

ارائه روشی اجرایی و نوین جهت شناسایی بخش خطای در شبکه‌های توزیع

رحمن دشتی^۱ جواد ساده^۲

۱- دانشجوی دکتری- گروه برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

rahmandashti@yahoo.com

۲- دانشیار- گروه برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

sadeh@um.ac.ir

چکیده: مکان یابی سریع خطای در خطوط توزیع انرژی الکتریکی می‌تواند به تداوم سرویس دهی و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم کمک شایانی نماید. در این مقاله روشی اجرایی و با پیچیدگی کم ارائه شده که قادر است بخش خطای دار در سیستم توزیع را براساس الگوی جریانی و الگوی زمانی جریان ابتدای فیدر مشخص نماید. روش پیشنهادی بر اساس جایابی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع و هماهنگی ویژه آنها بگونه‌ای عمل می‌کند که الگوی جریانی - زمانی پیشنهادی به فردی را برای خطا در هر بخش ایجاد نماید. پس از وقوع خطای در شبکه می‌توان با تحلیل جریان ابتدای فیدر از نظر الگوی جریانی و زمانی، تجهیزات حفاظتی عمل کرده را شناسایی و بر اساس آن بخش خطای دیده را مشخص نمود. مزیت روش پیشنهادی عدم استفاده از تجهیزات اضافی حفاظتی است. برای ارزیابی صحت و دقت روش پیشنهادی از شبیه سازی حوزه زمان بر روی دو فیدر نمونه استفاده شده است. همچنین الگوریتم پیشنهادی به کمک انجام چند آزمایش اتصال کوتاه واقعی بر روی یک فیدر توزیع در شرکت توزیع استان بوشهر صحت سنجی شده است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع، تعیین بخش خطای، تجهیزات حفاظتی توزیع، هماهنگی حفاظتی.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۱۹

نام نویسنده‌ی مسئول: رحمن دشتی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی

۱- مقدمه

خطوط انتقال نیاز است. در نتیجه این روش‌ها نیز فقط با شرایط خاص قادر به تعیین فاصله خط‌های هستند و در تعیین بخش خط‌های دارای مشکلنده‌اند. در نتیجه روش‌هایی جهت تعیین بخش خط‌های مورد بررسی قرار گرفت. این اقدام با روش‌های سعی و خط‌آغاز گردید. ابتدا روش‌هایی چون تشخیص بصری، تشخیص از طریق تقسیم بندی فیدر به زیر بخش‌های مجزا و تشخیص از طریق شناسنگرهای خط‌آغاز جهت شناسایی بخش خط‌آغاز ارائه گردید. پس از این، پیشرفت‌های علمی در این زمینه به سمت ارائه راه کارهای مختلف جهت شناسایی بخش خط‌آغاز سوق پیدا نمود. در سال ۱۹۹۸ روشی جهت شناسایی مکان خط‌آغاز شبکه توزیع ارائه گردید که در آن ابتدا انشعاب خط‌آغاز از طریق شناسنگرهای خط‌آغاز ای سپس از طریق الگوریتم فاصله یابی خط‌آغاز امپدانسی به تعیین فاصله خط‌آغاز می‌پرداخت [۴]. مشکل این روش این است که نشانگرهای خط‌آغاز می‌باشد به سیستم بسیم و سیستم مخابراتی و امن مجذب باشند که اطلاعات بخش خط‌آغاز را به ایستگاه مخابر و ایستگاه با اطلاعات آن و اجرای الگوریتم خاصی، مکان خط‌آغاز تعیین نماید. در [۶] با نصب ثبات‌های مجذب به ارسال داده (FTD) در هر انشعاب نسبت به شناسایی حالت گذرای غیر طبیعی بوجود آمده و ذخیره زمان وقوع آن و ارسال به پایانه، نسبت به تشخیص خط‌آغاز و موقعیت آن اقدام شده است. عیب این روش نیاز به وجود ثبات‌های متعدد مجذب به ارسال داده است.

در [۷] الگوریتمی ارائه شده که بر اساس ماتریسی که درایه‌های آن توسط داده‌های صفر و یک ارسالی از FTU^۱‌ها تشکیل شده است، بخش خط‌آغاز را می‌یابد. این مرجع مزایایی چون قدرت استنتاج سریع، سهولت در آشکارسازی، پیاده سازی و نگهداری اطلاعات را برای روش خوبیش بیان می‌نماید. مشکل این روش حضور FTU^۲‌های متعدد در سیستم توزیع است که این سبب افزایش هزینه سرمایه گذاری و هزینه‌های سرویس و نگهداری می‌شود.

با توجه به اینکه معمولاً روش‌های مکان یابی خط‌آغاز در شبکه توزیع با مشکل چند پاسخی مواجه اند، روشی در [۸] ارائه گردیده که در آن بخش و مکان اصلی خط‌آغاز میان تمام مکانهای ممکن تعیین شود. روش پیشنهادی در این مرجع، با فرض خط‌آغاز در هر مکان ممکن به صورت مجزا، با استفاده از ولتاژ و جریان ثبت شده در ابتدای فیدر، ولتاژ و جریان سه فاز در ابتدای بخش هر مکان ممکن خط‌آغاز را تعیین می‌کند. اکنون سه معادله برای هر فاز در بخش مورد نظر استخراج می‌گردد که در هر معادله فاصله خط‌آغاز ابتدای بخش مورد بررسی مجهول آن است. از سه معادله فوق فاصله خط‌آغاز تعیین و با یکدیگر قیاس و شاخص تشخیص محاسبه می‌گردد. این اقدام به ازای فرض خط‌آغاز در تمام مکانهای ممکن خط‌آغاز انجام و شاخص مربوطه محاسبه می‌شود. آن بخش و مکان ممکنی که دارای کمترین شاخص تشخیص باشد به عنوان مکان اصلی خط‌آغاز معرفی می‌شود. در این روش مدل خط

شبکه توزیع با بیشترین گستردگی در مناطق مسکونی و شهری دارای بیشترین آمار وقوع خط‌آغاز نسبت به دیگر بخش‌های شبکه قدرت (تولید و انتقال) می‌باشد. این خط‌آغازها به دو صورت گذرا و دائم در شبکه به وقوع می‌پیوندد. وقوع هر یک علاوه بر کاهش قابلیت اطمینان در شبکه و ایجاد نارضایتی مشترکین می‌تواند باعث خسارت‌های مالی برای شرکت‌های توزیع و مصرف کنندگان شود. لذا شرکت‌های توزیع به دنبال آن هستند که اولاً شبکه را در برابر این خط‌آغازها محافظت کنند و ثانیاً مکان خط‌آغاز در اسرع وقت شناسایی شده و بازیابی بار در سریع‌ترین زمان ممکن انجام می‌شود. از مزایای مکان یابی خط‌آغاز می‌توان از صرفه جویی در زمان و انرژی، بهبود آمادگی سیستم، تداوم برق رسانی و اصلاح برنامه ریزی آینده نام برد که این مزایای سبب می‌شود مکان یابی خط‌آغاز اهمیت بالایی برخوردار شود.

روش‌های مکان یابی خط‌آغاز در شبکه قدرت به دو دسته امپدانسی و امواج سیار تقسیم می‌شوند. اما با توجه به مسائلی چون انشعابات متعدد بر روی فیدر اصلی، غیریکنواختی فیدر (به دلیل وجود خط‌آغاز کابلی و خط‌آغاز هوایی با مشخصات مختلف)، وجود بارها و انشعاب‌های نامتعادل و تنها در دسترس بودن اطلاعات در ابتدای فیدر توزیع سبب شده که روش‌های معمول مکان یابی خط‌آغاز در خط انتقال پاسخگوی شبکه توزیع نباشد. مکان یابی خط‌آغاز در شبکه توزیع به علت وجود انشعابات متفاوت به دو قسمت اصلی تعیین فاصله خط‌آغاز و شناسایی بخش خط‌آغاز تقسیم می‌شود. جهت تعیین فاصله خط‌آغاز در شبکه های توزیع نیز همانند خطوط انتقال، روش‌های امپدانسی و امواج سیار ارائه گردیده است [۱-۴]. روش‌های امپدانسی از مولفه اصلی ولتاژها و جریان‌های ابتدای فیدر، اطلاعات بارها و پارامترهای خط جهت فاصله یابی خط‌آغاز را ایجاد می‌کنند [۵]. لازم به توضیح است که با توجه به ساختار شبکه های توزیع، ممکن است وقوع خط‌آغاز در مکان‌های مختلف و در انشعاب‌های متفاوت باعث ایجاد مولفه‌های اصلی یکسانی از ولتاژ و جریان در ابتدای فیدر گردد. در این شرایط روش‌های امپدانسی با مشکل چند پاسخی مواجه بوده و تنها قادر به تعیین فاصله خط‌آغاز باشند و از شناسایی بخش خط‌آغاز دیده عاجزند. روش‌های امواج سیار در تعیین فاصله خط‌آغاز هایی هستند که از سرعت بالایی برخوردار بوده و از مولفه‌های فرکانس بالا ولتاژ و جریان ابتدای فیدر جهت تعیین فاصله خط‌آغاز استفاده می‌نمایند [۶]. این روش‌ها دارای مشکلات عمومی چون فرکانس نمونه برداری بالا، عدم دقیقت در خط‌آغازها نزدیک به مکان یاب خط‌آغاز و حساسیت کم در برابر خط‌آغازها با زاویه شروع صفر ولتاژ می‌باشند. اما با توجه به مسائل خاصه شبکه های توزیع، این روش‌ها دارای مشکل شناسایی امواج رفت و برگشت به ازای خط‌آغاز در بخش‌ها و انشعاب‌های مختلف نیز می‌باشد. همچنین با توجه به فاصله بسیار کم بین گره‌ها در شبکه های توزیع، جهت شناسایی امواج به فرکانس نمونه برداری بسیار بالاتر نسبت به دستگاه های مکان یاب خط‌آغاز در

را با شرایط واقعی مطابقت می‌دهد. مشکل این روش در زون بندی امپدانسی آن است که فقط قابلیت پاسخگویی به خطاهای با مقاومت صفر را دارد.

