

ارائه یک طرح حفاظت ویژه برای مقابله با پیشامدهای شدید ناحیه فارس در جنوب شبکه سراسری ایران

حمید غلامی دهکردی^۱ محمد احمدیان^۲ مجتبی خدرزاده^۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران

hamiddehkordi@gmail.com

۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران

M_ahmadian@sbu.ac.ir

۳- دانشیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران

Khederzadeh@yahoo.com

چکیده: در سال‌های اخیر استفاده از طرح‌های حفاظت ویژه بدلیل تأثیر قابل توجه این طرح‌ها در بهبود عملکرد سیستم‌های قدرت، کاربرد روزافزونی پیدا کرده است. هدف این مقاله طراحی یک طرح حفاظت ویژه برای مقابله با پیشامدهای شدیدی است که در صورت وقوع منجر به فروپاشی شبکه انتقال ناحیه فارس می‌گردد. به این منظور، ابتدا یک گراف از شبکه ناحیه فارس ارائه می‌شود تا تصویر واضح و روشنی از مسیرهای انتقال توان این ناحیه بدست آید. سپس با کمک الگوریتم پیشنهادی این مقاله، پیشامدهای بحرانی با استفاده از نرم‌افزار DigSILENT بررسی و شناسایی شدند. در نهایت برای مقابله با این پیشامدها، دو طرح حفاظت ویژه "قطع تولید" و "قطع بار" به عنوان طرح‌های رایج به همراه طرح "کلیدزنی خطوط انتقال" به عنوان طرح حفاظت ویژه جدید ارائه شده در این مقاله، مطرح گردیده است. نتایج بدست آمده از اجرای این طرح‌ها نشان‌دهنده کارایی و عملکرد قابل قبول آنها در مقابله با حوادث و پیشامدهای شناسایی شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل پیشامد، پیشامدهای شدید، طرح حفاظت ویژه، طرح قطع تولید، طرح قطع بار، طرح کلیدزنی خطوط انتقال

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش قبول مشروط: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲

نام نویسنده‌ی مسئول: محمد احمدیان

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - تهران - بزرگ راه شهید بابائی خیابان سازمان آب، دانشگاه شهید بهشتی پردیس فنی شهید عباسپور

دانشکده مهندسی برق

۱- مقدمه

سیستم‌های قدرت دارای زیر ساخت‌های بحرانی هستند که در مدار بودن آن‌ها از نظر اقتصادی امری حیاتی و ضروری می‌باشد. تولید پیوسته انرژی الکتریکی به منظور برطرف کردن تقاضای مصرف از لحاظ فنی کاری است پیچیده، که تخمین حالت زمان واقعی سیستم به همراه کنترل و هماهنگی واحدهای تولیدی در تحویل دادن انرژی الکتریکی ایمن به مصرف کننده را درگیر می‌کند. در نتیجه، امنیت سیستم قدرت به یک نگرانی بزرگ در سرتاسر دنیا تبدیل گردیده است.

امروزه سیستم‌های قدرت به سه دلیل عمده نسبت به قبل در برابر انواع حوادث و اختلالات بزرگ و کوچک آسیب‌پذیرتر شده‌اند و ممکن است حتی یک عیب کوچک در یک تجهیز، سبب بروز حوادث بعدی در شبکه و نهایتاً فروپاشی کل سیستم قدرت گردد. این دلایل عبارتند از: اولاً تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت و خصوصی‌سازی صنعت برق سبب گردیده که بهره‌برداران سیستم‌های قدرت و مالکان شرکت‌های برق از حداکثر ظرفیت بارگذاری شبکه‌های خود بهره‌برداری کنند. ثانیاً به دلیل رشد پیوسته سیستم‌های قدرت و اتصال بارهای جدید به شبکه‌های برق میزان بارگیری از شبکه‌های برق بیش از پیش افزایش یافته است. ثالثاً با توجه به شرایط فعلی بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، احتمال وقوع پیشامدهایی وجود دارد که در مرحله طراحی سیستم‌های قدرت در نظر گرفته نشده بودند.

بهره‌برداران سیستم‌های قدرت به منظور مقابله با این شرایط و بالابردن امنیت سیستم‌های قدرت در شرایط جدید دو راه حل کلی را در پیش‌رو دارند. راه حل اول مبتنی بر ساخت تجهیزات جدید (شامل اضافه کردن خط، واحد نیروگاهی یا واحد ترانسفورماتوری جدید به شبکه) به منظور بالابردن امنیت شبکه‌های برق می‌باشد. اما به کارگیری این روش دارای سه مشکل عمده و اساسی است: مشکل اول قیود زیست محیطی و کمبود زمین مناسب برای ساخت تجهیزات جدید انتقال است که مانع ساخت تجهیزات جدید در شبکه‌های برق می‌گردد. مشکل دوم زمان‌بر بودن فرآیند ساخت تجهیزات جدید انتقال می‌باشد. ساخت تجهیزات جدید مدت زمانی بین چند ماه تا چند سال طول می‌کشد که ممکن است در این فاصله حادثه‌ای در شبکه رخ دهد که تبعات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. مشکل سوم که اکثر شبکه‌های برق با آن مواجه هستند، مشکلات اقتصادی و کمبود امکانات مالی برای ساخت تجهیزات جدید می‌باشد که عملاً حتی اگر دو مشکل اول و دوم نیز برطرف گردد، این مشکل مانع تحقق گزینه ساخت تجهیزات جدید به منظور بالابردن امنیت سیستم‌های قدرت می‌شود.

با توجه به این موانع، بهره‌برداران به فکر استفاده از روشی افتادند که این مشکلات را نداشته و بتوانند با کمترین هزینه، امنیت سیستم‌های قدرت را تأمین کنند. به این منظور، استفاده از طرح‌های حفاظت

ویژه به عنوان یک راه حل مناسب برای بالابردن امنیت سیستم‌های قدرت مطرح گردید.

در یک تقسیم‌بندی کلی حفاظت سیستم‌های قدرت می‌تواند به دو دسته اصلی شامل: حفاظت تجهیز و حفاظت سیستم تقسیم شود. حفاظت تجهیز (واحد)، خطاها و شرایط غیرعادی در اجزای سیستم قدرت را تشخیص می‌دهد و از جریان‌های خطرناک و اضافه یا افت ولتاژها به منظور جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزاتی از قبیل فیدرهای توزیع فشار ضعیف و متوسط، ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع، باسبارها، کلیدهای قدرت، ژنراتورها و خطوط انتقال فشار قوی و غیره جلوگیری می‌کند. به دلیل اینکه هدف از حفاظت تجهیز اساساً تشخیص خطاها و شرایط غیرعادی در اجزای سیستم قدرت و شروع قطع آن‌ها از طریق کلیدهای قدرت به منظور جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات می‌باشد، لذا بحث حفظ یکپارچگی و پایداری کل سیستم قدرت در برابر حوادث ناگهانی در این نوع حفاظت‌ها مطرح نمی‌باشد. بطور کلی حفاظت تجهیز با دو مشکل عمده مواجه می‌باشد: اولاً به دنبال وقوع یک خطا یا عیب در سیستم، این حفاظت تنها از آسیب دیدن تجهیز مربوط به خود جلوگیری می‌کند و نمی‌تواند مانع از فروپاشی کل سیستم قدرت شود. ثانیاً این حفاظت اقدامات خود را براساس اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های محلی انجام می‌دهد، و تنها با اقدامات محلی تجهیزات حفاظتی، حفظ پایداری و امنیت کل سیستم دشوار خواهد بود.

در نتیجه امروزه در مقابل حفاظت تجهیز، طرح‌های حفاظت سیستم که به طور ناحیه گسترده به کار می‌روند و واحدهای مختلفی را در برمی‌گیرند، استفاده می‌شوند. در واقع این طرح‌ها نسل جدید حفاظت در سیستم‌های قدرت می‌باشند که حتی در شرایطی که هیچ تجهیز در معرض آسیب نمی‌باشد، می‌توانند عمل کنند. اساساً طرح‌های حفاظتی برای مقابله با اختلالات شدید و یا معمولی سیستم قدرت طراحی می‌شوند، و برای این منظور تجهیزات مختلف سیستم قدرت را برای حفاظت، جمع آوری اطلاعات و اجرای اقدامات اصلاحی به کار می‌گیرند. طرح حفاظت ویژه اغلب به عنوان نقشه‌ی دفاعی در مقابل اختلالات شدید، شناسایی شده شناخته شده است. در ادامه برنامه‌های دفاعی و SPS‌های پیاده‌شده در شبکه‌های برق جهان به منظور جلوگیری از خاموشی‌های بزرگ و با مطالعات و بررسی‌های انجام شده در این زمینه، به اختصار مرور خواهد شد:

چشم اندازی از برنامه دفاعی برزیل در مقابل اختلالات شدید در مرجع [۱] معرفی شده است. این برنامه بدنبال خاموشی ۱۱ مارچ سال ۱۹۹۹ که منجر به از دست رفتن ۲۵ گیگاوات از بار و شدیدترین حادثه در تاریخ سیستم قدرت برزیل بود ایجاد شد. این حادثه بر روی زندگی ۷۵ میلیون نفر در حدود ۴ ساعت تأثیر گذاشت. از مفاهیم مناطق حفاظتی و ماتریس امنیت شبکه در این برنامه استفاده شده است. در مرجع [۲] یک طرح حفاظتی با اندازه‌گیری‌های زاویه و دامنه ولتاژ برای شناسایی خروج از سنکرونیزم، برای برنامه دفاعی فرانسه

۲- طرح‌های حفاظت ویژه

براساس تعریف IEEE، طرح حفاظت ویژه "طرح حفاظت سیستم برای تشخیص شرایط غیرعادی سیستم و انجام اقدامات اصلاحی از قبل تعیین شده (به غیر از جدا کردن عناصری که خطا بر روی آنها رخ داده) به منظور حفظ یکپارچگی و ایجاد عملکرد قابل قبول سیستم" است [۱۱]. از این طرح‌ها برای نگهداری ولتاژها در حد قابل قبول، بارگذاری قابل قبول تجهیزات و تأمین پایداری سیستم استفاده شده‌است.

