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

رحمن دشتی[1] جواد ساده[2]

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 خطا 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 خطا 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 بگونه ای عمل می کند که الگوی جریانی - زمانی منحصر به فردی را برای خطا در هر بخش ایجاد نماید. پس از وقوع خطا در شبکه می توان با تحلیل جریان ابتدای فیدر از نظر الگوی جریانی و زمانی، تجهیزات حفاظتی عمل کرده را شناسایی و بر اساس آن بخش خطا 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 خطا، 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 – دانشکده‌ی مهندسی

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

شبکه توزیع با بیشترین گستردگی در مناطق مسکونی و شهری دارای بیشترین آمار وقوع خطا نسبت به دیگر بخشهای شبکه قدرت (تولید و انتقال) می‌باشد. این خطاها 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 اولا شبکه را در برابر این خطاها محافظت کنند و ثانیا مکان خطا در اسرع وقت شناسایی شده و بازیابی بار در سریعترین زمان ممکن انجام می‌شود. از مزایای مکان یابی خطا می‌توان از صرفه جویی در زمان و انرژی، بهبود آمادگی سیستم، تداوم برق رسانی و اصلاح برنامه ریزی آینده نام برد که این مزایا سبب می‌شود مکان یابی خطا از اهمیت بالایی برخوردار شود.

روش‌های مکان یابی خطا در شبکه قدرت به دو دسته امپدانسی و امواج سیار تقسیم بندی می‌شوند. اما با توجه به مسائلی چون انشعابات متعدد بر روی فیدر اصلی، غیریکنواختی فیدر (به دلیل وجود خطوط کابلی و خطوط 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 خطا در خط انتقال پاسخگوی شبکه توزیع نباشد. مکان یابی خطا در شبکه توزیع به علت وجود انشعابات متفاوت به دو قسمت اصلی تعیین فاصله خطا و شناسایی بخش خطا تقسیم می‌شود. جهت تعیین فاصله خطا در شبکه های توزیع نیز همانند خطوط انتقال، روش‌های امپدانسی و امواج سیار ارائه گردیده است [۴-۱]. روش‌های امپدانسی از مولفه اصلی ولتاژها و جریان‌های ابتدای فیدر، اطلاعات بارها و پارامترهای خط جهت فاصله-یابی خطا استفاده می‌کنند[۵]. لازم به توضیح است که با توجه به ساختار شبکه های توزیع، ممکن است وقوع خطا در مکان‌های مختلف و در انشعاب های 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 خطا می-باشند و از شناسایی بخش خطا دیده عاجزند. روش‌های امواج سیار در تعیین فاصله خطا روش‌هایی هستند که از سرعت بالایی برخوردار بوده و از مولفه‌های فرکانس بالای ولتاژ و جریان ابتدای فیدر جهت تعیین فاصله خطا استفاده می‌نمایند[۲]. این روش‌ها دارای مشکلات عمومی چون فرکانس نمونه برداری بالا، عدم دقت در خطاهای نزدیک به مکان یاب خطا و حساسیت کم در برابر خطاهای 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 خطا 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 خطا در خطوط انتقال نیاز است. در نتیجه این روش‌ها نیز فقط با شرایط خاص قادر به تعیین فاصله خطا هستند و در تعیین بخش خطا دارای مشکلند. در نتیجه روش‌هایی جهت تعیین بخش خطا مورد بررسی قرار گرفت. این اقدام با روش‌های سعی و خطا آغاز گردید. ابتدا روشهایی چون تشخیص بصری، تشخیص از طریق تقسیم بندی فیدر به زیر بخش‌های مجزا و تشخیص از طریق نشانگرهای خطا جهت شناسایی بخش خطا ارائه گردید. پس از این، پیشرفتهای علمی در این زمینه به سمت ارائه راه کارهای مختلف جهت شناسایی بخش خطا سوق پیدا نمود. در سال ۱۹۹۸ روشی جهت شناسایی مکان خطا در شبکه توزیع ارائه گردید که در آن ابتدا انشعاب خطا دیده از طریق نشانگرهای خطا شناسایی سپس از طریق الگوریتم فاصله یابی خطای امپدانسی به تعیین فاصله خطا می‌پرداخت [۴]. مشکل این روش این است که نشانگرهای خطا می‌بایست به سیستم بیسیم و سیستم مخابراتی و امن مجهز باشند که اطلاعات بخش خطا دیده را به ایستگاه مخابره و ایستگاه با اطلاعات آن و اجرای الگوریتم خاصی، مکان خطا را تعیین نماید. در [۶] با نصب ثبات‌های مجهز به ارسال داده (FTD[1]) در هر انشعاب نسبت به شناسایی حالت گذرای غیر طبیعی بوجود آمده و ذخیره زمان وقوع آن و ارسال به پایانه، نسبت به تشخیص خطا و موقعیت آن اقدام شده است. عیب این روش نیاز به وجود ثباتهای متعدد مجهز به ارسال داده است.