تاكون مقالات ارائه شده در این زمینه فقط بر اساس الگوی جرياني اقدم به تعیین مكان خطا کرده اند. اين الگوی جرياني می‌تواند از ديدگاه جرييان ابتدائي فider قابلیت ايجاد نماید که نوع تجهیزات حفاظتی عملکرده (ريکلوزر یا کات اوت فيوز) را مشخص نماید. ولی با توجه به محدودیت استفاده هر يك از تجهیزات حفاظتی مانند کات اوت فيوز و ريكلوزر، ايجاد الگوی جرياني منحصر به فرد به ازای خطا در هر بخش غير ممکن است. لذا در اين مقاله روش پيشنهاد می‌گردد که جرييان ابتدائي فider را از دو ديدگاه الگوی جرياني و الگوی زمانی مورد تحليل قرار می‌دهد. در اين روش ابتدا سعی شده که الگوی جرياني منحصر به فردی به ازای خطا در هر بخش ايجاد گردد، اما به علت محدودیت استفاده هر يك از تجهیزات حفاظتی، بخش‌های بدون الگوی جرياني يکتا به ازای خطا در آن بخشها وجود خواهند داشت. روشی در اين مقاله ارائه شده است که الگوی زمانی جرييان ابتدائي فider به ازای خطا در بخش‌های با الگوی جرياني يکسان به گونه‌ای استفاده شود که تمایز منحصر به فرد ايجاد نماید که از اين طریق قابلیت تشخيص بخش خطا دیده ممکن گردد. اين اقدام از طریق تنظیمات ویژه تجهیزات حفاظتی مانند ريكلوزر و کات اوت فيوز انجام می‌شود. اين تنظیمات حفاظتی به گونه ای انجام می‌شود که علاوه بر ايجاد هماهنگی حفاظتی در شبکه توزیع قابلیت ايجاد الگوی جرياني و الگوی زمانی منحصر به فرد به ازای خطا در هر بخش را دارا باشد. در اين روش پس از وقوع خطای واقعی، با استفاده از ولتاژ و جرييان ثبت شده در ابتدائي فider در حین خطا، جرييان عبوری از هر تجهیز حفاظتی توسط روش پيشنهادی تعیین می‌گردد. آنگاه از طریق منحنی جرييان- زمانی تجهیزات حفاظتی آن منطقه زمان حضور خطا محاسبه و آنگاه با مدت زمان حضور خطا مشخص شده از جرييان ابتدائي فider مقایسه می‌شود. منطقه مورد حفاظت تجهیز حفاظتی که دارای زمان عملکرد محاسبه شده نزدیک به زمان مشخص شده از جرييان ابتدائي فider باشد، به عنوان بخش و مکان اصلی خطا معرفی می‌شود. در ادامه دقت و صحت روش پيشنهادی به کمک دو شبکه ارائه شده در مراجع [۱۷] و [۱۸] مورد ارزیابی قرار می‌گيرد. در انتها به منظور بررسی روش پيشنهادی با داده‌های واقعی، دو نمونه خطای تکفار در فider قلعه سفید از سری خطوط ۲۰ کيلو ولت شبکه توزیع استان بوشهر ايجاد نموده و نتایج حاصله ارائه گردد.

۲- روش پيشنهادی

۲-۱- انتخاب محل تجهیزات حفاظتی و هماهنگی آنها

در اين مقاله بر اساس الگو و رفتار جرييان ابتدائي فider نسبت به شناسایي بخش خطا تصميم گيری انجام می‌شود. به منظور اجرای

به صورت مدل خط کوتاه در نظر گرفته و در محاسبات از امپدانس بار در فاز خطدار صرفنظر گردد.

در [۹] روش بهينه سازی چند هدفه با استفاده از الگوريتم NSGA^۳ جهت تعیين بخش خطا برای يك سистем توزيع اتوماسيون شده ارائه شده است. توابع هدف موجود در اين مرجع ترکيب ضرائب وزني فاصله مشترکين تماس گيرنده تا محل خطا پيش‌بینی شده، اختلاف ولتاژ قبل و بعد از خطا در گره‌های داراي دستگاه اندازه‌گيری و اختلاف جريان خطای اندازه‌گيری شده و پيش‌بینی شده در گره‌های داراي دستگاه اندازه‌گيری می‌باشد. در اين روش اطلاعات شبکه توزيع، جريان قبيل خطا و آرایش شبکه معلوم فرض شده است. اين روش وضعیت کليدها را به عنوان جمعیت اولیه به صورت باينری صفر و يك در فرایند NSGA در نظر می‌گيرد. سپس بر اساس قیودی مانند حفظ ساختار شعاعی شبکه و برقدار ماندن اکثر مشترکین جمعیت تولید شده را اصلاح می‌نماید. در ادامه با توجه به جمعیت اصلاح شده، تابع هدف به ازاء خطا در بخش‌های باقیمانده (بخش‌های بدون ارتباط با پست) محاسبه می‌شود. آنگاه بخش‌هایی که حداقل تابع هدف را داشته باشند به عنوان بخش‌های احتمالي خطا معرفی می‌شوند. از مشکلات اين روش می‌توان به عدم توجه به خطاهای مقاومتی و چند پاسخی بودن آن اشاره کرد.

روشهای مبتنی بر الگوريتم‌های هوشمند، بهينه سازی و يادگيرنده مانند شبکه های عصبی مصنوعی [۱۰]، الگوريتم ژنتیک [۱۱]، نزدیکترین همسایگی [۱۲] و ماشین بردار پشتیبان [۱۳] جهت شناسایي بخش خطا نیز ارائه گردد. اين روش‌ها دارای مشکلاتی چون نیاز به تعیین شاخص‌های مناسب و يکتا و در اختيار داشتن بانک داده و به روزرسانی و تشکیل آن در شرایط واقعی است. در [۱۴] با استفاده از الگوی جرياني روشی جهت تخمين بخش خطا ارائه شده که با استفاده از ريكلوزر و فيوز و هماهنگی حفاظتی آنها، بخش خطا قابل شناسایي می‌باشد. اين روش با توجه به تولید تنها سه الگوی جرياني، تنها در شبکه‌های توزیع کوچک قابل استفاده بوده و در بكارگيري آن در شبکه های توزیع با انشعابات متعدد محدودیت وجود دارد.

در [۱۵] روشی ارائه شده که با استفاده از نصب و تنظیم فيوزها بخش خطا تخمين زده می‌شود. در روش پيشنهادی اين مرجع، مشخصه جرييان-زمانی فيوزها، زمان ثابت فرض شده است. در ابتدا از طریق تقسیم بندی امپدانسی، فيدر توزیع به زونهای مختلف تقسیم می‌شود. سپس برای هر زون فيوز گذاري لازم انجام می‌پذیرد. در اين روش بر اساس جرييان و امپدانس دیده شده از ابتدائي فider، بخش خطا شناسایي می‌شود. مشکل اين روش در نظرگیری منحنی جرييان زمان ثابت برای فيوزها است که شرایطی غير واقعی و غير اجرایی را ايجاد می‌نماید. همچنانین تقسیم بندی امپدانسی فيدر سبب شده است که قابلیت اجرای اين روش به ازای خطاهای مقاومتی، بسیار محدود گردد. تعمیم روش پيشنهادی در [۱۵]، به منظور در نظر گرفتن مشخصه جرييان زمانی معکوس انواع فيوز لینک ها در [۱۶] ارائه شده که مساله

ابتدای فیدر را شامل می‌شود کمتر از ۲ انشعباب داشت، آن قسمت حذف و بخش‌های مربوطه به عنوان اجزای قسمت قبل در نظر گرفته می‌شود.

ب. سه بخش از هر قسمت کات اوت فیوز نصب می‌شود.
ج. جریان کات اوت فیوزهای هر قسمت برابر $1,2$ برابر جریان بار نامی بخش مورد حفاظت انتخاب می‌شود.

د. نوع فیوز لینک کات اوت فیوزها از بخش‌های انتهایی قسمت به سمت ابتدای آن به ترتیب x, N و ks جهت ایجاد الگوی زمانی یکتا انتخاب می‌گردد.

ه. در محل تفکیک هر قسمت یک ریکلوزر جهت تغییر الگوی جریانی دیده شده در ابتدای فیدر انتخاب می‌گردد.

و. از انتهای فیدر تا ابتداء، هر ریکلوزر به ترتیب به صورت AD، AADD و AAD تنظیم می‌گردد.

ز. بنا به بند الف در قسمتی که دارای n انشعباب است که $4 < n < 6$ می‌باشد، سه انشعباب کات اوت و $n-4$ نشانگر خطا نصب می‌شود.
اگر بین دو ریکلوزر یا ریکلوزر و کلید ایستگاه کمتر از ۲ انشعباب موجود بود، ریکلوزر مربوطه حذف و بر روی دو انشعباب بجای کات اوت فیوز، نشانگر خطا نصب می‌گردد. تمامی این اقدامات برای انشعبابهای با طول بیش از 180 متر انجام می‌پذیرد زیرا این فاصله 3 اسپان می‌باشد که با چشم غیر مسلح قابل رویت بوده و عیوب قابل تشخیص می‌باشد. شبکه توزیع نمونه شکل (۱-الف) را در نظر بگیرید. در این شبکه با توجه به الگوریتم ارائه شده اقدامات زیر انجام پذیرفته است. ابتدای شبکه به قسمت‌های مختلف تقسیم بندی می‌شود. مطابق شکل (۱-ب) فیدر مربوطه دارای دو قسمت خواهد بود. از انتهایی فیدر تا ابتدای فیدر هر قسمت دارای چهار انشعباب می‌باشد. کات اوت فیوزها در محل انشعبابات مطابق شکل (۱-ج) نصب می‌شوند. مجموع بارهای موجود در بخش‌های مختلف که تحت حفاظت کات اوت فیوزهای C_1 تا C_6 هستند، به ترتیب $1,300$ ، $1,000$ ، 800 ، 250 ، 200 ، 250 و 650 کیلو ولت آمپر می‌باشد. جریان تنظیمی هر عنصر حفاظتی $1,2$ جریان بار عبوری از آن در نظر گرفته شده است. در نتیجه جریان فیوز های C_1 تا C_6 به ترتیب 50 ، 50 ، 30 ، 10 ، 10 و 25 آمپر انتخاب می‌شوند. فیوز لینک کات اوت فیوزهای هر قسمت از نوع x, N و ks انتخاب می‌گردد که الگوی زمانی جریان ابتدای فیدر برای خطا در هر بخش از هر قسمت یکتا باشند.

چنین ایده‌ای، از تجهیزات حفاظتی چون ریکلوزرهای کات اوت فیوزها و نشانگرهای خطا استفاده می‌شود. در شبکه توزیع تجهیزات حفاظتی با مشخصات زیر موجود است.

۱- ریکلوزرهای از نوع آنی- تاخیری (AD)، آنی-تاخیری- تاخیری (ADD)، آنی- آنی- تاخیری (AAD)، آنی- آنی- تاخیری- تاخیری (AADD)، آنی- آنی- تاخیری- تاخیری- تاخیری (AADDD) با قابلیت تنظیم میزان تاخیر

۲- کات اوت فیوزها با فیوز لینک‌های نوع x, N, T, k, QA و ks

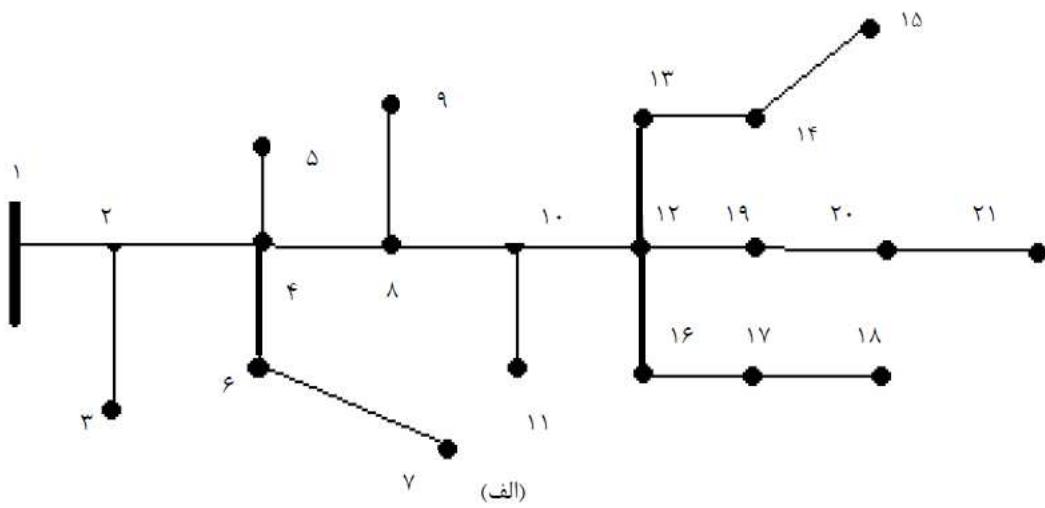
۳- نشانگرهای خطا

در روش پیشنهادی جهت ایجاد رفتار جریانی منحصر به فرد، به زمان عملکرد تجهیز حفاظتی دقت می‌شود. برای دستیابی به الگوی زمانی منحصر به فرد جریان ابتدای فیدر برای بخش‌های مختلف با الگوی جریانی یکسان از کات اوت فیوزها استفاده می‌شود. این اقدام با انتخاب نوع فیوز لینک مناسب انجام می‌پذیرد. انتخاب فیوز لینک‌ها در هر قسمت از شبکه توزیع با الگوی جریانی یکسان باید به گونه‌ای باشد که در هر جریان اختلاف زمانی عملکردی به اندازه حداقل فاصله هماهنگی (CTI)، که در اینجا 320 میلی ثانیه فرض شده است، بین تجهیزات حفاظتی در آن قسمت برقرار باشد.