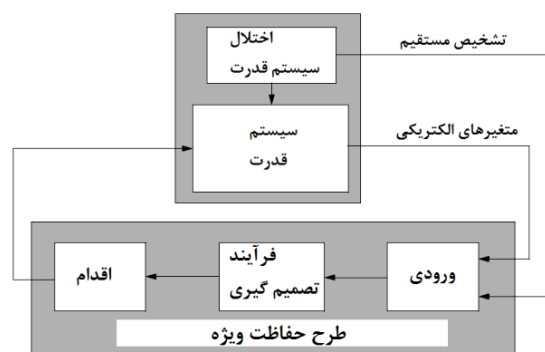
به طور کلی ۵ دلیل زیر به عنوان دلایل اصلی استفاده از SPS در سیستم‌های قدرت مطرح شده است: [۱۲]

- ۱- امکان بهره‌برداری نزدیک‌تر سیستم قدرت به حدود پایداری خود،
- ۲- جبران تأخیرات برنامه ساخت تجهیزات شبکه،
- ۳- بهبود بهره‌برداری سیستم قدرت،
- ۴- افزایش ظرفیت انتقال شبکه،
- ۵- افزایش امنیت سیستم قدرت.

در این مقاله دلیل آخر، یعنی استفاده از طرح‌های حفاظت ویژه (SPS) به منظور افزایش امنیت سیستم قدرت بدنبال پیشامدهای شدیدی که می‌تواند منجر به فروپاشی شبکه شود، مورد نظر می‌باشد.

۲-۱- ساختار کلی طرح‌های حفاظت ویژه

شکل (۱) ساختار یک SPS را نشان می‌دهد. به طور کلی تمامی SPSها شامل سه تابع اصلی می‌باشند. ابتدا SPS، اطلاعات ورودی را از سیستم قدرت جمع‌آوری می‌کند. در مرحله بعد، طرح حفاظتی اطلاعات ورودی را ارزیابی می‌کند و تصمیمات لازم برای انجام اقدامات اصلاحی را می‌گیرد. این کار در بلوک "فرآیند تصمیم‌گیری" انجام می‌شود. نهایتاً اقداماتی که توسط بلوک "اقدام" فعال شده‌اند، توسط SPS اجرا می‌شوند. اقدامات نوعی ممکن است شامل حذف بار یا حذف ژنراتور باشد.



شکل (۱): ساختار کلی طرح حفاظت ویژه

با توجه به شکل بالا، SPSها براساس متغیرهای ورودی، می‌توانند به دو گروه "مبتنی بر پاسخ سیستم" و "مبتنی بر رخداد" دسته‌بندی شوند. SPS "مبتنی بر پاسخ سیستم" از سیگنال‌های ورودی مانند

ارائه شده است. در مرجع [۳] یک SPS جامع، مطمئن و امن در شرکت برق استرالیا بدنبال قطع ارتباط DC بین شبکه برق تاسمانیا و استرالیا برای حفظ تمامیت سیستم طراحی شده است. این طرح حفاظتی دو هدف دارد: هدف اول کنترل فرکانس سیستم به دنبال خروج خط ارتباطی و هدف دوم کم کردن اضافه بارهای خطوط انتقال در زمان بهره‌برداری عادی از این ارتباط.

یک سیستم حفاظت ویژه برای حداقل کردن ظرفیت تولید برنامه-ریزی شده برای شبکه چند منظوره پالو ورود واقع در جنوب غربی ایالت متحده آمریکا طراحی شده است. پیاده‌سازی این SPS که با قطع مستقیم ژنراتور آغاز می‌شود می‌تواند تأثیر آسیب به شبکه را به خاطر خروج مدار دابل در کریدور عادی حداقل کند، ظرفیت انتقال توان شبکه انتقال را بالا ببرد و همچنین می‌تواند از خروج‌های پی‌درپی بر روی سیستم موجود جلوگیری کند [۴]. در مرجع [۵] یک طرح حفاظت ویژه توسط شرکت برق کره برای مقابله با افت بحرانی پروفیل ولتاژ در یک بخش از سیستم بعد از خروج یک برج دو مداره در شبکه ارائه شده است. بدون استفاده از این طرح حفاظتی، Zone 3 رله فعال شده و این بخش از مدار را قطع می‌کند که می‌تواند با یک سری حوادث پی در پی، منجر به خاموشی یک ناحیه از سیستم شود.

مرجع [۶] یک طرح حذف بار زیر فرکانسی را به عنوان طرح حفاظت ویژه در یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای معرفی می‌کند. این طرح برای حفاظت تمامیت جزیره‌هایی که به دنبال خروج خطوط ارتباطی بین دو ناحیه ایجاد می‌شوند، در واقع سیستم اتصال شبکه برق خراسان به شبکه برق سراسری ایران، ارائه شده است. مرجع [۷] به تشریح SPS های به کار گرفته شده در جنوبی ترین منطقه هند با توجه به رشد سریع این سیستم، و مطالعه تأثیر عدم به کارگیری اقدامات اصلاحی در شرایط بروز حوادث، می‌پردازد. مرجع [۸] مفهوم SPS را برای حل مشکلات ناپایداری گذرا در سیستم قدرت تایوان به عنوان یک سیستم قدرت طولی و ایزوله شده نشان می‌دهد. در این مقاله نتیجه‌گیری شده است که به کارگیری SPS می‌تواند به اپراتورها برای حفظ پایداری سیستم قدرت در برابر حوادث N-3 کمک کند.

طرح‌های حذف تولید (GRS) به عنوان یکی از متداول‌ترین طرح‌های حفاظت ویژه می‌باشند، این طرح‌ها و اکثر SPSها معمولاً براساس مطالعات آفلاین طراحی می‌شوند. در شرایط کنونی که شبکه دائماً در حال گسترش و توسعه می‌باشد ممکن است که این طرح‌ها کارایی لازم را نداشته باشند. به این منظور مراجع [۹] و [۱۰] الگوریتم‌های برخط، و اثر تعیین پارامترهای برخط GRS را برای پیش بینی عملکرد طرح مورد نظر، بررسی می‌کنند.

در ادامه این مقاله و در بخش ۲ تعریف طرح حفاظت ویژه، ساختار کلی این طرح‌ها و فرآیند طراحی SPS بیان می‌شود. شبیه‌سازی‌ها و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها به طور مفصل در بخش ۳ نشان داده شده است. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات در بخش ۴ بیان شده است.

ولتاژ و فرکانس استفاده می‌کند. SPS ای که ورودی آن یک رخداد خاص (یا ترکیب خاصی از رخ داده‌ها) مثل قطع یک خط معین باشد، "مبتنی بر رخداد" نامیده می‌شود.

برتری اصلی SPS مبتنی بر رخداد سرعت بسیار بالای آن است. ایده اساسی طرح‌های مبتنی بر رخداد، آغاز سریع اقدامات اصلاحی و قبل از اینکه رفتار کل سیستم دچار انحطاط شود، می‌باشد. طرح‌های مبتنی بر رخداد معمولاً براساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های آفلاین اجرا می‌گردند.

طرح‌های مبتنی بر پاسخ سیستم ذاتاً کندتر از طرح‌های مبتنی بر رخداد هستند، چراکه باید منتظر پاسخ سیستم بمانند؛ برای مثال افت دامنه ولتاژ و یا فرکانس در زیر یک محدوده خاص. از طرف دیگر طرح‌های مبتنی بر پاسخ سیستم از طرح‌های مبتنی بر رخداد، جامع‌تر می‌باشند. طرح‌های حفاظت ویژه به کار گرفته شده در این مقاله، از نوع طرح‌های مبتنی بر رخداد هستند که از سرعت عمل بالایی برای مقابله با پیشامدهای شدید و ناگهانی برخوردار می‌باشند.

