهیزات سنکرون‌سازی در عملیات بازیابی بار درنظر گرفته شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت وجود *DG* در انتهای شبکه در صورتیکه قابلیت جزیره شدن داشته باشد بسیار می‌تواند در بازیابی بار موثر 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. بطوریکه استفاده بهینه از واحد انرژی ذخیره‌ای انجام شود. محل تجهیزات سنکرون‌سازی در تعیین مرز جزیره بسیار مهم هستند. و با وجود تجهیزات سنکرون سازی در شبکه در جای مناسب می‌توان باعث کاهش زمان شکل گرفتن جزیره و اتصال مجدد به شبکه شد.

## ۵- مراجع

[۱] E. Carpaneto, G. Chicco and A. Prunotto," Reliability of reconfigurable distribution systems including distributed generation", ۹th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, KTH, Stockholm, Sweden – June ۱۱-۱۵, ۲۰۰۶

[۲] Joon-Ho Choi, Jae-Chul Kim, Seung-Il Moon," Integration Operation of Dispersed Generations to Automated Distribution Networks for Network Reconfiguration", IEEE Power Tech Conference, June ۲۳th-۲۶th, Bologna, Itali, ۲۰۰۳

[۳] "Distributed generation as a mean of increase system robuthness" ,CRISP , EESP Project ENK۵-CT_۲۰۰۰

[۴]. K. Aoki, K. Nara, M. Itoh, T. Satoh, and H. Kuwabara, "A new algorithm for service restoration in distribution systems," Paper ۸۹ WM ۰۸۵-۲ PWRD, presented at the IEEE/PES ۱۹۸۹ Winter Meeting.

[۵]. A. L. Morelato and A. Monticelli, "Heuristic search approach to distribution system restoration," Paper ۸۹ WM ۱ ۱۱ -۶ PWRD, presented at the IEEE/PES ۱۹۸۹ Winter Meeting.

[۶] Isamu Watanabe, Makoto Nodu," A Genetic Algorithm for Optimizing Switching Sequence of Service Restoration in Distribution Systems" IEEE ۰-۷۸۰۳-۸۵.۲۰۰۴

[۷] Y. Fukuyama and H. D. Chiang, "A parallel genetic algorithm for service restoration in electric power distribution systems:' in Pmc. sfthe ۱۹۹۵ IEEE Internotiom۱ Conference on Fuuy Systems, ۱۹۹۵. pp. ۲۷۵-۲۸۲.

[۸]. Q. Zhou, D. Shirmohammadi, W. E. Liu, " Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing" IEEE Trans. on Power system, Vol. ۱۲, No.۲ May ۱۹۹۷, PP.۷۲۴-۷۲۹.

[۹]. D. Shirmohammadi, "Service Restoration in Distribution Networks Via Network Reconfiguration," IEEE Trans. on Power Delivery, April ۱۹۹۲, PP.۹۵۲-۹۵۸

[۱۰]. S. Toune, H. Fudo, T. Genji, Y. Fukuyama, Y. Nakanishi, "A Reactive Tabu Search for Service Restoiration in Electric Power Distribution Systems", Proc. Of IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC) ۱۹۹۸

[۱۱]. Hsu, Y.Y. and Huang, H.M., "Distribution System Service Restoration using the Artificial Neural Network Approach and Pattern Recognition Method", IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, Vol. ۱۴۲, No. ۳, May ۱۹۹۵, pp. ۲۵۱-۲۵۶

[۱۲]. F. Glover, "Tabu Search Part I", ORSA(۰perations Research Society of America) Journal of Computing, Vol. ۱, NO. ۳, Summer ۱۹۸۹.

[۱۳] F. Glover, "Tabu Search Part II", ORSA Journal of Computing, Vol. ۲, NO. ۱, Winter ۱۹۹۰.

## ۶- پیوست

جدول(۵): زمان‌های در نظر گرفته شده برای عملیات بازیابی

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

جدول(۶):مشخصات واحدهای *DG*

| شماره واحد | باس اتصال | ظرفیت (*MVA*) | $P_{max}$ (*MW*) | $P_{min}$ (*MW*) | $Q_{max}$ (*MVAR*) | $Q_{min}$ (*MVAR*) | نوع بهره-برداری | قابلیت جزیره شدن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۰/۲۵ | /۲ | /۱ | ۰/۱۴ | /۰۶ | *PV* | بله |
| ۲ | ۲ | ۰/۶ | /۵ | /۲ | ۰/۳۵ | /۱۵ | *PV* | بله |
| ۳ | ۳ | ۱/۵ | /۲ | /۵ | ۰/۸۵ | ۰/۳ | *PV* | بله |
| ۴ | ۱ | ۰/۸ | /۷ | /۳ | ۰/۴۲ | /۱۵ | *PV* | بله |

سایر فرضیات مسئله به شرح زیر است:

- ظرفیت ترانس فوق توزیع : ۷/۵MVA
- 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: $۰/۹۵\times V_n < V < ۱/۰۳\times V_n$
- پارامترهای جستجوی تابو: اندازه لیست تابو ۱۰ و تعداد کل تکرارها ۳۰

جدول (۷) اطلاعات شبکه نمونه را نشان می‌دهد بارها مربوط به باس انتها است.