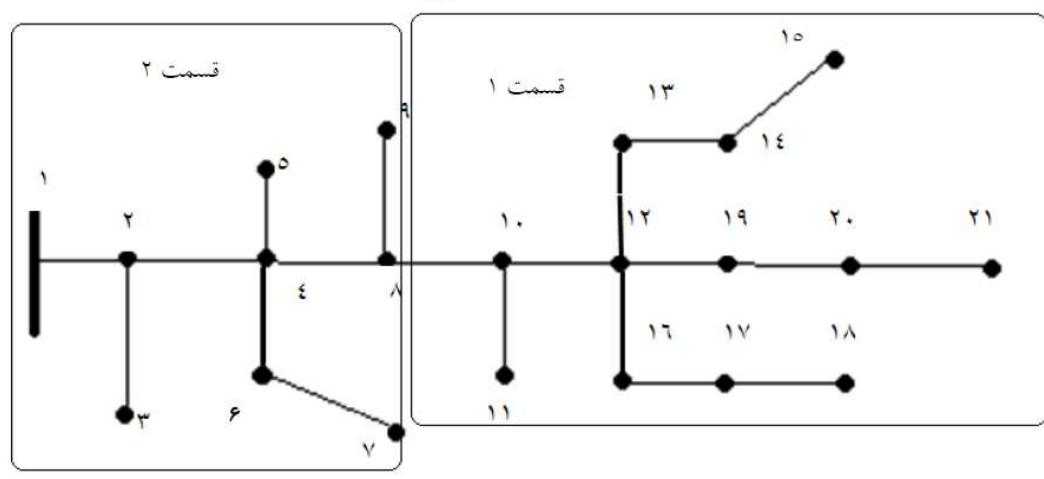
جهت ایجاد اختلاف زمانی عملکرد CTI بین تجهیزات حفاظتی موجود در بخش‌هایی که دارای الگوی جریانی یکسان می‌باشند از کات اوت فیوزها استفاده می‌شود. ایجاد این اختلاف زمانی با توجه به منحنی فیوز لینک‌های موجود، حداکثر می‌توان در یک جریان ثابت از 3 فیوز لینک x, N و ks استفاده نمود. این در قسمت‌هایی از یک شبکه قابل استفاده است که الگوی جریانی یکسان از دیدگاه جریان ابتدای فیدر دارا می‌باشند. لذا در هر قسمت حداکثر از سه کات اوت فیوز می‌توان استفاده نمود تا بخش‌های مختلف قسمت مربوطه، دارای الگوی زمانی متفاوت از دیدگاه جریان ابتدای فیدر باشد. در این راستا کات اوت فیوز تنها برای انشعبابهای با طول بیش از 180 متر (3 اسپان) در نظر گرفته می‌شوند. لذا در شبکه‌های با بیش از چهار انشعباب که طول هر یک بالای 180 متر باشد، نمی‌توان تنها از تمایز رفتار جریانی بهره برد. در نتیجه می‌بایست از طریق تغییر الگوی جریانی با ریکلوزر یا از طریق نشانگرهای خطا جهت ایجاد این تمایز استفاده نمود. انتخاب ریکلوزر و نشانگر خطا وابسته به وسعت و میزان خاموشی گذرای شبکه و خسارت مربوطه می‌باشد. روش پیشنهادی در شبکه‌های توزیع با بیش از هفت انشعباب مطابق زیر است.

الف. تعیین قسمت‌های مختلف یک فیدر:

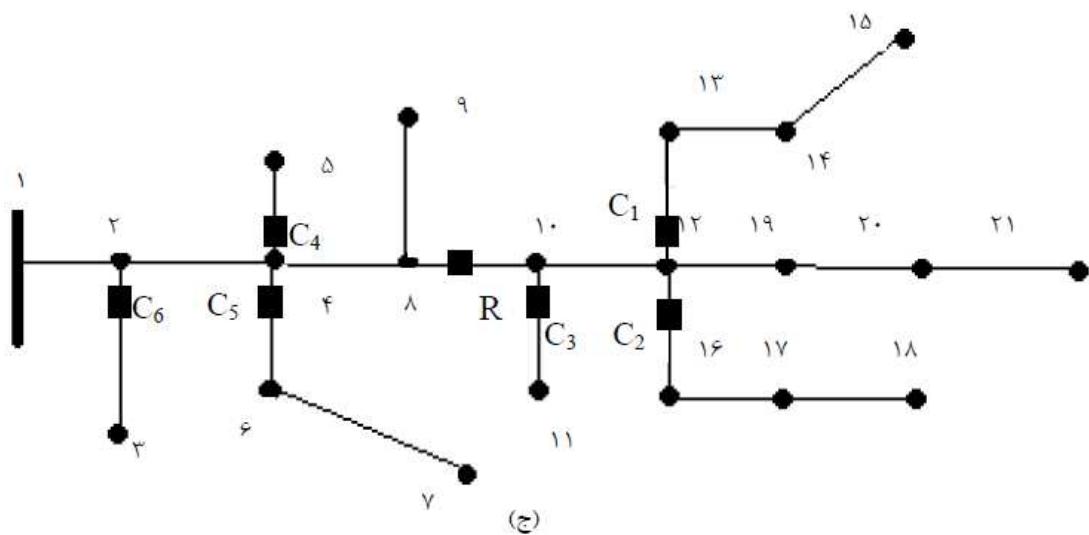
ابتداء از انتهایی فیدر چهار انشعباب را جدا نموده و قسمت ۱ تشکیل می‌شود. این روند تا ابتدای فیدر ادامه پیدا می‌کند. اگر قسمتی که



(الف)



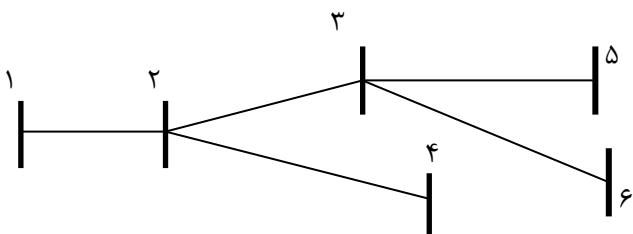
(ب)



(ج)

شکل (۱)- شمای تک خطی شبکه توزیع نمونه ۱

اکنون ولتاژ و جریان ابتدای بخش‌های ۲-۳ و ۳-۶ به شرح ذیل قابل محاسبه است.



شکل (۲)- شمای تک خطی شبکه توزیع نمونه ۲

۱- محاسبه V_2

ولتاژ V_2 از طریق رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$V_2 = V_1 - Z_{12} I_{1-2} \quad (1)$$

در این رابطه V_1 و V_2 به ترتیب ولتاژهای گره ۱ و ۲، Z_{12} امپدانس خط واسط بین گرههای ۱ و ۲ جریان عبوری از خط ۱-۲ می‌باشد.

۲- محاسبه جریان در شاخه هایی که در مسیر ایستگاه به شاخه خطا دیده مورد بررسی نیستند

الف. جریان عبوری از خط واسط گرههای ۲ و ۴ با فرض وجود خطا در بین گرههای ۳ و ۵

$$I_{2-4} = I_{L4} \quad (2)$$

در این رابطه I_{2-4} جریان عبوری از خط واسط گرههای ۲ و ۴ در I_{L4} جریان بار شین ۴ می‌باشد.

ب. محاسبه جریان عبوری از خط واسط بین گرههای ۲ و ۳

$$I_{2-3} = I_{1-2} - (I_{2-4} + I_{L2}) \quad (3)$$

در این رابطه I_{2-3} جریان عبوری از خط واسط بین گرههای ۲ و ۳ در I_{L2} جریان بار شین ۲ می‌باشد.

با این روند ولتاژ V_2 و جریان I_{2-3} در ابتدای بخش ۲-۳ مشخص شده‌اند. همین روند برای بدست آوردن I_{3-6} و V_3 به صورت زیر استفاده می‌شود.

۳- محاسبه V_3

ولتاژ V_3 از طریق رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$V_3 = V_2 - Z_{23} I_{2-3} \quad (4)$$

در این رابطه Z_{23} ، امپدانس خط واسط بین گرههای ۲ و ۳ می‌باشد.

۴- محاسبه جریان خروجی از گره ۳ به سمت گره ۶

الف. محاسبه جریان عبوری از خط واسط بین گرههای ۳ و ۵

$$I_{3-5} = I_{L5} \quad (5)$$

در این رابطه I_{3-5} جریان عبوری از خط واسط گرههای ۳ و ۵ در I_{L5} جریان بار شین ۵ می‌باشد.

ب. محاسبه جریان عبوری از خط واسط بین گرههای ۳ و ۶

$$I_{3-6} = I_{2-3} - (I_{3-5} + I_{L3}) \quad (6)$$

اما اعمال این روش هنگامی کاراست که الگوی جریان ابتدای فیدر به ازای خطا در هر قسمت منحصر به فرد باشد. لذا حد فاصل دو قسمت ریکلوزر نصب می‌شود. ریکلوزر به صورت AD تنظیم می‌شود که دو قسمت دارای الگوی جریانی منحصر به فرد شود. با توجه به شکل (۱-ب) مشاهده می‌شود که قسمت دو دارای چهار انشعاب است که در سه انشعاب آن کات اوت‌های C_4 ، C_5 و $N \times C_6$ از نوع x نصب می‌شود. انشعاب دیگر جزء تنہ اصلی محسوب می‌شود.

اکنون جهت تعیین بخش خطا می‌بایست مدت زمان عملکرد هر تجهیز حفاظتی (t_{si}) را بر اساس دامنه جریان عبوری از آنها مشخص و با مدت زمان حضور خطا استخراج شده از جریان ابتدای فیدر (t_{cal}) مقایسه گردد و بر اساس آن بخش خطا دیده تعیین گردد. در ادامه روشنی که جریان تجهیزات حفاظتی فیدر توزیع را مشخص می‌نماید تشریح شده است. آنگاه بر اساس دامنه جریان هر تجهیز و منحنی جریان-زمان آن t_{si} مربوط به آن تجهیز محاسبه می‌شود.