۲-۲- فرآیند طراحی SPS

به طور کلی فرآیند طراحی SPS به پنج مرحله زیر تقسیم شده است [13]:

- ۱- مطالعه‌ی سیستم
- ۲- پیشنهاد راه حل
- ۳- طراحی و پیاده سازی

۴- انجام آزمون‌های لازم

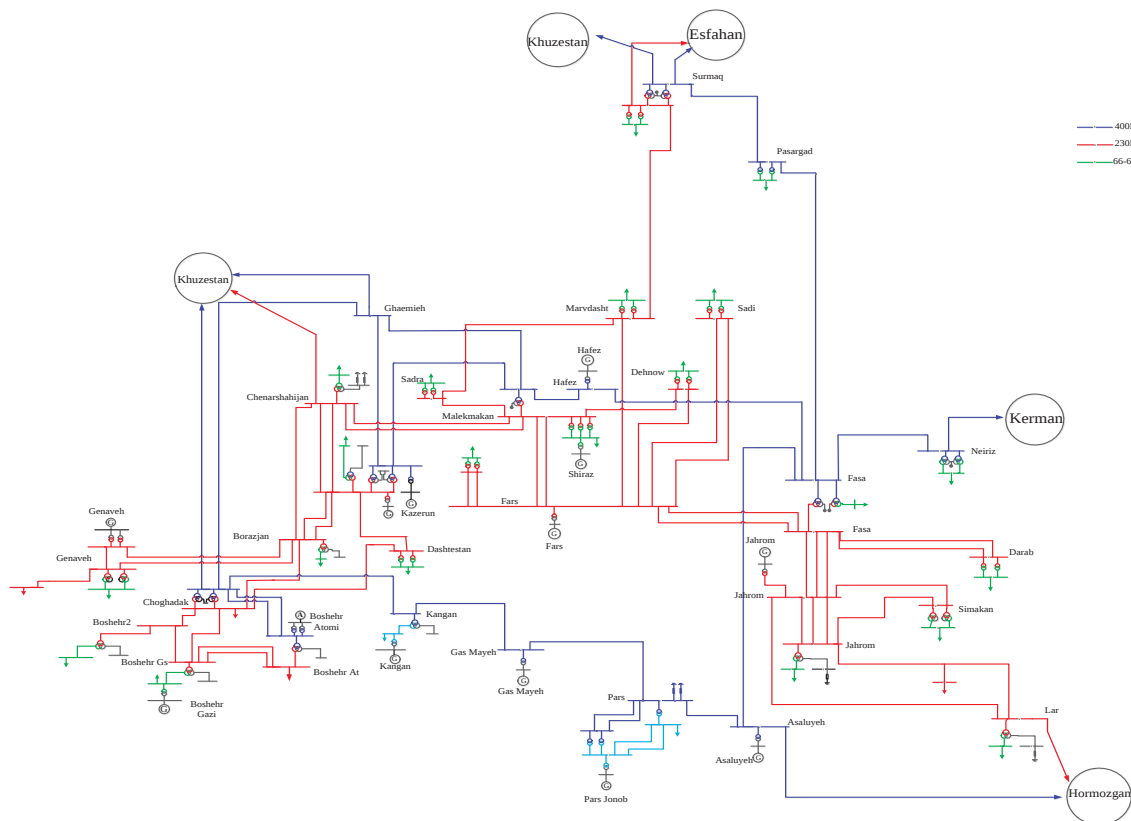
۵- آموزش و مستند سازی

در این مقاله تنها مراحل اول و دوم از فرآیند کلی پیاده‌سازی SPS مورد نظر است و پیاده‌سازی و اجرای سخت‌افزاری طرح‌های حفاظت ویژه بر روی شبکه، مد نظر نمی‌باشد.

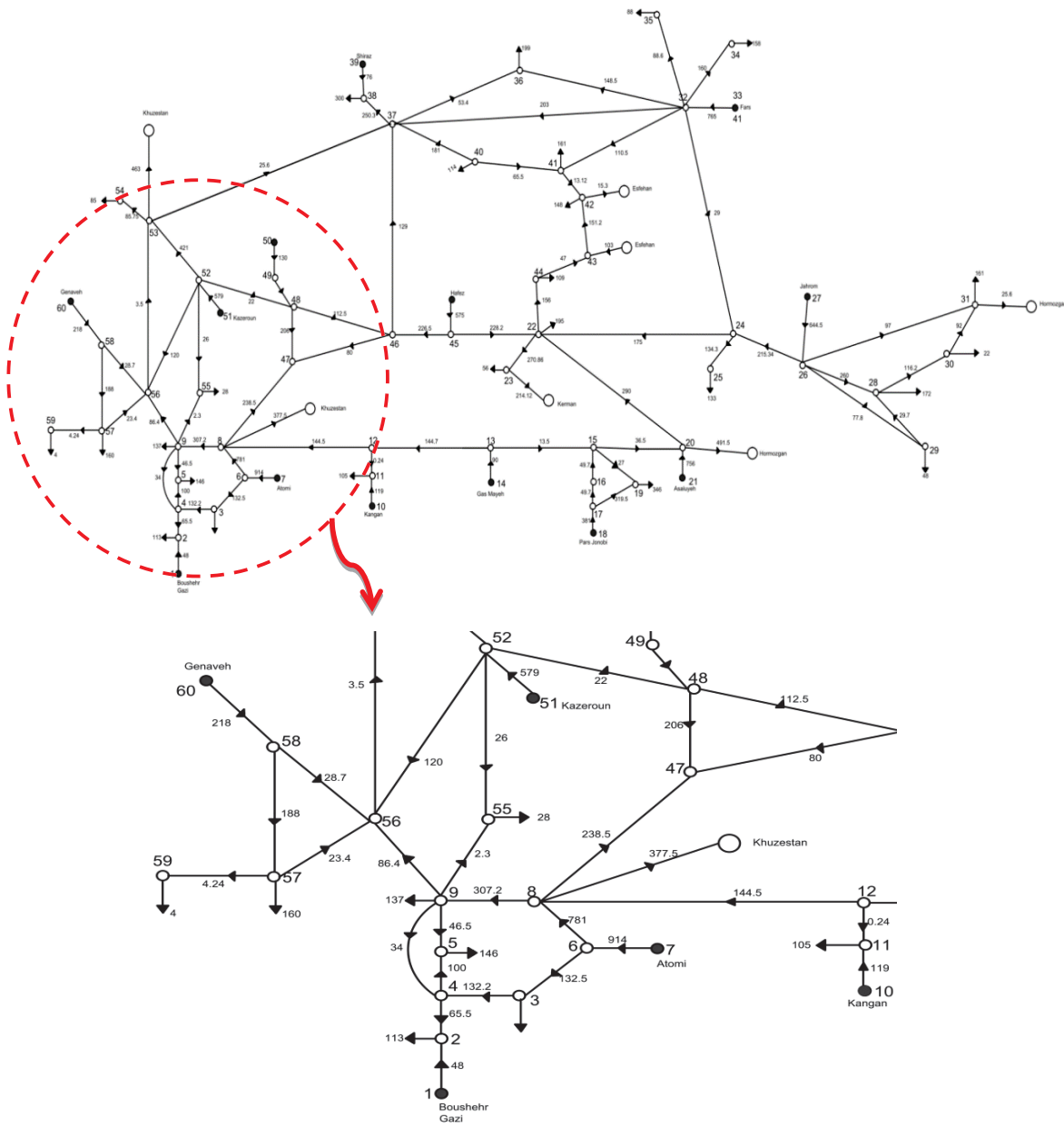
۳- شبیه‌سازی و ارائه نتایج

۳-۱- معرفی شبکه

شبکه سراسری برق ایران عملاً کل مناطق مسکونی کشور را پوشش می‌دهد. این شبکه، از طریق خطوط انتقال بین ناحیه‌ای به کشورهای آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان، افغانستان، پاکستان، ترکیه و عراق متصل شده است. شبکه انتقال برق ایران شامل خطوط انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت می‌باشد. این شبکه به ۱۶ ناحیه تقسیم شده است و نیروگاه اتمی بوشهر که انتقال مطمئن تولید آن یکی از انگیزه‌های این تحقیق بوده است، در ناحیه فارس، در جنوب شبکه برق ایران قرار گرفته است. شکل (۲) دیاگرام تک خطی شبکه انتقال ناحیه فارس را در نرم‌افزار DIGSILENT و شکل (۳) مدل گراف آن را نشان می‌دهد.



شکل (۲): دیاگرام تک خطی شبکه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت فارس در نرم افزار DIGSILENT



شکل (۳): نمایش مدل گراف شبکه برق ایران - منطقه فارس

میزان ۱۶- مگاوات در ساعت اوج مصرف تابستان، تبادل توان دارد. با توجه به قابلیت بالا و دقت نرم افزار DigSILENT در مدلسازی استاتیکی رفتار تجهیزات مختلف سیستم در شبکه های بزرگ و همچنین داشتن تابع مخصوص به منظور تحلیل پیشامدها در این نرم افزار، همه مطالعات و شبیه سازی های این مقاله توسط نرم افزار DigSILENT و به صورت استاتیکی انجام شده است.

در زمان انجام این مطالعه، ناحیه فارس دارای ۴۷ واحد تولیدی و ۸۰ خط انتقال ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، ۷۶۵۳ مگاوات ظرفیت نصب شده تولید، حداکثر تولید همزمان ناحیه ۵۵۵۴ مگاوات و مجموع بار مصرفی ۳۶۵۸ مگاوات می باشد.