جدول (۷)- اطلاعات مربوط به شبکه ۳۲ باس

| شماره | ابتدا | انتها | R (ohm) | X (ohm) | P (Kw) | Q (Kvar) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۲ | .۰۹۹۲ | .۰۴۷۰ | ۱۰۰ | ۶۰ |
| ۲ | ۲ | ۳ | .۴۹۳ | .۴۹۳ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۳ | ۳ | ۴ | .۳۶۶ | .۱۸۶۴ | ۱۲۰ | ۸۰ |
| ۴ | ۴ | ۵ | .۳۸۱۱ | .۱۹۴۱ | ۶۰ | ۳۰ |
| ۵ | ۵ | ۶ | .۸۱۹ | .۷۰۷ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۶ | ۶ | ۷ | .۱۸۷۲ | .۶۱۸۸ | ۲۰۰ | ۱۰۰ |
| ۷ | ۷ | ۸ | .۷۱۱۴ | .۲۳۵۱ | ۲۰۰ | ۱۰۰ |
| ۸ | ۸ | ۹ | ۱,۰۳ | .۷۴ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۹ | ۹ | ۱۰ | ۱,۰۴۴ | .۷۴ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۱ | .۱۹۶۶ | .۰۶۵ | ۴۵ | ۳۰ |
| ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ | .۳۷۴۴ | .۱۲۳۸ | ۶۰ | ۳۵ |
| ۱۲ | ۱۲ | ۱۳ | .۴۶۸۰ | ۱,۱۵۵ | ۶۰ | ۳۵ |
| ۱۳ | ۱۳ | ۱۴ | .۵۴۱۶ | .۷۱۲۹ | ۱۲۰ | ۸۰ |
| ۱۴ | ۱۴ | ۱۵ | .۵۹۱۰ | .۵۲۶ | ۶۰ | ۱۰ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۶ | .۷۴۶۳ | .۵۴۵ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۱۶ | ۱۶ | ۱۷ | ۱,۲۸۹ | ۱,۷۲۱ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۱۷ | ۱۷ | ۱۸ | .۷۳۲ | .۵۷۴ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۱۸ | ۲ | ۱۹ | .۱۶۴ | ۱,۵۶۵ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۱۹ | ۱۹ | ۲۰ | ۱,۵۰۴ | ۱,۳۵۵۴ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۲۰ | ۲۰ | ۲۱ | .۴۰۹۵ | .۴۷۸۴ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۲۱ | ۲۱ | ۲۲ | .۷۰۸۹ | .۹۳۷۳ | ۹۰ | ۴۰ |
| ۲۲ | ۲۲ | ۲۳ | .۴۵۱۲ | .۳۰۸۳ | ۹۰ | ۵۰ |
| ۲۳ | ۲۳ | ۲۴ | .۸۹۸ | .۷۰۹۱ | ۴۲۰ | ۲۰۰ |
| ۲۴ | ۲۴ | ۲۵ | .۸۹۶ | .۷۰۱۱ | ۴۲۰ | ۲۰۰ |
| ۲۵ | ۲۵ | ۲۶ | .۲۰۳ | .۱۰۳۴ | ۶۰ | ۲۵ |
| ۲۶ | ۲۶ | ۲۷ | .۲۸۴۲ | .۱۴۴۷ | ۶۰ | ۲۵ |
| ۲۷ | ۲۷ | ۲۸ | ۱,۰۵۹ | .۹۳۳۷ | ۶۰ | ۲۰ |
| ۲۸ | ۲۸ | ۲۹ | .۸۰۴۲ | .۷۰۰۶ | ۱۲۰ | ۷۰ |
| ۲۹ | ۲۹ | ۳۰ | .۵۰۷۵ | .۲۵۸۵ | ۲۰۰ | ۶۰۰ |
| ۳۰ | ۳۰ | ۳۱ | .۹۷۴۴ | .۹۶۳ | ۱۵۰ | ۷۰ |
| ۳۱ | ۳۱ | ۳۲ | .۳۱۰۵ | .۳۶۱۹ | ۲۱۰ | ۱۰۰ |
| ۳۲ | ۳۲ | ۳۳ | .۳۴۱ | .۵۳۰۲ | ۶۰ | ۴۰ |
| ۳۳ | ۸ | ۲۱ | ۲ | ۲ | | |
| ۳۴ | ۱۲ | ۲۲ | ۲ | ۲ | | |
| ۳۵ | ۲۵ | ۲۹ | .۵ | .۵ | | |

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.