در [۷] الگوریتمی ارائه شده که بر اساس ماتریسی که درایه های آن توسط داده‌های صفر و یک ارسالی از FTU[2] ها تشکیل شده است، بخش خطا را می‌یابد. این مرجع مزایایی چون قدرت استنتاج سریع، سهولت در آشکارسازی، پیاده سازی و نگهداری اطلاعات را برای روش خویش بیان می‌نماید. مشکل این روش حضور FTU های 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 خطا در شبکه توزیع با مشکل چند پاسخی مواجه اند، روشی در [۸] ارائه گردیده که در آن بخش و مکان اصلی خطا از میان تمام مکانهای ممکن تعیین شود. روش پیشنهادی در این مرجع، با فرض خطا 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 خطا را تعیین می‌کند. اکنون سه معادله برای هر فاز در بخش مورد نظر استخراج می‌گردد که در هر معادله فاصله خطا از ابتدای بخش مورد بررسی مجهول آن است. از سه معادله فوق فاصله خطا تعیین و با یکدیگر قیاس و شاخص تشخیص محاسبه می‌گردد. این اقدام به ازای فرض خطا در تمام مکانهای ممکن خطا انجام و شاخص مربوطه محاسبه می‌شود. آن بخش و مکان ممکنی که دارای کمترین شاخص تشخیص باشد به عنوان مکان اصلی خطا معرفی می‌شود. در این روش مدل خط

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

به صورت مدل خط کوتاه در نظر گرفته و در محاسبات از امپدانس بار در فاز خطادار صرفنظر گردیده است.

در [۹] روش بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم NSGA[۲] جهت تعیین بخش خطا برای یک سیستم توزیع اتوماسیون شده ارائه شده است. توابع هدف موجود در این مرجع ترکیب ضرائب وزنی فاصله مشترکین تماس گیرنده تا محل خطای پیش‌بینی شده، اختلاف ولتاژ قبل و بعد از خطا در گره‌های دارای دستگاه اندازه‌گیری و اختلاف جریان خطای اندازه گیری شده و پیش‌بینی شده در گره‌های دارای دستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. در این روش اطلاعات شبکه توزیع، جریان قبل خطا و آرایش شبکه معلوم فرض شده است. این روش وضعیت کلیدها را به عنوان جمعیت اولیه به صورت باینری صفر و یک در فرایند NSGA در نظر می‌گیرد. 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 احتمالی خطا معرفی می‌شوند. از مشکلات این روش می‌توان به عدم توجه به خطاهای مقاومتی و چند پاسخی بودن آن اشاره کرد.

روشهای مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند، بهینه سازی و یادگیرنده مانند شبکه های عصبی مصنوعی [۱۰]، الگوریتم ژنتیک [۱۱]، نزدیکترین همسایگی [۱۲] و ماشین بردار پشتیبان [۱۳] جهت شناسایی بخش خطا نیز ارائه گردید. این روش‌ها دارای مشکلاتی چون نیاز به تعیین شاخص‌های مناسب و یکتا و در اختیار داشتن بانک داده و به روزرسانی و تشکیل آن در شرایط واقعی است. در [۱۴] با استفاده از الگوی جریانی روشی جهت تخمین بخش خطا ارائه شده که با استفاده از ریکلوزر و فیوز و هماهنگی حفاظتی آنها، بخش خطا قابل شناسایی می‌باشد. این روش با توجه به تولید تنها سه الگوی جریانی، تنها در شبکه‌های توزیع کوچک قابل استفاده بوده و در بکارگیری آن در شبکه های توزیع با انشعابات متعدد محدودیت وجود دارد.