این ناحیه با نواحی خوزستان به میزان ۱۱۰۸ مگاوات، هرمزگان به میزان ۵۰۹ مگاوات، کرمان به میزان ۲۱۳ مگاوات و اصفهان به

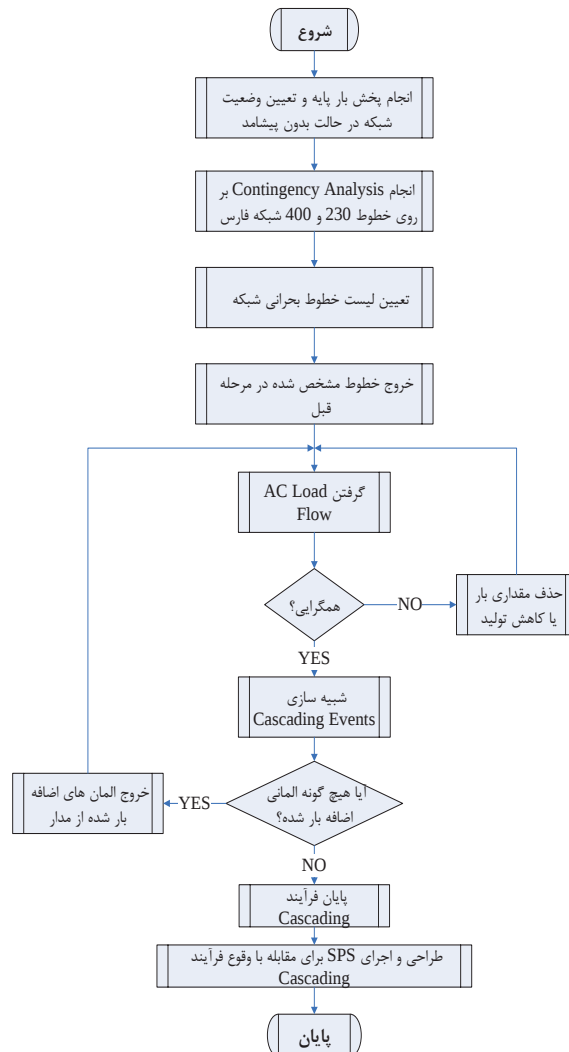
۲-۳- تحلیل پیشامد

ابتدا برای سادگی کار و به منظور نشان دادن روش تحلیل پیشامد بدون پیچیدگی اضافی، پی بردن به مسیرها و نحوه انتقال توان و ارتباط نیروگاه‌ها با شبکه و بارهای اطراف نیروگاه‌ها؛ یک مدل گرافیکی ساده شده از شبکه ایران برای ناحیه فارس رسم شده است (شکل ۳). در این گراف، جهت خطوط مسیر انتقال توان (۸۵ لینک ارتباطی) را نشان می‌دهند. نیروگاه‌ها توسط گره‌های سیاه رنگ و پست‌های ارتباطی و پست‌های بار با گره‌های سفید رنگ نشان داده شده است (۶۰ گره). به این ترتیب گراف شبکه فارس بدست آمده است. در واقع با توجه به دلایل زیر تحلیل این نوع از پیشامدها در شبکه‌های برق ضروری می‌باشد:

- در سال‌های اخیر احتمال خطر حملات خرابکارانه نسبت به شبکه‌های انتقال برق منجر به توجه بیشتر صنعت برق به این گونه حوادث شده است. همچنین نوع دیگری از حوادث بحرانی توسط بلایای طبیعی، خرابی‌های غیربرنامه‌ریزی شده تجهیزات یا خطاهای انسانی وجود دارد. به این منظور شناسایی نقاط حساس شبکه در صورت وقوع چنین حوادثی، به منظور ارائه راه-کارهای مناسب برای مقابله با تبعات این حوادث به منظور حفظ پایداری سیستم امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد.
- به دلیل نیاز به امنیت تامین برق برای محیط‌های مهم از قبیل خطوط برق انتقال دهنده توان نیروگاه‌های هسته-ای و کریدورهای مهم ولتاژ بالا، باید معیارهای N-2 و N-3 نیز در این محیط‌ها ارزیابی گردد.
- در نهایت با توجه به اینکه از SPS برای پیشامدهای بحرانی و شدید در سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود، بنابراین ضروری است که تحلیل پیشامدهای N-3 یا معیارهای بالاتر نیز در نظر گرفته شود.

شکل ۴ فلوجارت نحوه تحلیل پیشامدها و روند کار برای طراحی SPS را در این مقاله نشان می‌دهد. برنامه به کار رفته شده به منظور شناسایی پیشامدهای شدید و بحرانی طبق این فلوجارت شامل دو قسمت می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود شبیه‌سازی‌ها از یک حالت عادی سیستم آغاز می‌شوند. در آغاز هر مرحله، سیستم به این حالت بازمی‌گردد، ابتدا با استفاده از اجرای برنامه تحلیل پیشامدها در نرم‌افزار DigSILENT و از طریق خروجی این برنامه لیست خطوط و مسیرهایی را که در صورت قطع آن‌ها از مدار، سایر المان‌های شبکه دچار اضافه بار شدید می‌شوند استخراج کرده و در مرحله بعد از بین لیست استخراج شده خطوطی که منجر به وقوع فرآیند خروج پی‌درپی

می‌شوند را شناسایی می‌کنیم.



شکل (۴): فلوجارت پیشنهادی به منظور اجرای برنامه تحلیل پیشامد و شناسایی پیشامدهای بحرانی

اجرای این مرحله به صورت زیر می‌باشد: یکی از مسیرهای انتقال توان (خط، ترانس) از مدار خارج می‌گردد و مجدداً از شبکه پخش بار گرفته می‌شود اگر پخش بار همگرا نشود، بدین معنی است که اگر بهره‌بردار عکس‌العمل مناسبی انجام ندهد، سیستم دچار فروپاشی ولتاژ خواهد شد. همچنین فرض می‌شود که بهره‌بردار، هم نظارت و درک کافی از شرایط سیستم و هم زمان کافی دارد، تا با حذف بار از فروپاشی جلوگیری کند. در حذف بار، به جای استفاده از یک الگوریتم خاص برای یافتن مقدار بهینه حذف بار، حذف بار بصورت پله‌های ۵ درصدی در ناحیه‌ای که بیشترین افت ولتاژ وجود دارد، انجام می‌گیرد. حذف بارهای ۵ درصدی ادامه می‌یابد تا اینکه پخش بار همگرا گردد.

۳-۲-۱- تحلیل پیشامد در حالت پرباری

مشخصات شبکه برق ایران در حالت پرباری، در تاریخ ۹۱/۰۵/۲۰

به صورت زیر می باشد:

• مجموع ظرفیت نصب شده در شبکه: ۵۸۲۹۵/۳۵ MW

• مجموع توان تولیدی شبکه: ۴۳۹۱۷/۹۱ MW

• مجموع بار کل شبکه: ۴۳۰۸۷/۰۵ MW

۳-۲-۱-۱- بررسی سناریوهای N-1

جدول (۱) نتایج حاصل از مرحله اول الگوریتم شناسایی پیشامد و خروجی برنامه DigSILENT در شناسایی خطوط و المان هایی که خروج آن ها منجر به اضافه بار سایر المان ها می گردد را نشان می دهد. در مرحله بعد طبق الگوریتم پیشنهادی از بین پیشامدهایی که منجر به اضافه بار سایر المان ها می گردند، پیشامدهایی که منجر به وقوع خرابی پی در پی می شوند را شناسایی می کنیم. با توجه به الگوریتم برای پیشامدهای N-1، پیشامدی که سبب خرابی پی در پی شود شناسایی نگردید.

اگر حذف بار در یک ناحیه کافی نبود، در مناطق همسایه نیز حذف صورت می گیرد. اگر پس از تعداد معینی حذف بار، پخش بار همگرا نشد، فرض می شود فروپاشی صورت گرفته است.

در صورتیکه پس از حذف بار، پخش بار همگرا شد، شارش توان در شاخه های مختلف بررسی می شود. اگر توان انتقالی شاخه ای از مقدار نامی آن فراتر رفته باشد، فرض می شود آن شاخه از مدار خارج شده است، لذا پخش توان مجدد و در صورت نیاز برای رسیدن به همگرایی، حذف بار مجدد صورت می گیرد. در نهایت اگر این سناریو منجر به خروج یک یا تعدادی از عناصر و در نتیجه جدا شدن برخی از بارها گردد، طراحی SPS به منظور مقابله با فرآیند خرابی پی در پی (CF) و توقف آن در همان مرحله اول و جلوگیری از ناپایداری شبکه انجام می پذیرد.

تحلیل پیشامدها بر روی شبکه مورد مطالعه (شبکه ناحیه فارس) براساس فلوچارت ارائه شده در سه حالت پرباری، کم باری و میان باری با توجه به اطلاعات واقعی شبکه در سال ۱۳۹۱ انجام شده است در ادامه نتایج این تحلیل پیشامدها ارائه می گردد. تعداد کل مسیرهای ارتباطی توان طبق گراف بدست آمده ۲۰۴ مسیر ارتباطی می باشد.

جدول (۱): بخشی از نتایج خروجی برنامه تحلیل پیشامد نرم افزار DigSILENT در حالت N-1 پرباری

	Component	Branch, Substation or Site	Loading Continuous [%]	Loading Short-Term [%]	Loading Base Case [%]	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Continuous Loading [0.0 % - 237.9 %]
1	8BGTQ01		237.9	237.9	102.4	181	8BGTQ02	
2	8BGTQ02		237.9	237.9	102.4	180	8BGTQ01	
3	8BFFKT03(1)		187.7	187.7	98.1	94	8BFFKT01(1)	
4	8BFWKT01		178.2	178.2	76.1	106	8BFWKT02	
5	8BFZKQ02		177.6	177.6	84.4	175	8BFZKQ03	
6	8BFZKQ03		177.6	177.6	84.4	174	8BFZKQ02	
7	8BFWKT02		175.5	175.5	79.2	105	8BFWKT01	
8	8BFFKT01(1)		151.6	151.6	79.3	95	8BFFKT02(1)	
9	8BFFKT02(1)		151.6	151.6	79.3	94	8BFFKT01(1)	
10	9BFUKQ01		146.3	146.3	69.6	194	9BFUKQ02	
11	9BFUKQ02		146.3	146.3	69.6	193	9BFUKQ01	
12	8BFTKQ01		143.1	143.1	68.3	172	8BFTKQ02	
13	8BFTKQ02		143.1	143.1	68.3	171	8BFTKQ01	
14	8BFOKT01		133.5	133.5	61.4	98	8BFOKT02	
15	8BFOKT02		133.5	133.5	61.4	97	8BFOKT01	
16	KU821		120.9	120.9	74.7	48	KU806	
17	8BIRPQ01		118.1	118.1	116.8	24	FS925	
18	8BGRKT01		117.9	117.9	56.7	112	8BGRKT02	
19	8BGRKT02		117.9	117.9	56.7	111	8BGRKT01	
20	9BFNKT01		117.4	117.4	58.7	133	9BFNKT02	
21	9BFNKT02		117.4	117.4	58.7	132	9BFNKT01	
22	8AHUJQ01		114.0	114.0	112.2	16	EY909	
23	8AHUJQ02		114.0	114.0	112.2	16	EY909	
24	KU806		112.7	112.7	69.6	49	KU821	
25	8AJDQ01		112.1	112.1	110.2	16	EY909	

۳-۲-۱-۲- بررسی سناریوهای N-2

تعداد پیشامدهای بررسی شده در این حالت ۲۰۷۰۶ سناریو است. همانند حالت قبل پس از شناسایی پیشامدهایی که در صورت وقوع آن‌ها، سایر المان‌ها دچار اضافه بار می‌شوند، از میان این پیشامدها، پیشامدهایی که سبب خرابی پی در پی می‌گردند را استخراج می‌کنیم. برای مثال پیشامد زیر منجر به وقوع CF گردیده است.