۲-۲- ارائه روشی جهت محاسبه جریان خطا در هر بخش

جهت محاسبه مدت زمان عملکرد هر تجهیز حفاظتی نیاز به محاسبه دامنه جریان خطا عبوری از آن تجهیز است. در این قسمت روشنی پیشنهاد می‌گردد که دامنه جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی با فرض خطا در هر بخش به طور جداگانه تعیین می‌شود. روش پیشنهادی با یک مثال تشریح می‌شود. شبکه شکل (۲) را در نظر بگیرید. فرض شده است که در این شبکه، تجهیزات حفاظتی در ابتدای تمامی انشعابات نصب شده است. فرض عدم اطلاع از محل خطا، لازم است دامنه جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی تعیین شود که با استفاده از این جریانها، زمان عملکرد هر تجهیز حفاظتی مشخص گردد. اکنون به کمک الگوریتم پیشنهادی که فلوچارت آن در شکل (۳) ارائه شده است، می‌توان جریان شاخه‌های مختلف را هنگام وقوع خطا تنها با در اختیار داشتن ولتاژ و جریان ابتدای فیدر بدست آورد. ماتریسی که مسیر هر گره انتهایی شبکه تا گره مبدأ را مشخص می‌نماید، ماتریس مسیر گویند. ماتریس مسیر مطابق با روش ارائه شده در [۱۹] تعیین می‌شود. در فیدر شکل (۲) ماتریس مسیر برابر با $\text{path}=[1\ 2\ 3\ 6; 1\ 2\ 3\ 5; 1\ 2\ 4\ 0]$ است. روند الگوریتم پیشنهادی با توجه به ماتریس مسیر مشخص می‌شود.

در این روش با استفاده از ولتاژ و جریان گره ابتدایی، ولتاژ گرههای سمت پایین دست محاسبه می‌شوند. در این بین جریان ورودی به هر شین از طریق رابطه KCL و ولتاژ آن از طریق KVL محاسبه می‌شود. اکنون نحوه تعیین جریان تجهیزات حفاظتی در سطر اول ماتریس مسیر [۶ ۱ ۲ ۳ ۶] تشریح می‌گردد. ابتدا در این بین سه بخش وجود دارد ۱-۲، ۲-۳ و ۳-۶. ولتاژ و جریان بخش ۱-۲ همان ولتاژ و جریان گره ابتدایی هستند که اطلاعات از آن برداشت شده است.

به منظور بررسی صحت و دقت روش پیشنهادی در تعیین مکان وقوع خطأ در شبکه های توزیع، از دو فیدر توزیع استفاده شده است که یکی از آنها از [۱۷] اخذ شده و فیدر دوم، یک فیدر واقعی در شبکه توزیع برق استان بوشهر بوده است که با انجام دو آزمایش اعمال خطأ بر روی این فیدر و ثبت اطلاعات واقعی به ارزیابی روش پیشنهادی مبادرت شده است. نتایج شبیه سازی و تحلیل آنها در ادامه آورده شده است.

۱-۳- سیستم نمونه ۱ (اخذ شده از [۱۷])

شبکه توزیع مورد بررسی در [۱۷] مطابق شکل (۵-الف) است. این فیدر دارای ۱۶ شین، ۹ انشعباب و ۹ بار با اطلاعات ارائه شده در جدول (۱) می باشد. بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش ۱-۲ برای تعیین موقعیت نصب تجهیزات حفاظتی از انتهای فیدر شروع کرده و به سمت ابتدای فیدر حرکت می کنیم. این شبکه با توجه به الگوریتم ارائه شده در بخش ۱-۲-الف، دارای دو قسمت است (مطابق شکل (۵-ب)) که قسمت ۱ دارای ۴ انشعباب ۱۵-۱۴-۱۶، ۱۲-۱۳، ۱۴-۱۳ و ۱۰-۱۱ است که دارای الگوی جریانی یکسان می باشند. اکنون جهت ایجاد الگوی زمانی متفاوت در جریان ابتدای فیدر برای این قسمت از سه کات اوت برای انشعبابهای ۱۲-۱۳، ۱۴-۱۶ و ۱۰-۱۱ استفاده می شود. حال می باشد جهت تغییر الگوی جریانی در حدفاصل قسمت ۱ و ۲ یک ریکلوزر در ابتدای بخش ۷-۱۰ قرار داد. در این صورت بین ریکلوزر و ابتدای فیدر ۵ انشعباب موجود است. انشعباب ۷-۹ را می توان جزء ته اصلی محسوب کرد و همچنین در محل انشعبابهای ۷-۸، ۴-۶ و ۴-۵ کات اوت فیوز پیشنهاد می گردد. مطابق الگوریتم ارائه شده در بخش ۱-۲، لازم است از نشانگر خطأ در انشعباب ۲-۳ استفاده شود.

اکنون باید از شین های انتهایی، کات اوت فیوزها تنظیم گرددند به گونه ای که اختلاف زمانی آنها در هر جریان به اندازه CTI باشد. با توجه به این مطلب، در انشعباب ۱۴-۱۶ کات اوت فیوز با فیوز لینک ۵ آمپر به این مطلب، در انشعباب ۱۲-۱۳ کات اوت فیوز با فیوز لینک ۱۲ آمپر نوع N نوع A در انشعباب ۱۰-۱۱ کات اوت فیوز با فیوز لینک ۱۲ آمپر نوع ks قرار داد. جریان هر فیوز لینک برابر با نزدیکترین جریان فیوز لینک استاندارد به ۱,۲ برابر جریان بارهای نامی پایین دست کات اوت فیوز انتخاب گردیده است. اکنون در ابتدای بخش ۷-۱۰ ریکلوزری با تنظیم AD با تأخیر CTI نسبت به منحنی جریان- زمانی فیوز لینک ۱۲ آمپر نوع ks جهت تغییر الگوی جریانی قرار داده می شود. هر یک از انشعبابهای بالادست ریکلوزر مطابق جدول (۲) نوع فیوز لینک مربوطه مشخص می شود. جهت حفظ فاصله زمانی CTI بین منحنی مشخصه عملکرد رله ایستگاه و تاخیری ترین فیوز لینک (ks)، رله نسب شده در ایستگاه از نوع معکوس استاندارد SI با ضریب تنظیم زمانی 10% انتخاب می شود. لازم به توضیح است که با توجه به محدودیت تعداد فیوز جهت ایجاد تمایز زمانی در جریان و هزینه ریکلوزر جهت تغییر الگو جریانی از نشانگر خطأ در انشعباب ۲-۳ استفاده شده است.

در این رابطه I_{L3} جریان عبوری از خط واسط بین گره های ۳ و ۶ و I_{L3} جریان بار شین ۳ می باشد.

با توجه به الگوریتم ارائه شده، ولتاژ هر شین و جریان خروجی از هر شین با فرض خطأ در پایین دست آن، تعیین می شود. در روند ارائه شده جریان تمام تجهیزات حفاظتی مشخص می شود. فلوچارت روش پیشنهادی جهت تعیین جریان خطای عبوری از تجهیزات حفاظتی به کمک اطلاعات ابتدای فیدر در شکل (۳) نمایش داده شده است.

۲-۳- محاسبه زمان حضور خطأ در هر مکان ممکن خطأ

در بخش ۲-۲ جریان عبوری از کلیه تجهیزات حفاظتی مشخص گردید. با توجه به هماهنگی حفاظتی در نظر گرفته شده برای فیوز لینک کات اوت ها و ریکلوزرها، نوع منحنی جریان- زمانی آن مشخص وتابع آن استخراج شده است. بنابراین با معلوم بودن جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی به کمک رابطه (۷) زمان عم لکرد آنها مشخص می گردد.

$$t_{ij} = \frac{k}{\left(\frac{I_{ij}}{I_{p_i}} \right)^n - 1} \quad (7)$$

در این رابطه:

t_{ij} : زمان عملکرد تجهیز حفاظتی نام به ازای خطأ در بخش Zام.

I_{ij} : جریان عبوری از تجهیز حفاظتی نام به ازای خطأ در بخش Zام.

I_{p_i} : جریان تنظیمی تجهیز حفاظتی نام.

k, n : ضرایب ثابت که با توجه به منحنی مشخصه فیوز انتخاب می شوند.

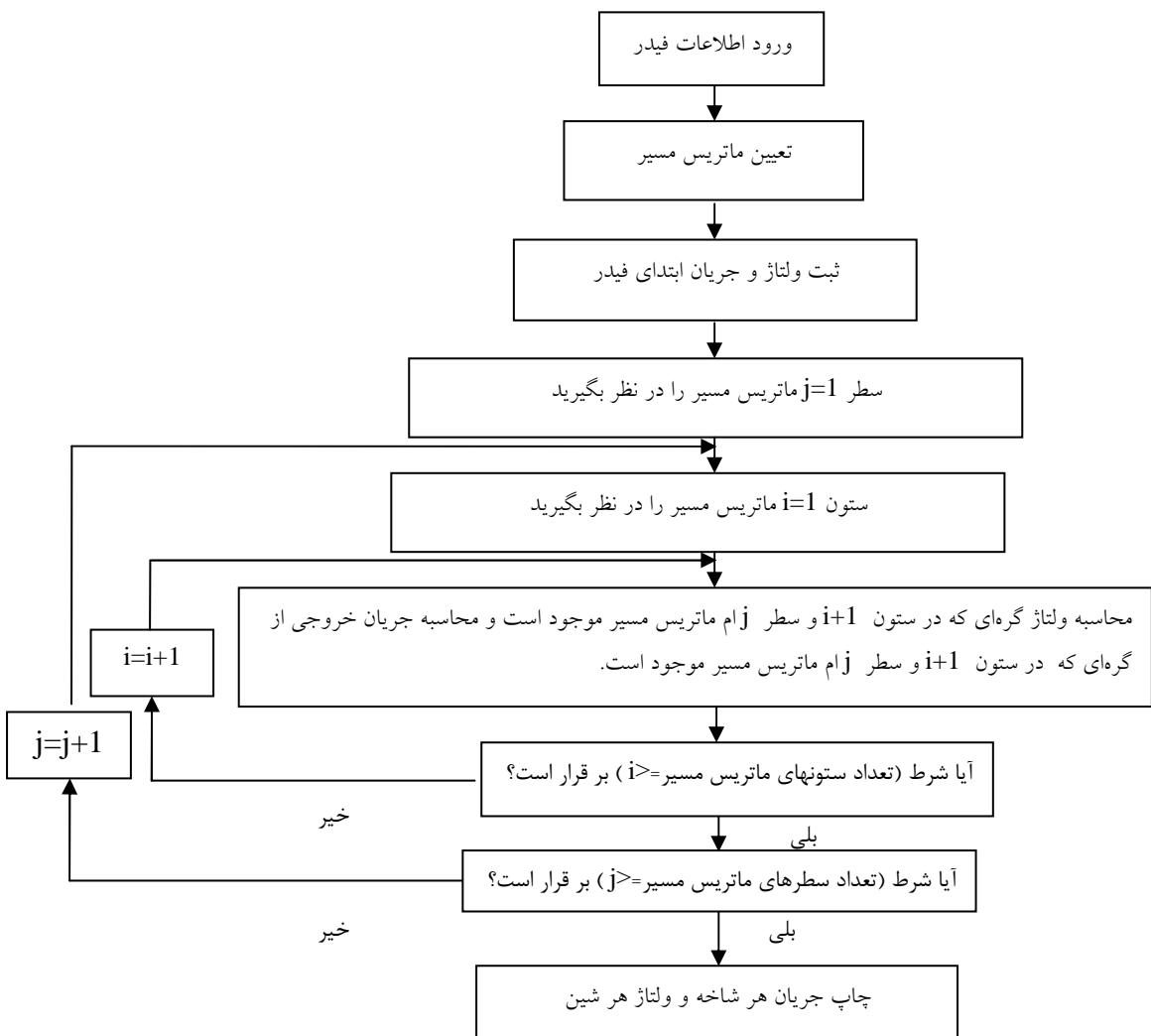
این عمل برای تمامی تجهیزات حفاظتی هر بخش انجام می پذیرد و تمامی زمانهای مربوطه برای تجهیزات حفاظتی هر بخش به ازای خطأ در هر بخش تعیین می شود.