در [۱۵] روشی ارائه شده که با استفاده از نصب و تنظیم فیوزها بخش خطا تخمین زده می‌شود. در روش پیشنهادی این مرجع، مشخصه جریان-زمانی فیوزها، زمان ثابت فرض شده است. در ابتدا از طریق تقسیم بندی امپدانسی، فیدر توزیع به زونهای مختلف تقسیم می‌شود. سپس برای هر زون فیوز گذاری لازم انجام می‌پذیرد. در این روش بر اساس جریان و امپدانس دیده شده از ابتدای فیدر، بخش خطا شناسایی می‌شود. مشکل این روش در نظرگیری منحنی جریان زمان ثابت برای فیوزها است که شرایطی غیر واقعی و غیر اجرایی را ایجاد می‌نماید. همچنین تقسیم بندی امپدانسی فیدر سبب شده است که قابلیت اجرای این روش به ازای خطاهای مقاومتی، بسیار محدود گردد. تعمیم روش پیشنهادی در [۱۵]، به منظور در نظر گرفتن مشخصه جریان زمانی معکوس انواع فیوز لینک ها در [۱۶] ارائه شده که مساله 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 داراست.

تاکنون مقالات ارائه شده در این زمینه فقط بر اساس الگوی جریانی اقدام به تعیین مکان خطا کرده اند. این الگوی جریانی می‌تواند از دیدگاه جریان ابتدای فیدر قابلیتی ایجاد نماید که نوع تجهیزات حفاظتی عملکرده (ریکلوزر یا کات اوت فیوز) را مشخص نماید. ولی با توجه به محدودیت استفاده هر یک از تجهیزات حفاظتی مانند کات اوت فیوز و ریکلوزر، ایجاد الگوی جریانی منحصر به فرد به ازای خطا در هر بخش غیر ممکن است. لذا در این مقاله روشی پیشنهاد می‌گردد که جریان ابتدای فیدر را از دو دیدگاه الگوی جریانی و الگوی زمانی مورد تحلیل قرار می‌دهد. در این روش ابتدا سعی شده که الگوی جریانی منحصر به فردی به ازای خطا در هر بخش ایجاد گردد، اما به علت محدودیت استفاده هر یک از تجهیزات حفاظتی، بخش‌هایی بدون الگوی جریانی یکتا به ازای خطا در آن بخشها وجود خواهند داشت. روشی در این مقاله ارائه شده است که الگوی زمانی جریان ابتدای فیدر به ازای خطا در بخش‌های با الگوی جریانی یکسان به گونه‌ای استفاده شود که تمایز منحصر به فرد ایجاد نماید که از این طریق قابلیت تشخیص بخش خطا دیده ممکن گردد. این اقدام از طریق تنظیمات ویژه تجهیزات حفاظتی مانند ریکلوزر و کات اوت فیوز انجام می‌شود. این تنظیمات حفاظتی به گونه ای انجام می‌شود که علاوه بر ایجاد هماهنگی حفاظتی در شبکه توزیع قابلیت ایجاد الگوی جریانی و الگوی زمانی منحصر به فرد به ازای خطا در هر بخش را دارا باشد.