- پیشامد خروج مسیر بین گره ۸-خوزستان و ۴۷-۸

در این حالت مسیر گره ۹-۵۶ (خط GN826) دچار ۱۱۷٪ اضافه بار شده،

- مرحله دوم: خروج مسیر ۵۶-۹

در این مرحله مسیر ۹-۵۵ (خط GN820a) دچار ۱۰۶٪ اضافه بار می‌شود،

- مرحله سوم: خروج مسیر ۵۵-۹

در این مرحله اضافه بار و اضافه ولتاژ شدید بر روی تمامی باس‌ها و خطوط شبکه رخ داده و تمامی نیروگاه‌ها از حدود مجاز توان اکتیو و راکتیو خود خارج شده‌اند و شبکه دچار فروپاشی می‌گردد. (شکل ۵) نحوه وقوع فرآیند خرابی پی‌درپی را برای این سناریو نشان می‌دهد.

۳-۲-۱-۳- بررسی سناریوهای N-3

در این حالت نیز همانند حالت‌های N-1 و N-2 عمل کرده، از جمله سناریوهای شناسایی شده که منجر به وقوع فرآیند CF می‌گردند به صورت زیر می‌باشد:

- قطع مسیر ارتباطی بین گره‌های ۸-۹، ۹-۵۵

در این حالت مسیر ۶ به ۳ دچار ۱۳۶٪ اضافه بار می‌گردد،

- خروج مسیر بالا از مدار

در این حالت خط GN826 (مسیر ۹-۵۶) دچار ۱۴۲٪ اضافه بار و ترانس‌های 8BGTKQ01,02 دچار ۱۲۴٪ اضافه بار می‌شوند و همچنین افت ولتاژ شدید بر روی باس‌های اطراف رخ می‌دهد.

- خروج المان‌های بالا از مدار

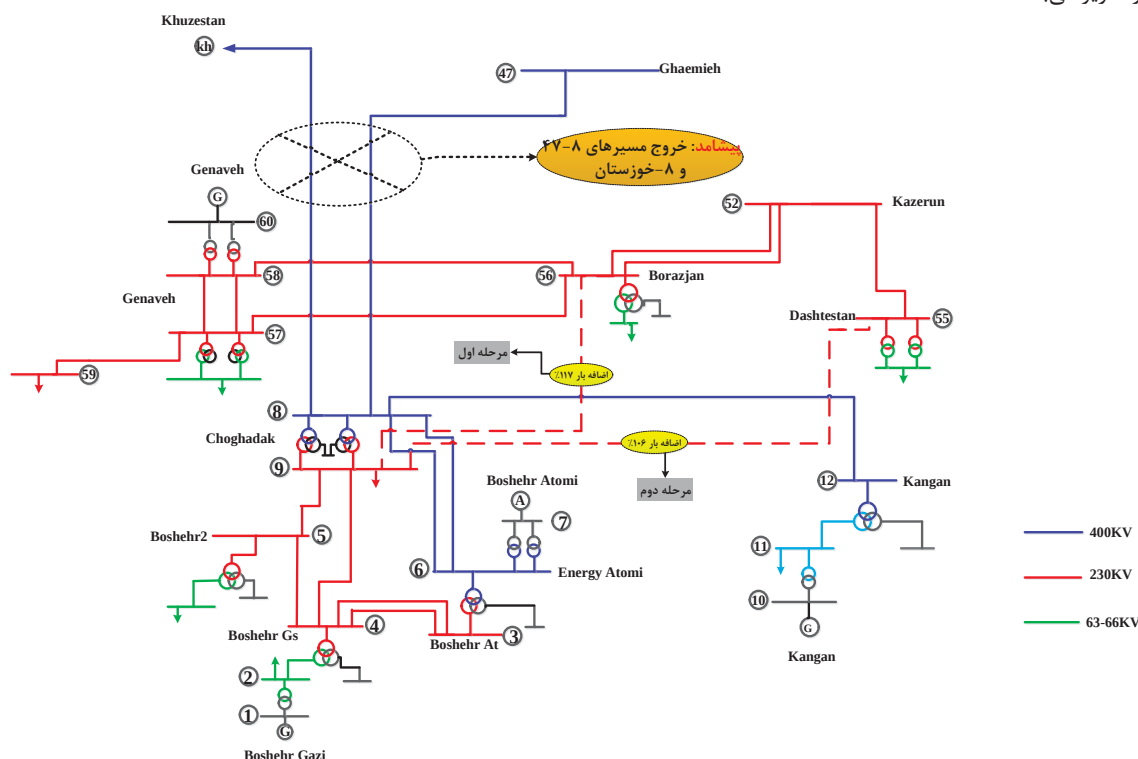
در این حالت پخش بار همگرا نمی‌شود و بسیاری از خطوط و باس‌ها دچار اضافه بار و اضافه ولتاژ می‌گردند و همچنین اکثر واحدهای تولیدی از حدود خود تجاوز می‌کنند.

- قطع مسیر ارتباطی بین گره‌های ۸-۹، ۹-۵۶

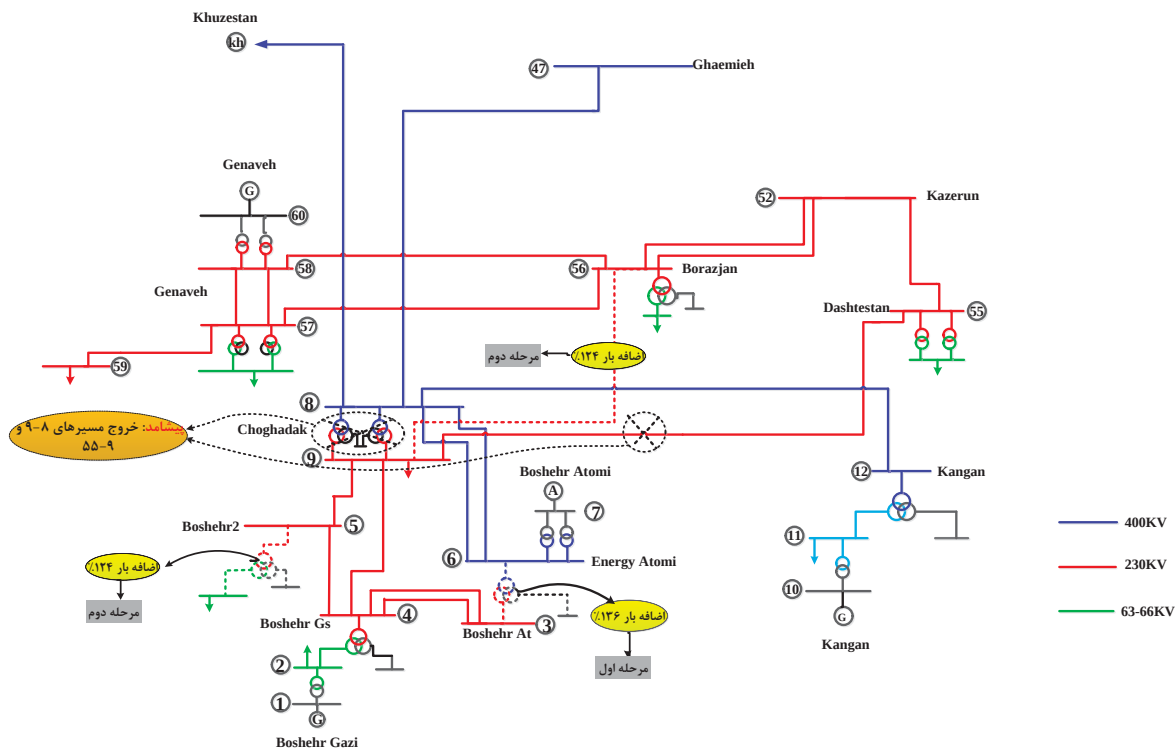
در این حالت مسیر ۶ به ۳ دچار ۱۳۵٪ اضافه بار می‌گردد،