۴-۲- تعیین بخش اصلی خطأ از میان بخش های ممکن

با توجه به زیر بخش های ۲-۲ و ۳-۲ زمان عملکرد تجهیزات حفاظتی (t_{si}) که وظیفه حفاظت از بخش های ممکن خطأ را دارد، مشخص گردیده است. زمان عملکرد تجهیزات حفاظتی محاسبه شده (t_{si}) با مدت زمان حضور خطأ (t_{cal}) که به کمک جریان ابتدای فیدر تعیین شده است، مقایسه می گردد. هر تجهیز حفاظتی که دارای کمینه $|t_{si} - t_{cal}|$ باشد به عنوان تجهیز حفاظتی عمل کرده مشخص می گردد و بخشی که مورد حفاظت آن تجهیز باشد به عنوان بخش معرفی می گردد. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۴) نمایش داده شده است.

۴-۳- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی



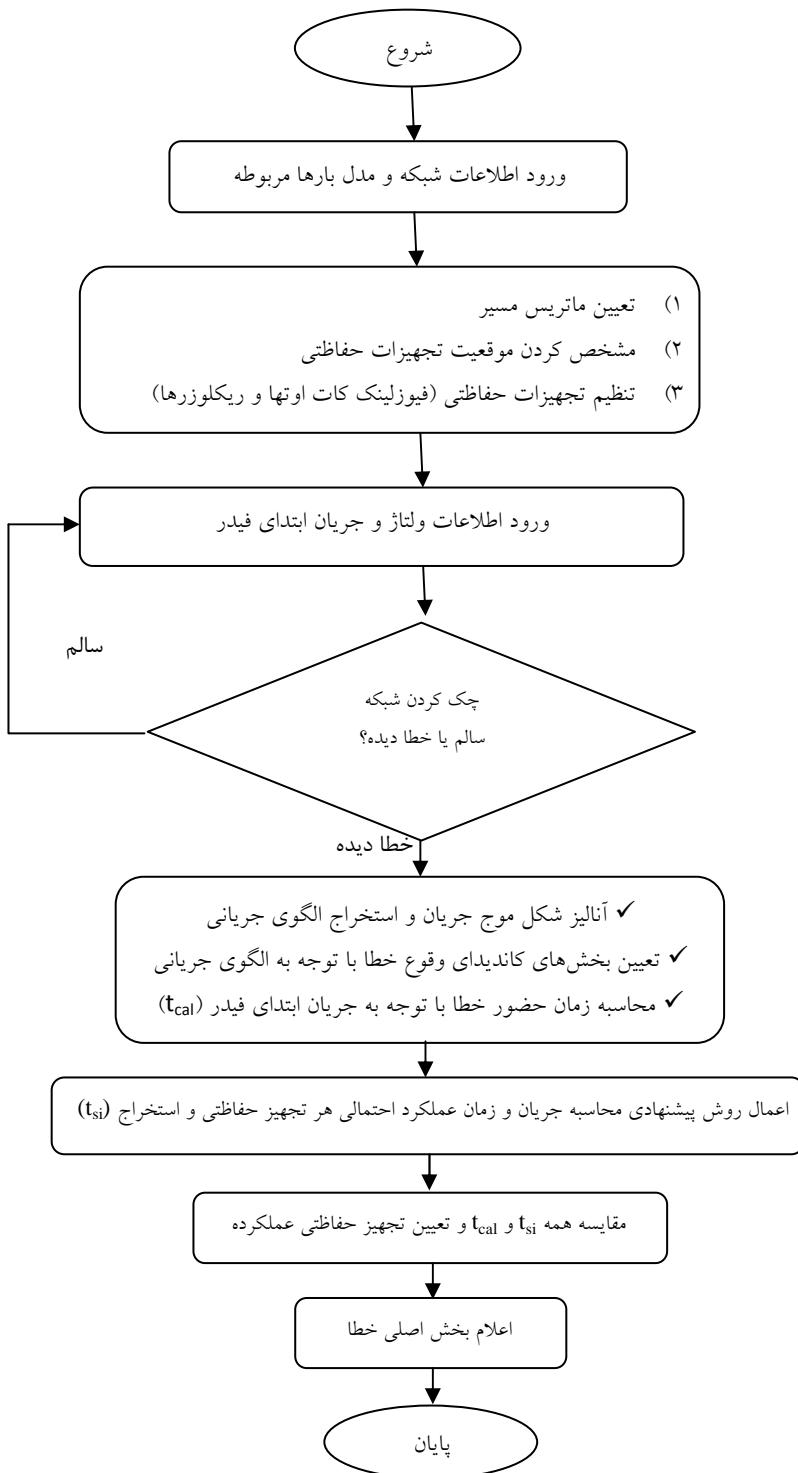


شکل (۳)- فلوچارت روش پیشنهادی جهت تعیین جریان خطای عبوری از تجهیزات حفاظتی به کمک اطلاعات ابتدای فیدر

ثانیه اتفاق افتاده است. اکنون به علت قطع آنی مشخص است که ریکلوزر عملکرد آنی داشته است، در نتیجه خطا در قسمت ۱ اتفاق افتاده است. پس عملکرد تاخیری می‌تواند یا ناشی از قطع یکی از کات اوت فیوزهای قسمت ۱ یا عملکرد قطع تاخیری ریکلوزر باشد. اکنون می‌باشد دامنه جریان خطای عبوری از هر کات اوت قسمت ۱ و ریکلوزر به ازای خطا در پایین دست آن را تعیین نمود که این عمل از طریق روش پیشنهادی در بخش ۲-۲ انجام می‌شود.

در این حالت شبکه توزیع به دو قسمت تقسیم شده که الگوی جریانی خطا در هر یک از قسمت‌ها از دیدگاه ابتدای فیدر متفاوت می‌باشد. اما هر قسمت دارای زیر بخش‌هایی است که به ازای خطا در هر یک از آنها الگوی جریانی یکسان است اما از نظر زمان حضور خطا متفاوت خواهد بود. لذا با اضافه شدن شاخص زمان، شناسایی بخش خطا توسط ادوات حفاظتی امکان پذیر می‌شود. اکنون فرض کنید خطا سه فازی بر روی تنہ اصلی و بین گره‌های ۱۰ و ۱۲ اتفاق افتاده باشد. منحنی جریانی که از دیدگاه ابتدای فیدر در فاز a ایجاد می‌شود، مطابق شکل (۶) است.

با بررسی شکل (۶) مشاهده می‌گردد که الگوی جریانی شامل یک قطع آنی و یک قطع تاخیری با زمان حضور خطای ۰/۹۲۱۶ میلی



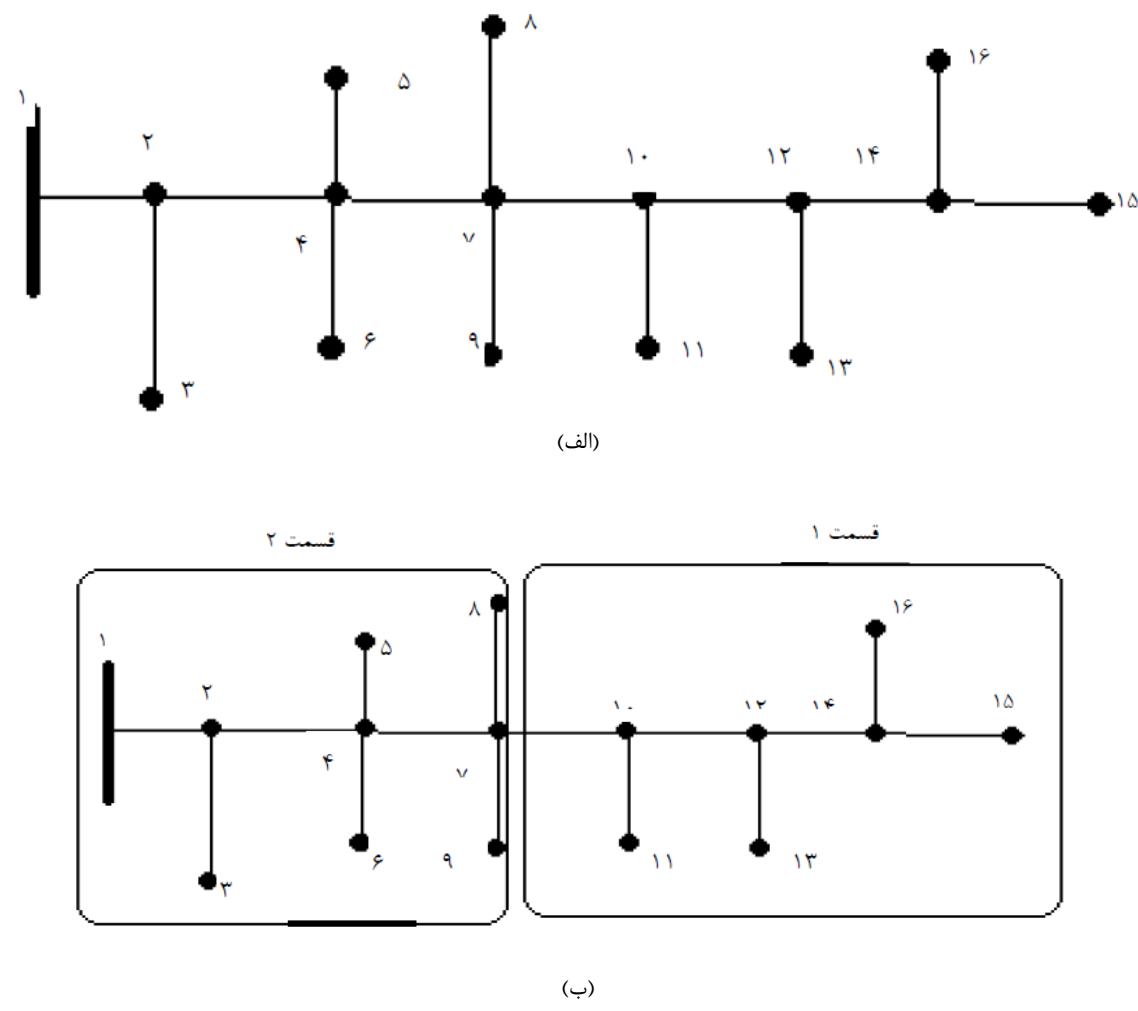
شکل(۴)- فلوچارت روش پیشنهادی

جدول ۱- اطلاعات گره‌های دارای بار در فیدر شکل (۵-ب)