در این روش پس از وقوع خطای واقعی، با استفاده از ولتاژ و جریان ثبت شده در ابتدای فیدر در حین خطا، جریان عبوری از هر تجهیز حفاظتی توسط روش پیشنهادی تعیین می‌گردد. آنگاه از طریق منحنی جریان- زمانی تجهیزات حفاظتی آن منطقه زمان حضور خطا محاسبه و آنگاه با مدت زمان حضور خطا مشخص شده از جریان ابتدای فیدر مقایسه می‌شود. منطقه مورد حفاظت تجهیز حفاظتی که دارای زمان عملکرد محاسبه شده نزدیک به زمان مشخص شده از جریان ابتدای فیدر باشد، به عنوان بخش و مکان اصلی خطا معرفی می‌شود. در ادامه دقت وصحت روش پیشنهادی به کمک دو شبکه ارائه شده در مراجع [۱۷] و [۱۸] مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در انتها به منظور بررسی روش پیشنهادی با داده‌های واقعی، دو نمونه خطای تکفاز در فیدر قلعه سفید از سری خطوط ۲۰ کیلو ولت شبکه توزیع استان بوشهر ایجاد نموده و نتایج حاصله ارائه گردیده است.

۲- روش پیشنهادی

۲-۱- انتخاب محل تجهیزات حفاظتی و هماهنگی آنها

در این مقاله بر اساس الگو و رفتار جریان ابتدای فیدر نسبت به شناسایی بخش خطا تصمیم‌گیری انجام می‌شود. به منظور اجرای

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

۱- ریکلوزرها 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 لینک های نوع x، QA، k، T، N 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 فیوزلینک مناسب انجام می‌پذیرد. انتخاب فیوز لینک‌ها در هر قسمت از شبکه توزیع با الگوی جریانی یکسان باید به گونه ای باشد که در هر جریان اختلاف زمانی عملکردی به اندازه حداقل فاصله هماهنگی (CTI[۴])، که در اینجا ۳۲۰ 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 فیوزلینک‌های موجود، حداکثر می‌توان در یک جریان ثابت از ۳ 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 انشعاب‌های با طول بیش از ۱۸۰ متر (۳ اسپان) در نظر گرفته می‌شوند. لذا در شبکه های با بیش از چهار انشعاب که طول هر یک بالای ۱۸۰ متر باشد، نمی توان 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 انشعاب مطابق زیر است.

الف. تعیین قسمت‌های مختلف یک فیدر:

ابتدا از انتهای فیدر چهار انشعاب را جدا نموده و قسمت ۱ تشکیل می‌شود. این روند تا ابتدای فیدر ادامه پیدا می‌کند. اگر قسمتی که ابتدای فیدر را شامل می‌شود کمتر از ۲ انشعاب 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 ۱,۲ برابر جریان بار نامی بخش مورد حفاظت انتخاب می‌شود.