- خروج مسیر بالا از مدار

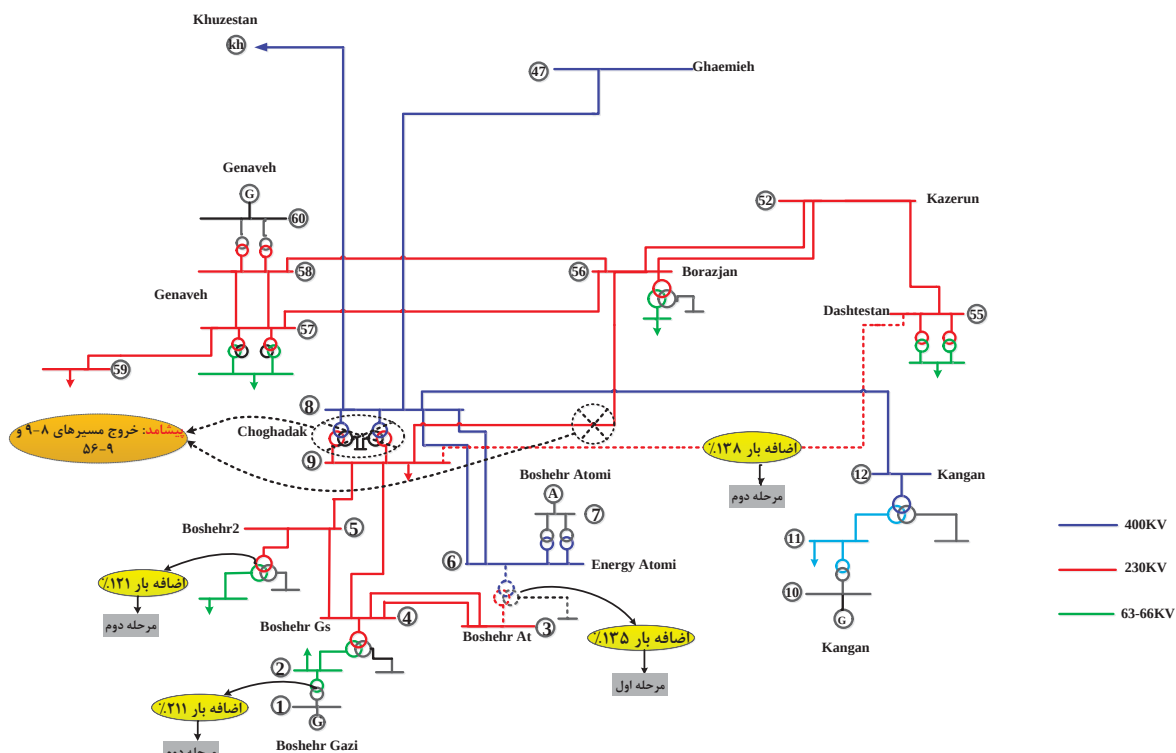
در این حالت خطوط GU820a (مسیر ۹-۵۵) و GU820b (مسیر ۵۵-۵۲) به ترتیب ۱۳۸٪ و ۱۵۰٪ اضافه بار پیدا می‌کنند، همچنین ترانس‌های 8BGTKQ01,02 پست بوشهر ۲ و ترانس‌ها و واحدهای نیروگاه گازی بوشهر دچار اضافه بار شدید می‌شوند، علاوه بر این اضافه بارها، افت ولتاژ شدید در حد $pu/7$ بر روی باس‌های اطراف رخ می‌دهد و پخش بار نیز همگرا نشده و شبکه دچار فروپاشی می‌گردد. شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب این سناریوها را نشان می‌دهند.



شکل (۵): نحوه ایجاد خرابی پی‌درپی برای پیشامد N-2 در حالت پرباری



شکل (۶): نحوه ایجاد خرابی پی‌درپی برای پیشامد N-3 در حالت پرباری (سناریو اول)



شکل (۷): نحوه ایجاد خرابی پی‌درپی برای پیشامد N-3 در حالت پرباری (سناریو دوم)

۳-۲-۲- تحلیل پیشامد در حالت میان‌باری

مشخصات شبکه در حالت میان‌باری شبکه برق ایران در تاریخ ۹۱/۰۲/۲۵ به صورت زیر می‌باشد:

- مجموع توان تولیدی در شبکه: ۳۲۲۳۸/۸۶ MW
- مجموع بار مصرفی در شبکه: ۳۱۶۶۳/۸۲ MW

در حالت میان‌باری شبکه با توجه به بررسی‌های انجام شده در حالت پیشامدهای N-1 و N-2، پیشامدی که منجر به وقوع CF گردد شناسایی نگردد.

۳-۲-۲-۱- بررسی سناریوهای N-3

در این حالت سناریوی زیر به عنوان سناریویی که منجر به وقوع خرابی پی‌درپی می‌گردد شناسایی شد:

- قطع مسیر ارتباطی بین گره‌های ۸-۹، ۹-۵۶

در این حالت مسیر ۳-۶ دچار ۱۰۵٪ اضافه بار می‌شود،

➤ مرحله دوم: خروج مسیر ۳-۶

در این مرحله و با خروج مسیر بالا، مسیر ۵۵-۹ دچار ۱۰۵٪ اضافه بار شده و همچنین به دلیل افت ولتاژ شدید بر روی باس‌های چغادک، بوشهر ۲ و بوشهر گازی و بوشهر اتمی به اندازه ۸۳/۰ pu پخش بار همگرا نمی‌شود و فروپاشی ولتاژی در شبکه رخ می‌دهد.

۳-۲-۳- تحلیل پیشامد در حالت کم‌باری

مشخصات شبکه در حالت کم‌باری شبکه برق ایران در تاریخ ۹۱/۱۱/۶ به صورت زیر می‌باشد:

- مجموع توان تولیدی در شبکه: ۲۲۰۵۹/۶۱ MW
- مجموع بار مصرفی در شبکه: ۲۱۶۴۵/۷۷ MW

در حالت کم‌باری پس از انجام بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌های مربوطه در سه حالت N-1، N-2 و N-3، پیشامدی که در نهایت سبب وقوع خرابی پی‌درپی و فروپاشی شبکه گردد شناسایی نشد.

۳-۳- طراحی SPS برای پیشامدهای شناسایی شده

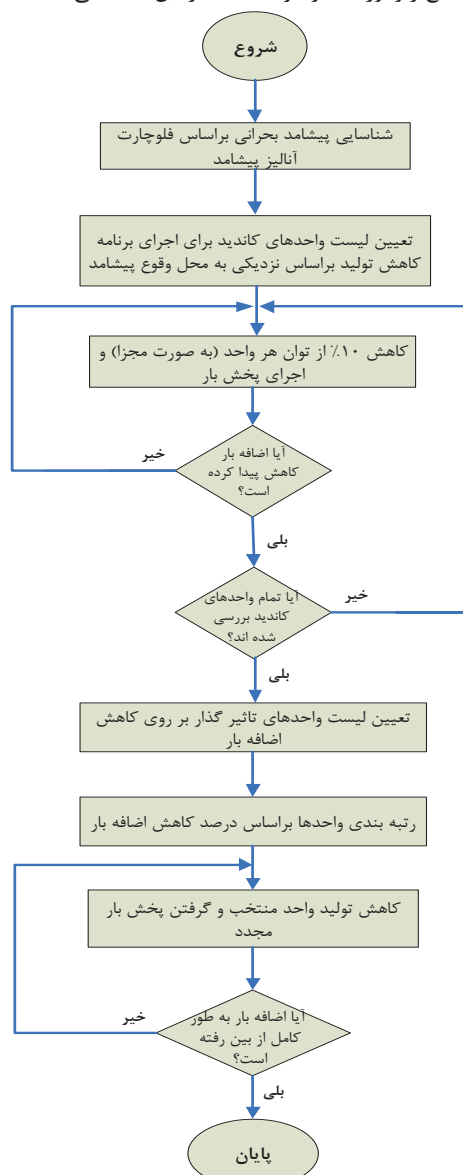
در این قسمت با توجه به حوادث شناسایی شده در بخش قبل به طراحی طرح‌های حفاظتی برای مقابله با این حوادث می‌پردازیم. هدف از این طرح‌ها متوقف کردن وقوع فرآیند CF در همان مرحله اول خروج المان‌ها از مدار می‌باشد. لذا در این مرحله از بین طرح‌های حفاظتی موجود، برای هر سناریو سه طرح حفاظت ویژه: کاهش یا حذف تولید، قطع بار و تغییر در آرایش و ساختار شبکه انتقال از طریق بازبست خطوط انتقال بررسی و ارزیابی می‌گردد.

۳-۳-۱- طرح قطع تولید^۴

طرح‌های قطع تولید ابزاری موثر در حفظ پایداری سیستم قدرت و جلوگیری از اختلالات ناحیه گسترده می‌باشند. این طرح‌ها براساس این اصل که قطع سریع برخی از واحدهای تولیدی می‌تواند به طور

قابل ملاحظه‌ای مقدار توان اضافی مسیرهای ارتباطی که دچار اضافه بار شده‌اند (به خاطر اتصال کوتاه یا قطع خط دیگر) را کاهش دهند، طراحی شده‌اند. کاهش سریع در توان عبوری از یک مسیر، همراه با کاهش ناگهانی ظرفیت آن مسیر، احتمال نوسانات بزرگ توان که منجر به ناپایداری می‌گردند را نیز کاهش می‌دهد.