شماره گره	میزان بار (kVA)	۳	۵	۶	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۵	۱۶
	۳۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۱۵۰	۱۱۰

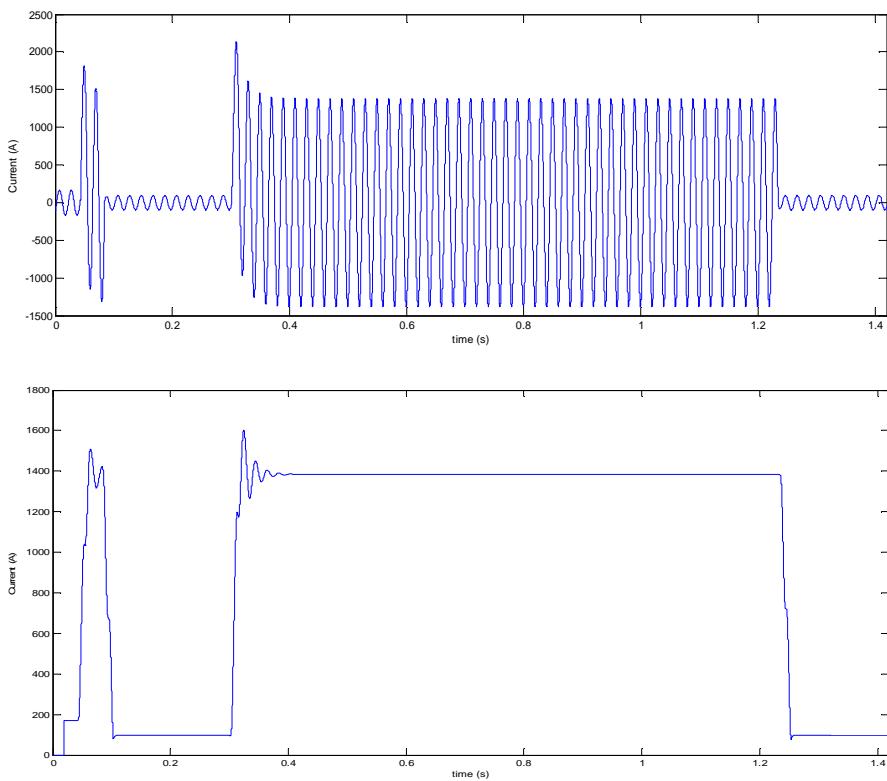
از قسمت ۱ می‌توانند بخش محل خطا باشند. به عنوان مثالی دیگر، اگر خطای تک فازی بین گره‌های ۱۴-۱۶ اتفاق افتد شکل موج جریان ابتدای فیدر برابر 0.9216 ks است و همچنین مشهود است که زمان عملکرد کات اوت‌های x, N و ریکلوزر با جریان های عبوری محاسبه شده از آنها به ترتیب برابر با $0.0734, 0.0702, 0.0384$ و 0.003 ثانیه می‌باشد. با توجه به زمان‌های محاسبه شده برای هر تجهیز حفاظتی و زمان حضور خطا مشخص می‌شود که عملکرد تاخیری قطع ناشی از عملکرد تاخیری ریکلوزر بوده است. لذا در این حالت چهار بخش ۷-۱۰، ۱۰-۱۲، ۱۲-۱۴ و ۱۴-۱۵ بر روی تنۀ اصلی

در این جدول مشاهده می‌گردد که زمان حضور خطا با توجه به جریان ابتدای فیدر برابر 0.9216 است و همچنین مشهود است که زمان عملکرد کات اوت‌های x, N و ریکلوزر با جریان های عبوری محاسبه شده از آنها به ترتیب برابر با $0.0734, 0.0702, 0.0384$ و 0.003 ثانیه می‌باشد. با توجه به زمان‌های محاسبه شده برای هر تجهیز حفاظتی و زمان حضور خطا مشخص می‌شود که عملکرد تاخیری قطع ناشی از عملکرد تاخیری ریکلوزر بوده است. لذا در این حالت چهار بخش ۷-۱۰، ۱۰-۱۲، ۱۲-۱۴ و ۱۴-۱۵ بر روی تنۀ اصلی



شکل(۵)- شبکه نمونه [۱۷]





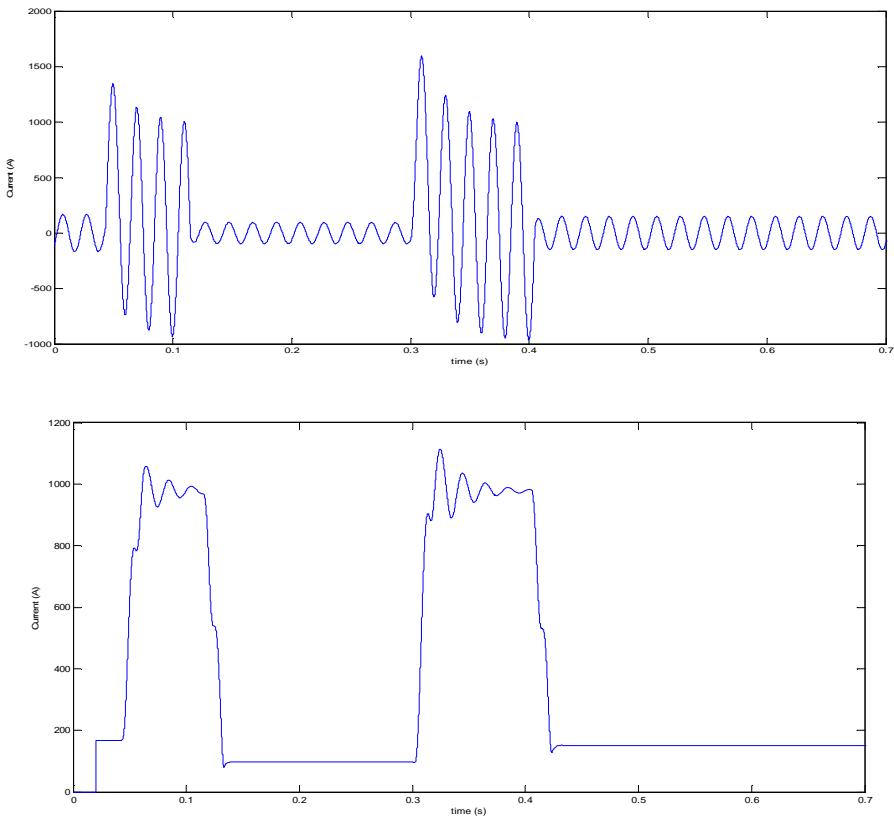
شکل(۶)-الگوی شکل موج جریان لحظه‌ای و موثر ابتدای فیدر در هنگام وقوع خطا در بخش ۱۰-۱۲

جدول ۲-فیوز لینکهای انتخابی برای انشعابهای قبل از ریکلوزر در شبکه نمونه شکل (۵)

جریان فیوز (آمپر)	نوع فیوز لینک	انشعاب
۷	x	۸-۷
۸	N	۵-۴
۷	ks	۶-۴

جدول ۳- جریان و زمان محاسبه شده به ازاء خطا در بخش ۱۰-۱۲ در تجهیزات حفاظتی قسمت ۱ جهت تعیین بخش اصلی خطا

تجهیز حفاظتی	جریان محاسبه شده (آمپر)	زمان قطع محاسبه شده (ثانیه)	زمان اندازه گیری شده از جریان ابتدای فیدر (ثانیه)	اختلاف زمان محاسبه شده و زمان اندازه گیری شده (ثانیه)	بخش اصلی خطا
کات اوت ۵-۵	۱۲۵۸/۷	۰/۰۷۳۴	۰/۹۲۱۶	۰/۸۴۸۲	
کات اوت ۱۰-۱۲	۱۲۸۷/۱۵	۰/۳۸۴		۰/۵۳۷۶	
کات اوت ۱۰-۱۲	۱۳۱۸/۳۴	۰/۷۰۲		۰/۲۱۹۶	
ریکلوزر	۱۳۸۵/۸	۱/۰۰۳		۰/۰۸۱۴	✓ بر روی تنہ اصلی بین گره ۷ تا ۱۵



شکل(۷)- الگوی شکل موج جریان لحظه‌ای و موثر ابتدای فیدر در هنگام وقوع خطا در بخش ۱۶-۱۴

علاوه بر تست‌هایی که نتایج آن ارائه گردید، انواع خطاهای در فواصل متفاوت و در بخش‌های مختلف شبیه سازی گردید که روش پیشنهادی در تمامی حالات به طور صحیح بخش خطا را شناسایی نمود. در صورتی که روش ارائه شده در [۱۷] مطابق با سخن نویسنده آن، دارای مشکلاتی چون جامع نبودن روش در شناسایی کامل بخش خطا است به گونه‌ای که به ازای خطا در برخی از بخشها شناسایی بخش خطا به صورت ناصحیح انجام شده است.

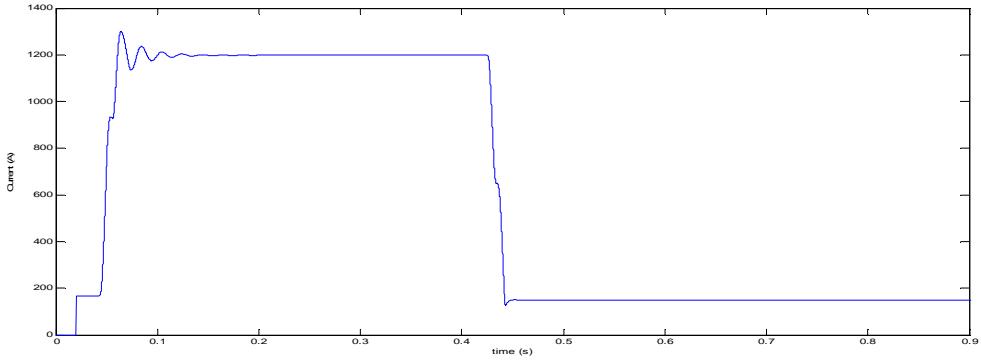
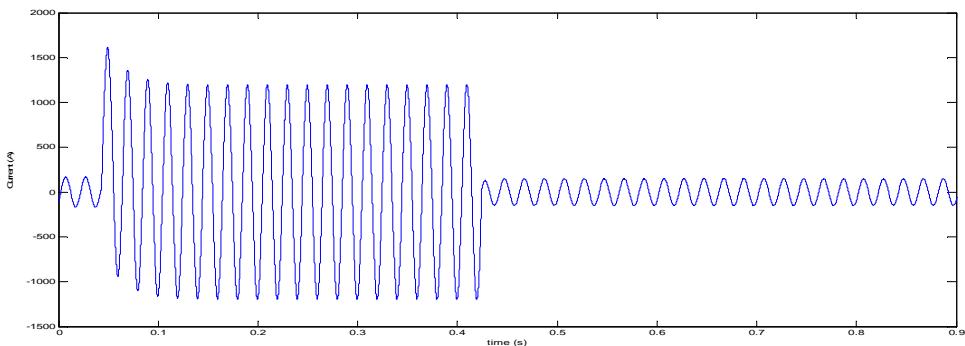
این روش همچنین بر فیدر نمونه ارائه شده در [۱۸] مورد ارزیابی قرار گرفت که به علت محدودیت تعداد صفحه از ارائه جزئیات نتایج خودداری شده است. ارزیابی به ازای خطاهای مختلف در محل‌های مختلف بر فیدر نمونه مذکور انجام و بخش خطا به طور صحیح استخراج گردید. روش شناسایی بخش خطا استفاده شده در [۱۸]، روش شبکه عصبی بوده که علاوه بر پیچیدگی و نیاز به تهیه بانک داده دقیق دارای مشکل عدم یکتا بودن شاخص ارائه شده جهت شناسایی بخش خطا می‌باشد. به این گونه که در برخی بخش‌ها خصوصاً در بخش‌های با پارامترهای مشابه در شناسایی بخش خطا دچار مشکل است. این در حالی است که روش پیشنهادی با استفاده از الگوی جریانی و زمانی جریان ابتدای فیدر، روشی ساده و کم هزینه است که به بانک داده قوی و دقیق نیاز نداشته و مشکلات به روز رسانی آن را نیز ندارد.