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

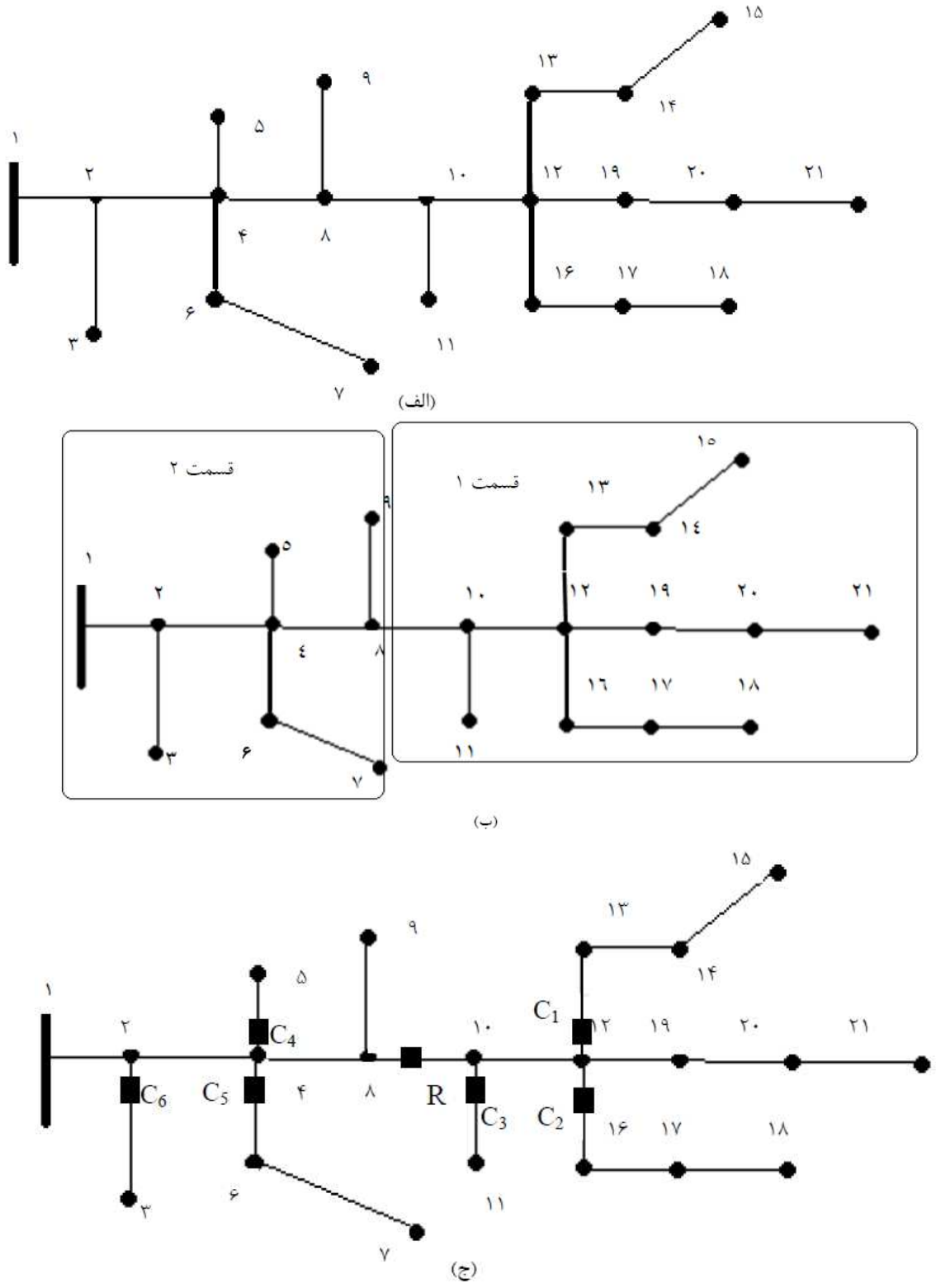
ه. در محل تفکیک هر قسمت یک ریکلوزر جهت تغییر الگوی جریانی دیده شده در ابتدای فیدر انتخاب می‌گردد.

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

ز. بنا به بند الف در قسمتی که دارای n انشعاب است که ۶>n>۴ می‌باشد، سه انشعاب کات اوت و n-۴ نشانگر خطا نصب می‌شود.

اگر بین دو ریکلوزر یا ریکلوزر و کلید ایستگاه کمتر از ۲ انشعاب موجود بود، ریکلوزر مربوطه حذف و بر روی دو انشعاب بجای کات اوت فیوز، نشانگر خطا نصب می‌گردد. تمامی این اقدامات برای انشعابهای با طول بیش از ۱۸۰ متر انجام می‌پذیرد زیرا این فاصله ۳ اسپان می‌باشد که با چشم غیر مسلح قابل رویت بوده و عیب 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. ابتدا شبکه به قسمت‌های مختلف تقسیم بندی می‌شود. مطابق شکل (۱-ب) فیدر مربوطه دارای دو قسمت خواهد بود. از انتهای فیدر تا ابتدای فیدر هر قسمت دارای چهار انشعاب می‌باشد. کات اوت فیوزها در محل انشعابات 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 ۱۳۰۰، ۸۰۰، ۲۵۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۶۵۰ کیلو ولت آمپر می‌باشد. جریان تنظیمی هر عنصر حفاظتی ۱,۲ جریان بار عبوری از آن در نظر گرفته شده است. در نتیجه جریان فیوز های C_1 تا C_6 به ترتیب ۵۰، ۳۰، ۱۰، ۱۰، ۱۲و ۲۵ 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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