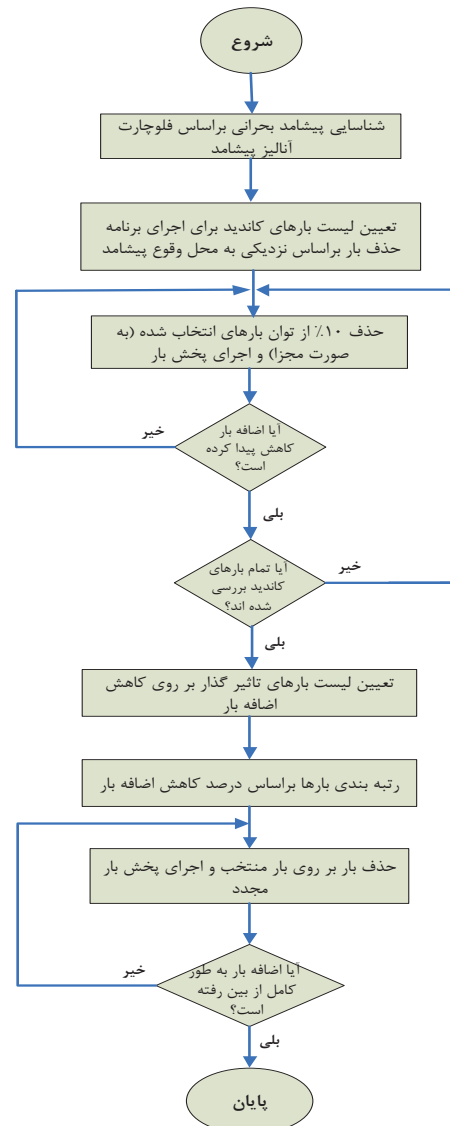
طرح‌های قطع تولید، طرح‌های ناحیه گسترده هستند چون موقعیت خطوط انتقالی که به حذف تولید نیاز دارند، ممکن است چند صد کیلومتر یا بیشتر از واحد تولیدی باشد. نیاز به استفاده از این طرح‌ها و مقدار تولیدی که باید حذف شود، برای پیشامدهای مختلف عمدتاً به الگوی پخش بار شبکه انتقال بستگی دارد. بنابراین این طرح‌ها معمولاً قادر به مجهز شدن و یا تنظیم شدن توسط اپراتورهای مرکز کنترل شبکه انتقال می‌باشند. شکل ۸ فلوچارت نحوه عملکرد طرح حفاظتی قطع ژنراتور به کار گرفته شده در این مقاله می‌باشد:



شکل (۸): فلوچارت طرح پیشنهادی قطع تولید

۲-۳-۳- طرح قطع باره

قطع بار، یک سیستم حفاظتی است که به دنبال از دست رفتن یک منبع تولیدی بزرگ، در بخشی از سیستم قدرت طراحی می‌شود. کمبود عمده در تولید ممکن است به دلیل از دست رفتن ژنراتور یا تأسیسات اصلی شبکه انتقال ایجاد شود. همچنین ممکن است از حذف بار برای کاهش شرایط اضافه بار المان‌های سیستم قدرت استفاده شود. سیستم‌های حذف بار همچنین اگر حادثه بین ناحیه‌ای توسط یک پیشامد نرمال (برای مثال قطع خط) آغاز شود، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. سیستم‌های قطع بار کاملاً از برنامه‌های حذف بار زیرفرکانسی و یا زیرولتاژی خودکار مجزا هستند.



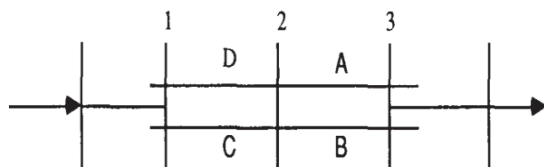
شکل (۹): فلوچارت طرح پیشنهادی قطع بار

همانطور که از فلوچارت شکل ۹ مشاهده می‌شود در این مقاله، اجرای برنامه قطع بار مشابه برنامه قطع تولید است. به این صورت که پس از شناسایی پیشامد بحرانی، در مرحله بعد، لیستی از بارهای

کاندید به منظور اجرای برنامه قطع بار انتخاب می‌شود. با توجه به محلی بودن SPSهای به کار گرفته شده در این مقاله، این بارها تنها به بارهای ناحیه فارس (ناحیه‌ای که پیشامد بحرانی رخ داده است) محدود شده‌اند. از آنجایی که اجرای برنامه قطع بار همانند برنامه قطع تولید بستگی به نحوه الگوی پخش بار در شبکه و نوع پیشامد دارد، لذا برای تعیین بارهای تأثیرگذار بر کاهش اضافه بار مسیر دچار اضافه بار شده، درصدی از توان بارها را کم کرده و مجدداً از شبکه پخش بار گرفته می‌شود. در نهایت با تعیین لیست نهایی بارهای مناسب برای اجرای برنامه قطع بار بهترین ترکیب را برای اجرای این برنامه، بطوریکه کمترین مقدار از بار حذف و اضافه بار مسیر نیز به طور کامل از بین برود، انتخاب کرده و ثبت می‌کنیم.

۳-۳-۳- طرح کلیدزنی خطوط انتقال^۶

در تحقیقات جدید مشخص شده است که یک روش ساده به منظور تغییر در جهت پخش بار به منظور کاهش اضافه بار خطوط، انتخاب مناسب خطوط جهت کلیدزنی در شبکه قدرت می‌باشد. یعنی یک خط به منظور تغییر جهت در پخش بار و برای حذف اضافه بار بر روی خطی دیگر، می‌تواند از شبکه اضافه یا حذف گردد [۱۴، ۱۵، ۱۶]. اضافه و یا حذف کردن یک خط نباید منجر به هیچ گونه اضافه بار دیگری بر روی سیستم شود و باید تنها اضافه بار اصلی را از بین ببرد. همچنین سیستم باید به منظور شناسایی ترکیبات احتمالی خطوطی که می‌توانند کلیدزنی شوند و نسبت به رتبه‌بندی کردن آن‌ها از نظر میزان تاثیر، توسعه داده شود. برای درک بیشتر از نحوه عملکرد این روش شبکه ساده زیر را در نظر بگیرید:



شکل (۱۰): بخشی از یک سیستم قدرت [۱۷]

وقتی که خط A دچار اضافه بار شود، باز شدن خط B اضافه بار در خط A را که در این حالت باید تمام توان فرستاده شده از خطوط C و D را حمل کند، افزایش می‌دهد. با باز شدن خط C امپدانس بین باس ۱ و باس ۲ افزایش خواهد یافت و در نتیجه جریان کاهش می‌یابد. براین اساس اضافه بار در خط A نیز کاهش خواهد یافت. تصمیم‌گیری برای کلیدزنی در این شبکه ساده واضح است، اما در یک شبکه پیچیده خیلی واضح و مشخص نیست که برای اضافه بار یک خط، در اثر کلیدزنی از راه دور یک خط دیگر، چه اتفاقی می‌افتد [۱۷].

در این مقاله هدف از این اقدام اصلاحی حل مشکل اضافه بار خطوط با انتخاب کاندیداهای کلیدزنی شاخه‌های انتقال توان می‌باشد. این روش هزینه‌های دو روش قبل یعنی حذف تولید و یا بار را ندارد و به راحتی توسط اپراتور شبکه از مرکز کنترل قابل اجرا می‌باشد. بنابراین کلیدزنی خطوط انتقال از نظر اقتصادی مزیت بزرگی در

براساس میزان تأثیر بر روی کاهش اضافه بار رتبه بندی شده‌اند، ابتدا ترکیبات تکی و سپس ترکیبات دوتایی قطع خطوط با در نظر گرفتن فرضیات ذکر شده در مقاله بررسی شده است:

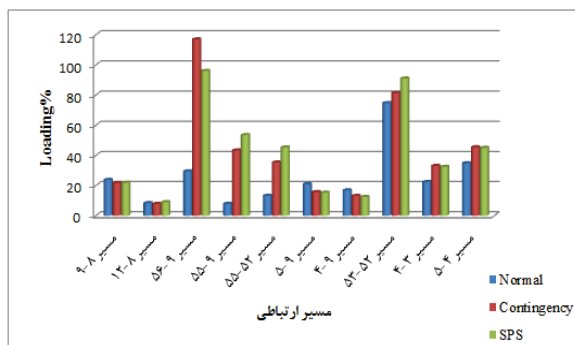
جدول (۴): نتایج نهایی اجرای برنامه قطع بار

بار	درصد کاهش بار	توان بار قبل از کاهش (MW)	توان بار بعد از کاهش (MW)	درصد بارگیری خط GN826
پرازجان	٪۶۰	۲۴۶/۱۱	۹۸/۵	٪۱۰۵
گناوه	٪۵۰	۱۵۹/۹۲	۷۹/۹۶	٪۹۶

جدول (۵): نتایج اجرای برنامه کلیدزنی خطوط انتقال

شماره	خط	درصد بارگیری قبل از خروج خط	درصد بارگیری بعد از خروج خط
۱	GH824	٪۱۱۷	٪۱۱۶/۸۶
۲	BG823	٪۱۱۷	٪۱۱۶/۸۴
۳	BH827	٪۱۱۷	٪۱۱۶/۵
۴	NU805	٪۱۱۷	٪۱۱۴/۴۸
۵	KN822	٪۱۱۷	٪۱۰۵/۸۳
۶	NU805+KN822	٪۱۱۷	٪۹۶

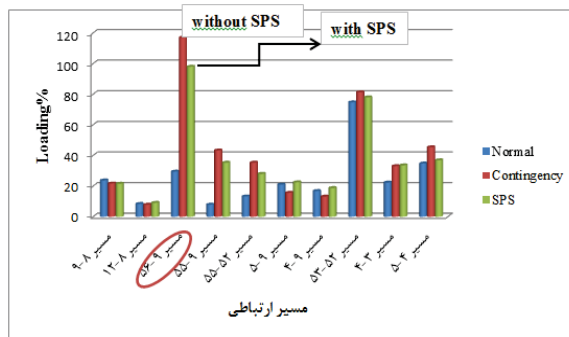
بنابراین همانطور که از جدول بالا مشاهده می‌شود در صورت قطع همزمان دو خط NU805 و KN822 بدون اینکه اضافه بار دیگری در شبکه رخ دهد یا افت ولتاژی ایجاد شود اضافه بار مسیر مربوطه به طور کامل از بین رفته و به محدوده مجاز خود می‌رسد. نمودار زیر نیز تأثیر این طرح را بر روی پیشامد مربوطه نشان می‌دهد:



شکل (۱۴): تأثیر طرح کلیدزنی خطوط در از بین رفتن اضافه بار

۴- نتیجه‌گیری

اگرچه امنیت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌تواند با ساخت تجهیزات جدید، از قبیل واحدهای تولید یا خطوط انتقال بهبود یابد ولی به خاطر محدودیت‌ها و مشکلات مختلف از جمله ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، برنامه‌ریزان سیستم استفاده از SPS را برای روبرو شدن با شرایط پیش آمده، در دستور کار خود قرار داده‌اند. در



شکل (۱۲): تأثیر طرح قطع تولید در از بین رفتن اضافه بار

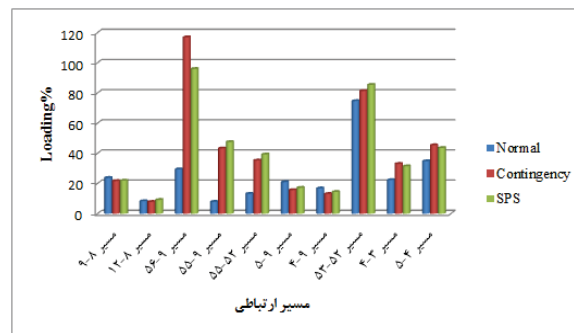
۳-۴-۲ نتایج اجرای برنامه طرح قطع بار

جدول ۳ به طور نمونه تأثیر قطع برخی از بارهای ناحیه فارس را بر روی بارگیری خط دچار اضافه بار، نشان می‌دهد:

جدول (۳): نتایج اجرای برنامه قطع بار

شماره	بار	میزان کاهش بار	درصد بارگیری خط GN826 قبل از کاهش بار	درصد بارگیری خط GN826 بعد از کاهش بار
۱	چغادک	٪۱۰	٪۱۱۷	٪۱۲۱
۲	دشتستان	٪۱۰	٪۱۱۷	٪۱۱۷/۵
۳	پرازجان	٪۱۰	٪۱۱۷	٪۱۱۴
۴	گناوه	٪۱۰	٪۱۱۷	٪۱۱۵
۵	پیناک	٪۱۰	٪۱۱۷	٪۱۱۶

بنابراین با شناسایی بارهایی که در صورت قطع آن‌ها اضافه بار مسیر مورد نظر کاهش می‌یابد، بهترین ترکیب برای انجام حذف بار به طوریکه کمترین مقدار بار حذف گردد و اضافه بار مسیر نیز به طور کامل از بین برود شناسایی و به شرح جدول (۴) اجرا می‌گردد. شکل ۱۳ تأثیر این طرح را نیز همانند طرح قطع تولید در از بین رفتن اضافه بار مسیر مورد نظر نشان می‌دهد.



شکل (۱۳): تأثیر طرح قطع بار در از بین رفتن اضافه بار

۳-۴-۳ نتایج اجرای برنامه طرح کلیدزنی خطوط

جدول (۵) نتایج اجرای برنامه کلیدزنی خطوط شبکه بر روی بارگیری خط GN826 (مسیر ۹-۵۶) را نشان می‌دهد، این خطوط

- [5] Ki-Seob Yun, Byongjun Lee and Hwachang Song "A Special Protection Scheme Against a Local Low-Voltage Problem and Zone 3 Protection in the KEPCO System" *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 294~299, 2007.
- [6] H. Seyed, M. Sanaye-Pasand "Design of New Load Shedding Special Protection Schemes for a Double Area Power System" *American Journal of Applied Sciences* 6 (2): 317-327, 2009.
- [7] S.K.Sooner, P.R.Raghuvaran, S.P.Kumar, D.K.Guru "Special System Protection Schemes in Southern Region Power System- A Case Study"
- [8] Wen-Ta Tsai, Chao-Rong Chen "An Special Protection System Implementation-Based on an Isolated and Longitudinal Power System" *International Conference on Power System Technology*, Singapore, 21-24 November 2004.
- [9] Iraj Rahimi Pordanjani, Hossein Askarian Abyaneh, Seyed H.H. Sadeghi, Kazem Mazlumi "Risk reduction in special protection systems by using an online method for transient instability prediction" *Electrical Power and Energy Systems* 32 (2010) 156-162
- [10] Masoud Esmaili, Ali Akbar Hajnoroozi, Heidar Ali Shayanfar "Risk evaluation of online special protection systems" *Electrical Power and Energy Systems* 41 (2012) .
- [11] P. M. Anderson, B.K. LeReverend "Industry Experience with Special Protection Schemes" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, No. 3, August 1996.
- [12] Peter Crossley, France Ilar, Daniel Karlsson "System Protection Schemes in Power Networks" *CIGRE Task Force*, 2001.
- [13] Vahid Madani, Mark Adamiak and Manish Thakur "Design and Implementation Of Wide Area Special Protection Schemes" 57th Annual Texas A&M University Conference for Protective Relay Engineers March 30 - April 1, 2004.
- [14] Quintana, V.H., Müller, N "Overload and voltage control of power systems by line switching and generation rescheduling" *Canadian Journal Elect. & Comp. Eng.*, Vol. 15, No. 4
- [15] Amin Khodaei and Mohammad Shahidehpour "Transmission Switching in Security-Constrained Unit Commitment" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 25, No. 4, November 2010
- [16] Mingyang Li, Peter B. Luh, Laurent D. Michel, Qianchuan Zhao "Corrective Line Switching With Security Constraints for the Base and Contingency Cases" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 27, No. 1, February 2012.
- Elham B. Makram, Katherine P. Thornton, Homer E. Brown "Selection of Lines to be Switched to Eliminate Overloaded Lines Using a Z-Matrix Method" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 2, May 1989.

¹ Special Protection Scheme

² Generation Rejection Scheme (GRS)

³ Cascading Failure (CF)

⁴ Generation Rejection Scheme (GRS)

⁵ Load Rejection Scheme (LRS)

⁶ Line Switching Scheme (LSS)

این حالت، SPS می‌تواند در شرایط موجود بهره‌برداری برای حفظ امنیت شبکه و ارتقای قابلیت اطمینان سیستم تنها با کسری از هزینه نصب تاسیسات جدید به کار گرفته شود.

هدف این مقاله بالابردن امنیت انتقال توان در شبکه ناحیه فارس در صورت بروز هر گونه حادثه‌ی شدید که منجر به بروز خروج‌های پی‌درپی شود، با استفاده از مفهوم طرح‌های حفاظت ویژه می‌باشد. به این منظور ابتدا حوادث شدید شبکه و انواع پیشامدهای N-1، N-2 و N-3 بر روی خطوط انتقال توان با کمک نرم‌افزار DigSILENT و اطلاعات واقعی شبکه برق ایران بررسی شد. پس از شناسایی پیشامدهای خطرناک بر روی شبکه، برای مقابله با این حوادث، طرح‌های حفاظت ویژه طراحی شد.

به طور کلی در این مقاله سه طرح حفاظت ویژه: طرح قطع تولید، طرح قطع بار و طرح کلیدزنی خطوط به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد با توجه به ساختار شبکه و نوع پیشامدها دو طرح قطع بار و کلیدزنی خطوط کارایی بیشتری برای پیشامدهای بحرانی این ناحیه دارند. از بین این دو طرح نیز با توجه به سرعت عمل طرح‌های کلیدزنی خطوط و مهم‌تر از آن مزایای اقتصادی این طرح نسبت به طرح حذف بار، در صورتیکه امنیت شبکه دچار تهدید گردد طرح کلید زنی خطوط می‌تواند به عنوان یک اقدام اصلاحی سریع و عملی از طریق مرکز کنترل اجرا شود.

نکته قابل‌توجه این است که در شرایط اضطراری، وقتیکه یک تصمیم سریع و بهنگام نیاز است، پیدا کردن یک راه حل عملی و قابل اجرا نسبت به یک راه حل بهینه مهم‌تر می‌باشد، لذا در این مقاله بحث بهینه‌سازی طرح‌ها مطرح نمی‌باشد. همچنین به دلیل اهمیت این طرح‌ها برای حفظ پایداری شبکه و با توجه به اینکه در شرایط فعلی بهره‌برداری این طرح‌ها به عنوان آخرین سد دفاعی شبکه برای مقابله با ناپایداری‌ها و حفظ یکپارچگی شبکه در برابر حوادث شدید و بحرانی می‌باشند، لذا نیاز است که SPS به طور کامل به صورت افزونگی طراحی شود تا در صورت عدم عملکرد یک SPS طرح دیگر بتواند عمل کند، به همین منظور برای بالابردن قابلیت اطمینان طرح‌های حفاظتی پیشنهادی در این پایان‌نامه، سه طرح حفاظتی بررسی و طراحی گردید.

مراجع

- [1] Paulo Gomes, Hermes Jorge Chipp "Brazilian Defense Plan Against Extreme Contingencies" *Proceeding of the IEEE* 2001
- [2] Faucon and Laurent Dousseff "Coordinated Defense Plan Protects Against Transient Instabilities" *IEEE Computer Applications in Power* 1997.
- [3] Hassan Ghoudjebaklou, Arthur Tunnicliffe, Robert Dey "System Protection Scheme for the DC Link between Tasmania and the Mainland Australia" *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China* 2005.
- [4] James Hsu, Kristie Cocco, Tom Isham, Barrie Kokanos "Use of Special Protection Systems for Major Palo Verde Network Hub Congestion Management in the U.S. Southwest" *International Conference on Power System Technology* 2006.