مطابق با روش پیشنهادی بخش ۲-۲، دامنه جریان‌های عبوری از تجهیزات حفاظتی این قسمت استخراج شده و با توجه به منحنی جریان-زمانی تجهیزات حفاظتی، زمان قطع مربوط به هر یک تعیین گردیده است. سپس با مقایسه با مدت زمان حضور خطا با توجه به جریان ابتدای فیدر، تجهیز عملکرد داشته کات اوت ۵-۸ تشخیص داده می‌شود. که این کات اوت از بخش ۱۶-۱۴ حفاظت می‌نماید. مقادیر زمانی و جریانی تجهیزات حفاظتی موجود در قسمت ۱ به ازای خطا در بخش ۱۶-۱۴ در جدول (۴) آورده شده است.

در آزمایشی دیگر، خطای سه فاز در بخش ۴-۵ از قسمت ۲ ایجاد شده است. خطا در این بخش الگوی جریانی مطابق شکل (۸) در ابتدای فیدر ایجاد می‌نماید. الگوی جریانی نشان می‌دهد که عملکرد تاخیری بوده که نشان دهنده عملکرد فیوز بدون عملکرد ریکلوزر می‌باشد. در نتیجه با توجه به الگوی جریانی شکل (۸)، خطا در قسمت ۲ تشخیص داده شده است. دامنه جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی موجود در قسمت ۲ از طریق روش پیشنهادی تشریح شده در بخش ۲-۲ تعیین و از طریق آن زمان عملکرد هر یک از تجهیزات حفاظتی مشخص گردیده‌اند. دامنه جریان و زمان عملکرد هر تجهیز حفاظتی در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول و مقایسه زمان محاسبه شده عملکرد هر تجهیز حفاظتی و زمان حضور خطای استخراج شده از جریان ابتدای فیدر، بخش ۴-۵ به عنوان بخش اصلی خطا معرفی می‌گردد.

جدول ۴- جریان و زمان محاسبه شده به ازاء خطأ در بخش ۱۶-۱۴ در تجهیزات حفاظتی قسمت ۱ جهت تعیین بخش اصلی خطأ

تجهیز حفاظتی	جریان محاسبه شده (آمپر)	زمان قطع محاسبه شده (ثانیه)	زمان اندازه گیری شده از جریان ابتدای فیدر (ثانیه)	اختلاف زمان محاسبه شده و زمان اندازه گیری شده (ثانیه)	بخش اصلی خطأ
کات اوت x-۵	۹۸۷/۶۷	۰/۱۵۳	۰/۱۲۴	۰/۰۲۹	بر روی بخش ۱۶-۱۴
N-۱۲	۱۰۸۲/۱۵	۰/۴۲۱		۰/۲۹۷	
کات اوت ks-۱۲	۱۱۲۶/۴	۰/۷۸۳		۰/۶۵۹	
ریکلوزر	۱۱۹۰/۲	۱/۰۴۳		۰/۹۱۹	



شکل (۸)- الگوی شکل موج جریان لحظه‌ای و موثر ابتدای فیدر در هنگام وقوع خطأ در بخش ۴-۵

جدول ۵ - جریان و زمان محاسبه شده به ازاء خطای در بخش ۴-۵ در تجهیزات حفاظتی جهت تعیین بخش اصلی خطای

تجهیز حفاظتی	جریان محاسبه شده (آمپر)	زمان قطع محاسبه شده (ثانیه)	زمان اندازه گیری شده از جریان ابتدا فیدر (ثانیه)	اختلاف زمان محاسبه شده و زمان اندازه گیری شده (ثانیه)	بخش اصلی خطا
کات اوت X-۱۵	۱۰۱۰/۵۶	۰/۱۴۶۱	۰/۳۹۶۸	۰/۲۲۱۹	
N-۲۰	۱۱۹۰/۴۴۸	۰/۳۸۶		۰/۰۱۰۸	۴-۵ بخش
کات اوت ks-۱۵	۱۲۵۱/۴۱	۰/۷۴۶		۰/۳۷۸	
کلید استگاه	۱۲۸۰/۸۰۴	۱/۰۰۸۳۱		۰/۶۶۲	

گردد که فیوز لینک نوع X عملکرد داشته که معرف حضور خطای در شاخه ۱۱-۱۲ است.

شکل (۱۱) یک خطای تک فاز به زمین را نمایش می‌دهد که یک عملکرد آنی (شکل ۱۱-الف) و یک عملکرد تاخیری (شکل ۱۱-ب) روی آن مشهود است. بر اساس این الگو مشخص است که خطای در پایین دست ریکلوزر اتفاق افتاده است(قسمت ۱). اکنون بر اساس روش پیشنهادی بخش ۲-۲ و منحنی جریان- زمانی تاخیری ریکلوزر و فیوز لینک نوع X، عنصر حفاظتی عملکرد داشته، مشخص می‌شود. با توجه به جریان ۵۹۵ آمپر ابتدای فیدر و مشخصات خط، جریان عبوری از ریکلوزر بر اساس روش پیشنهادی بخش ۲-۲ برابر ۵۵۳,۸ برابر ۵۴۸,۶ آمپر و جریان عبوری از کات اوت فیوز با فیوز لینک نوع X برابر جریان آمپر محاسبه می‌شود که زمان عملکرد تاخیری ریکلوزر با این جریان برابر ۳۱۹,۶۴ میلی ثانیه و کات اوت بر اساس تنظیمات آن برابر ۸۷,۲۸ میلی ثانیه بدست می‌آید. با توجه به شکل (۱۱-ب) مدت زمان حضور خطای ۹۷,۳۹ میلی ثانیه می‌باشد. مقایسه زمان حضور خطای (۹۷,۳۹ میلی ثانیه) و زمانهای محاسبه شده برای ریکلوزر (۳۱۹,۶۴ میلی ثانیه) و فیوز لینک X (۸۷,۲۸ میلی ثانیه)، عملکرد کات اوت مشهود است که این معرف حضور خطای در شاخه ۱۱-۱۳ است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله روشی تجربی، ساده و اجرایی جهت تخمین بخش خطای و حذف مشکل چند پاسخی روشهای امپدانسی ارائه شده است. در این روش با تعیین مکان تجهیزات حفاظتی چون ریکلوزر و کات اوت فیوز در شبکه توزیع و ارائه هماهنگی حفاظتی ویژه، شرایطی بوجود آورده شد که علاوه بر وجود هماهنگی حفاظتی در شبکه توزیع، بهره‌برداران بتوانند بخش خطای از طریق الگو و رفتار جریان ابتدای فیدر بدون هیچگونه تجهیز اضافی تعیین نمایند. در روش پیشنهادی، جریان از رله اضافه جریان ابتدای فیدر و ولتاژ از رله ولتاژی باسیار خروجی ترانس برداشت می‌شود. این روش علاوه بر تست شبیه سازی بر دو

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی بر فیدر قلعه سفید از توابع