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

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

اما اعمال این روش هنگامی کاراست که الگوی جریانی جریان ابتـدای فیدر به ازای خطا در هر قسمت منحصر به فرد باشد. لذا حد فاصـل دو قسمت ریکلوزر نصب می‌شود. ریکلوزر به صورت AD تنظیم می‌شـود که دو قسمت دارای الگوی جریانی منحصر به فرد شـود. بـا توجـه بـه شکل (۱-ب) مشاهده می‌شود که قسمت دو دارای چهار انشعاب اسـت که در سه انشعاب آن کات اوت‌های C_4، C_5 و C_6 از نـوع x، N و ks نصب می‌شود. انشعاب دیگر جزء تنه اصلی محسوب می‌شود.

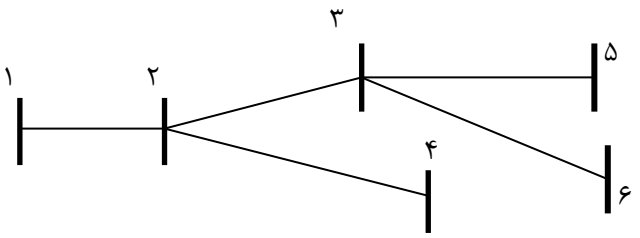
اکنون جهت تعیین بخش خطا می‌بایست مدت زمان عملکرد هر تجهیز حفاظتی (t_{si}) را بر اساس دامنه جریان عبوری از آنها مشخص و با مدت زمان حضور خطا استخراج شده از جریان ابتدای فیدر (t_{cal}) مقایسه گردد و بر اساس آن بخش خطا دیده تعیین گردد. در ادامه روشی که جریان تجهیزات حفاظتی فیدر توزیع را مشخص می‌نماید تشریح 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 خطای عبوری از آن تجهیز است. در این قسمت روشی پیشنهاد می‌گردد که دامنه جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی با فرض خطا در هر بخش به طور جداگانه تعیین می شود. 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 کنید خطایی در مسیر ۳-۵ اتفاق افتاده باشد. با 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 مبنا 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

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 [1 2 3 6] تشریح می‌گردد. ابتدا در این بین سه بخش وجود دارد ۲-۱، ۳-۲ و ۶-۳. ولتاژ و جریان بخش ۲-۱ همان ولتاژ و جریان گره ابتدایی هستند که اطلاعات از آن برداشت شده است. اکنون ولتاژ و جریان ابتدای بخش‌های ۳-۲ و ۶-۳ 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.

$$V_2=V_1-Z_{12}I_{1-2} \quad (۱)$$

در این رابطه V_1 و V_2 به ترتیب ولتاژهای گره ۱ و ۲ ، Z_{12} امپدانس خط واسط بین گره‌های ۱و۲ و I_{1-2} جریان عبوری از خط ۲-۱ 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

$$I_{2-4}= I_{L4} \quad (۲)$$

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

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

$$I_{2-3}= I_{1-2}-(I_{2-4}+I_{L2}) \quad (۳)$$

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

با این روند ولتاژ V_2 و جریان I_{2-3} در ابتدای بخش ۳-۲ 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.

$$V_3=V_2-Z_{23}I_{2-3} \quad (۴)$$

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

$$I_{3-5}= I_{L5} \quad (۵)$$

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

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

$$I_{3-6}= I_{2-3}-(I_{3-5}+ I_{L3}) \quad (۶)$$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

در این رابطه $I_{3\text{-}6}$ جریان عبوری از خط واسط بین گره‌های ۳ و۶ و I_{L3} جریان بار شین ۳ می‌باشد.

با توجه به الگوریتم ارائه شده، ولتاژ هر شین و جریان خروجی از هر شین با فرض خطا در پایین دست آن، تعیین می‌شود. در روند ارائه شده جریان تمام تجهیزات حفاظتی مشخص می‌شود. 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 خطا در هر مکان ممکن خطا

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 و تابع آن استخراج شده است. بنابراین با معلوم بودن جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی به کمک رابطه (۷) زمان عم لکرد آنها مشخص می‌گردد.

$$t_{ij} = \frac{k}{(\frac{I_{ij}}{I_{p_i}})^n - 1} \qquad (۷)$$

در این رابطه:

t_{ij}: زمان عملکرد تجهیز حفاظتی iام به ازای خطا در بخش jام.