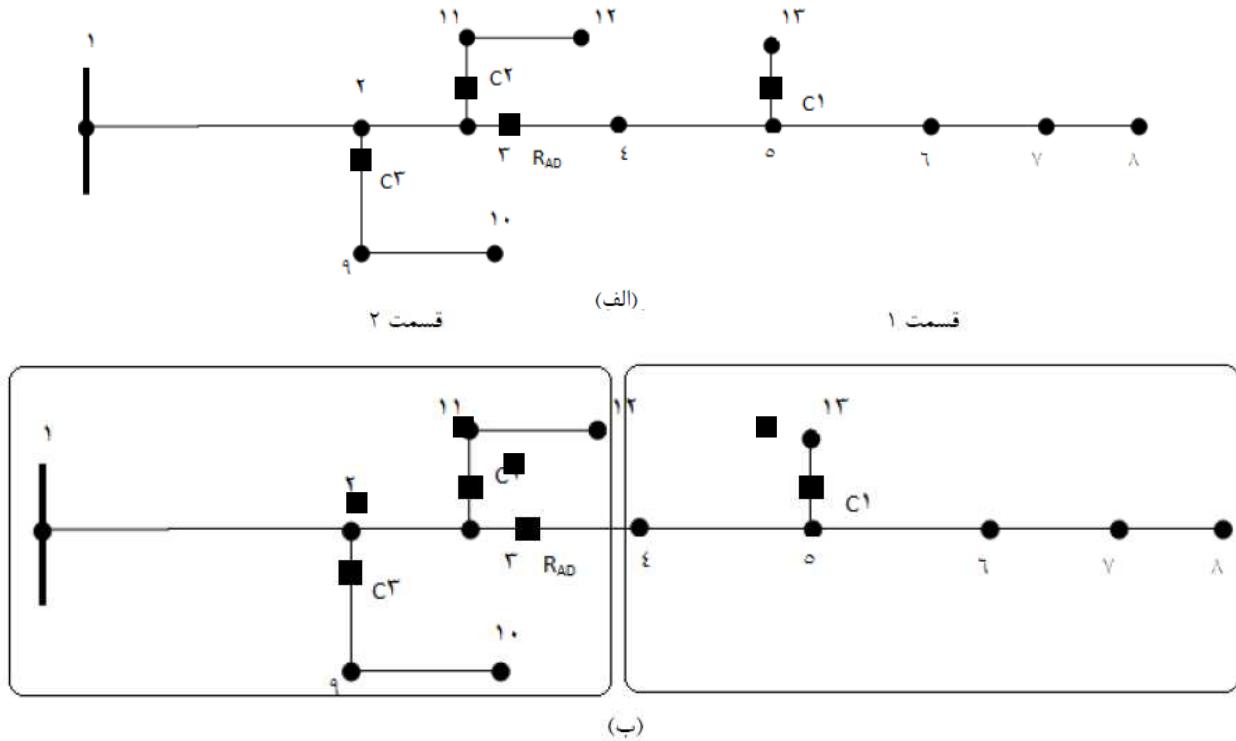
شرکت توزیع نیروی برق استان بوشهر

فیدر قلعه سفید دارای ۱۳ شین، سه انشعبا و ۱۰ بار است. نمای تک خطی فیدر قلعه سفید در شکل (۹) آورده شده است. در این شبکه یک ریکلوزر در محل ۳-۴ وجود دارد و تنظیم آن به صورت AD Cات اوت فیوز با فیوز لینکهای X، C₁:N، C₂:N و C₃:ks پیشنهاد می‌نماید. به علت اینکه این فیدر خود دارای ریکلوزر است، لذا فیوز لینک C₁ که وظیفه حفاظت از بخش ۵-۱۳ را دارد از نوع X با جریان ۳ آمپر انتخاب شده است (جریان فیوز لینک ۱,۲ برابر جریان نامی بار انتخاب شده است). منحنی تاخیری ریکلوزر از نوع SI ضریب تنظیم زمانی ۵٪ انتخاب شده است تا در هر جریان نسبت به فیوز لینک X، به اندازه CTI اختلاف زمانی عملکرد داشته باشد. سپس فیوز لینک C₂ که در بالادست ریکلوزر به سمت ایستگاه واقع است و از الگوی جریانی متفاوتی نسبت به پایین دست ریکلوزر برخوردار است، از نوع X با جریان ۷ آمپر انتخاب می‌گردد. همچنین فیوز لینک C₃ از نوع N با جریان ۱۵ آمپر استفاده شده است. در نهایت رله ایستگاه دارای ضریب تنظیم زمانی ۹٪ می‌باشد تا قابلیت پشتیبانی فیوزها و ریکلوزر را دارا باشد. بعد از اعمال تنظیمات، اکنون دو خطای تک فاز واقعی با استفاده تفنگ پرتاب سیم در بخش‌های ۱۱-۱۲ و ۵-۱۳ ایجاد شده است. شکل موج‌های جریان موثر ثبت شده در قسمت ثبات حادثه رله اضافه جریان ابتدای فیدر به صورت شکل‌های (۱۰) و (۱۱) می‌باشد که از نرم افزار Sigra استخراج شده است. شکل (۱۰) موقعیت فازی را نمایش می‌دهد که عملکرد آن آنی با زمان عملکرد ۱۶۶ میلی ثانیه در جریان خطای ۵۹۸ آمپر است. به علت عدم وجود هیچگونه عملکرد تاخیری، پس خطای در قسمت ۲ رخ داده است و بر اساس زمان و جریان استخراج شده و بررسی روش پیشنهادی در بخش ۲-۲ مشخص می‌شود.

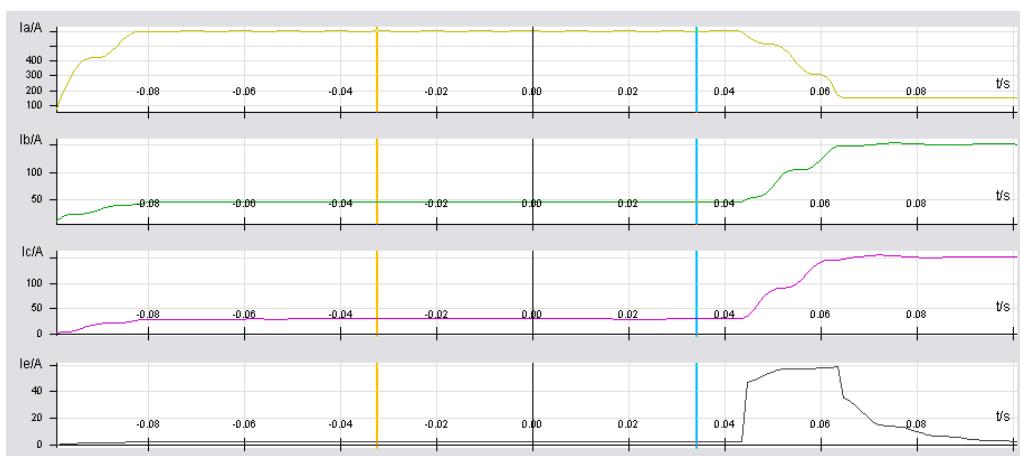


قوی آن و پاسخگویی آن به تمام خطاهای شبکه توزیع است که در نتایج شبیه سازیها، این توانمندی مشهود می باشد.

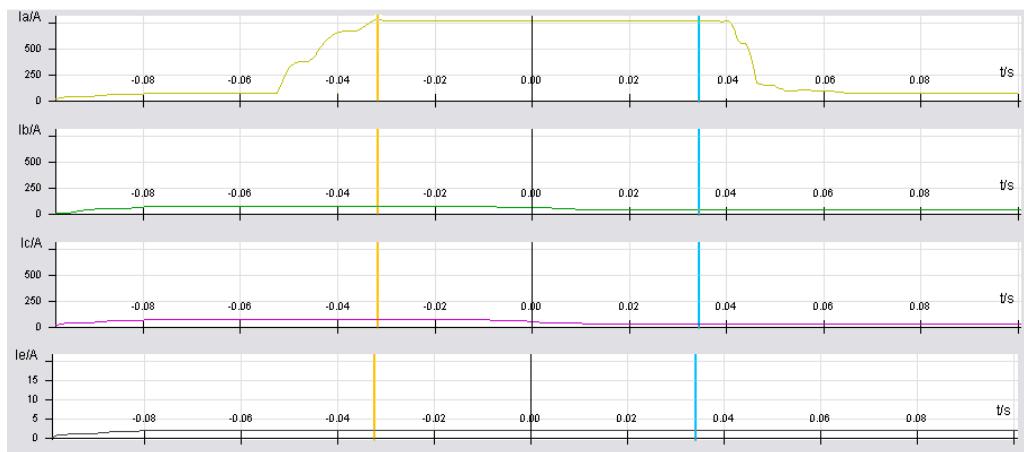
شبکه نمونه، بر یک فیدر واقعی ۲۰ کیلو ولت تحت دو خطا در محلهای متفاوت مورد ارزیابی عملی قرار گرفت که نتایج ارائه شده نشان دهنده صحت عملکرد روش پیشنهادی است. قابلیت این روش عملکرد



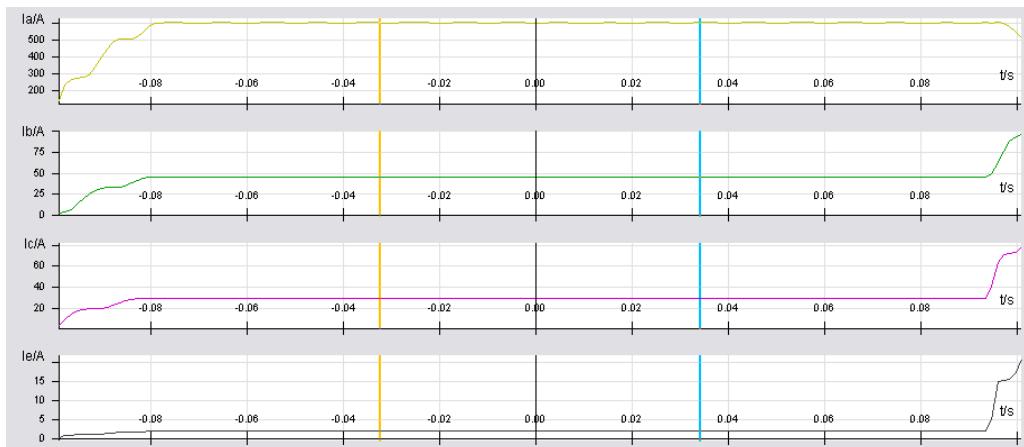
شکل(۹)- نمای تک خطی فیدر قلعه سفید با تقسیم بندی فیدر



شکل(۱۰)- جریان موثر ابتدای فیدر به ازای خطا در بخش ۱۱-۱۲ (خروجی رله ۱۱-۱۲ Micom P123) در نرم افزار (Sigra)



(الف) - عملکرد ریکلووزر



(ب) وصل مجدد ریکلووزر و عملکرد فیوز

شکل(11)- جریان موثر ابتدایی فیدر به ازای خطا در بخش ۵-۱۳ (خروجی رله Micom P123) در نرم افزار Sigra

[۱۶] رحمن دشتی و جواد ساده، "ارائه یک روش نوین اجرایی جهت تعیین
بخش خطا در شبکه توزیع"، پنجمین کنفرانس حفاظت و کنترل،
.۱۳۸۹

[۱۷] Y. Liao, "Generalized Fault-Location Methods for Overhead Electric Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, no. 1, pp.53-64, 2010.

[۱۸] R.H. Salim, et al, "Extended fault-location formulation for power distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 2, pp. 508-616, April 2009.

[۱۹] رحمن دشتی، "ترکیب تجدید آرایش و جایابی خازن در شبکه توزیع
به منظور کاهش تلفات با بکارگیری الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه
کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۵.

^۱ Fault Transient Detector

^۲ Feeder Terminal Units

^۳ Nondominated sorting genetic algorithm

^۴ Coordination Time Interval

^۵ Time Multiplier Setting (TMS)

- [1] R. Dashti and J. Sadeh, "Accuracy improvement of impedance based fault location method for power distribution network using distributed-parameter line model", Accepted to be published in European Transactions on Electrical Power (ETEP) Journal, 2012.
- [2] J. Sadeh, et al, "A new fault location algorithm for radial distribution systems using modal analysis", Electrical Power and Energy Systems, vol. 45, no. 1, pp. 271-278, 2013.
- [3] R.H. Salim, et al, "Further improvements on impedance-based fault location for power distribution systems", IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, no. 4, pp. 467-478, 2011.
- [4] R. Das, "Determining the Locations of Faults in Distribution Systems", Ph.D. Thesis, College of Graduate Studies and Research, University of Saskatchewan, Saskatchewan, 1998.
- [۵] عبادالله کامیاب، محمد حسین جاویدی، جواد ساده، "فاصله‌یابی خطوط در خطوط انتقال نیرو با سه پایانه در حوزه زمان با استفاده از اندازه‌گیری-های همزمان و مدل گسترده خط انتقال"، مجله انجمن مهندسین برق
و الکترونیک ایران، سال پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۸۷.
- [6] H. Nouri, C. Wang and T. Davies, "An Accurate Fault Location Technique for Distribution Lines with Tapped Loads Using Wavelet Transform", IEEE Power Tech. Conference Proceedings, Porto, pp.10-13, Sep. 2001.
- [7] N. Mei, et al, "A matrix-based fault section estimation algorithm for complex distribution systems", UPEC 2007, pp.284-289, 2007.
- [8] G. Morales-España, et al, "Elimination of multiple estimation for fault location in radial power systems by using fundamental single-end measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 3, pp.1382-1389, 2009.
- [9] A. Arya, et al, "Evolving non-dominated solutions in multi objective fault section estimation for automated distribution networks", International Conference on Power System Technology (POWERCON), 2010.
- [10] K. R. C. Oliveira, et al, "Unbalanced underground distribution systems fault detection and section estimation", in Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Artificial Intelligence , ser. Lect. Notes Comput. Sci. Berlin, Germany: Springer, 2007, vol. 4682, pp.1054-1065. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74205-0_109.
- [11] M. Kezunovic and Y. Liao, "Fault Location Estimation Based on Matching the Simulated and Recorded Waveforms Using Genetic Algorithms", IEE conference on Power Systems Protection, Publication no. 479, pp. 399-402, 2001.
- [12] J. Mora-Florez, et al, "K-means Algorithm and Mixture Distributions for Locating Faults in Power Systems", Electric Power Systems Research, vol. 79, no. 5, pp. 714-721, 2009.
- [13] J. Mora-Florez, et al, "Selection of Currents Patterns Using SVMs for Locating Faults in Radial Power Systems", Transmission, pp. 1-7, 2008.
- [14] S.J. Lee, et al, "An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution Systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 2, pp. 524-532, Apr. 2004.
- [15] R. Dashti and J. Sadeh, "A New Method for Fault Section Estimation in Distribution Network", International