I_{ij} : جریان عبوری از تجهیز حفاظتی iام به ازای خطا در بخش jام.

I_{p_i}: جریان تنظیمی تجهیز حفاظتی iام.

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

این عمل برای تمامی تجهیزات حفاظتی هر بخش انجام می‌پذیرد و تمامی زمانهای مربوطه برای تجهیزات حفاظتی هر بخش به ازای خطا در هر بخش تعیین می‌شود.

۲-۴- تعیین بخش اصلی خطا از میان بخش‌های ممکن

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

۳- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

به منظور بررسی صحت و دقت روش پیشنهادی در تعیین مکان وقوع خطا 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 خطا 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.

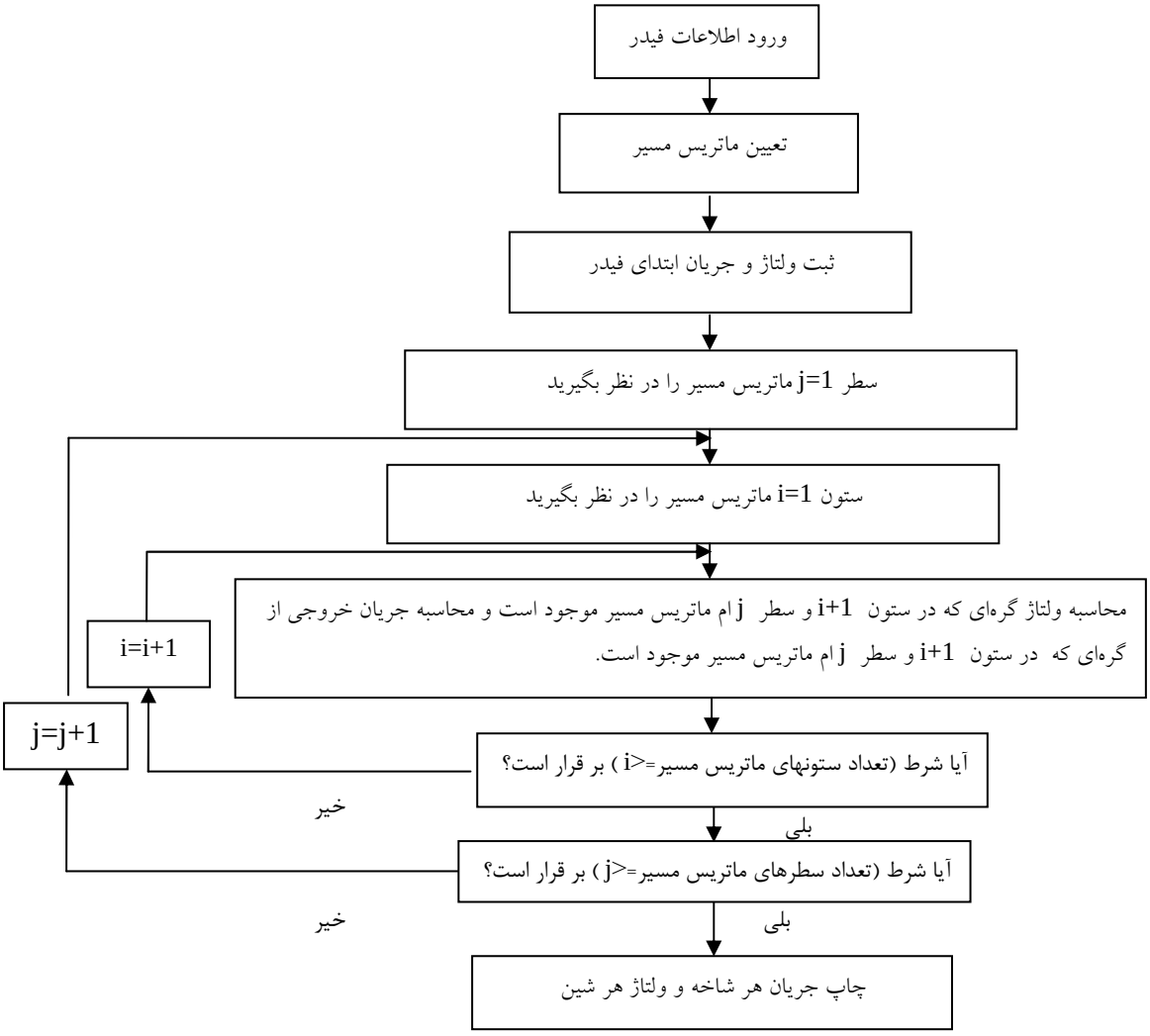
۳-۱- سیستم نمونه ۱ (اخذ شده از [۱۷])

شبکه توزیع مورد بررسی در [۱۷] مطابق شکل (۵- الف) است. این فیدر دارای ۱۶ شین، ۹ انشعاب و ۹ بار با اطلاعات ارائه شده در جدول (۱) می‌باشد. بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۱ برای تعیین موقعیت نصب تجهیزات حفاظتی از انتهای فیدر شروع کرده و به سمت ابتدای فیدر حرکت می‌کنیم.

این شبکه با توجه به الگوریتم ارائه شده در بخش ۲-۱-الف، دارای دو قسمت است (مطابق شکل (۵-ب)) که قسمت ۱ دارای ۴ انشعاب ۱۵-۱۴، ۱۶-۱۴، ۱۳-۱۲ و ۱۱-۱۰ است که دارای الگوی جریانی یکسان می‌باشند. اکنون جهت ایجاد الگوی زمانی متفاوت در جریان ابتدای فیدر برای این قسمت از سه کات اوت برای انشعابهای ۱۶-۱۴، ۱۳-۱۲ و ۱۱-۱۰ استفاده می‌شود. حال می‌بایست جهت تغییر الگوی جریانی در حدفاصل قسمت ۱ و ۲ یک ریکلوزر در ابتدای بخش ۱۰-۷ قرار داد. در این صورت بین ریکلوزر و ابتدای فیدر ۵ انشعاب موجود است. انشعاب ۹-۷ را می‌توان جزء تنه اصلی محسوب کرد و همچنین در محل انشعاب‌های ۸-۷، ۶-۴ و ۵-۴ کات اوت فیوز پیشنهاد می‌گردد. مطابق الگوریتم ارائه شده در بخش ۲-۱، لازم است از نشانگر خطا در انشعاب ۳-۲ استفاده شود.

اکنون باید از شین‌های انتهایی، کات اوت فیوزها تنظیم گردند به گونه ای که اختلاف زمانی آنها در هر جریان به اندازه CTI باشد. با توجه به این مطلب، در انشعاب ۱۶-۱۴ کات اوت فیوز با فیوز لینک ۵ آمپر نوع x، در انشعاب ۱۳-۱۲ کات اوت فیوز با فیوزلینک ۱۲ آمپر نوع N و در انشعاب ۱۱-۱۰ 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 ۱۰-۷ ریکلوزری با تنظیم AD با تاخیر CTI نسبت به منحنی جریان- زمانی فیوز لینک ۱۲ آمپر نوع ks جهت تغییر الگوی جریانی قرار داده می‌شود. هر یک از انشعابهای بالادست ریکلوزر مطابق جدول (۲) نوع فیوزلینک مربوطه مشخص می‌شود. جهت حفظ فاصله زمانی CTI بین منحنی مشخصه عملکرد رله ایستگاه و تاخیری ترین فیوزلینک (ks)، رله نصب شده در ایستگاه از نوع معکوس استاندارد SI با ضریب تنظیم زمانی[۵] ۱۰٪ انتخاب می‌شود. 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 خطا در انشعاب ۳-۲ استفاده شده است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

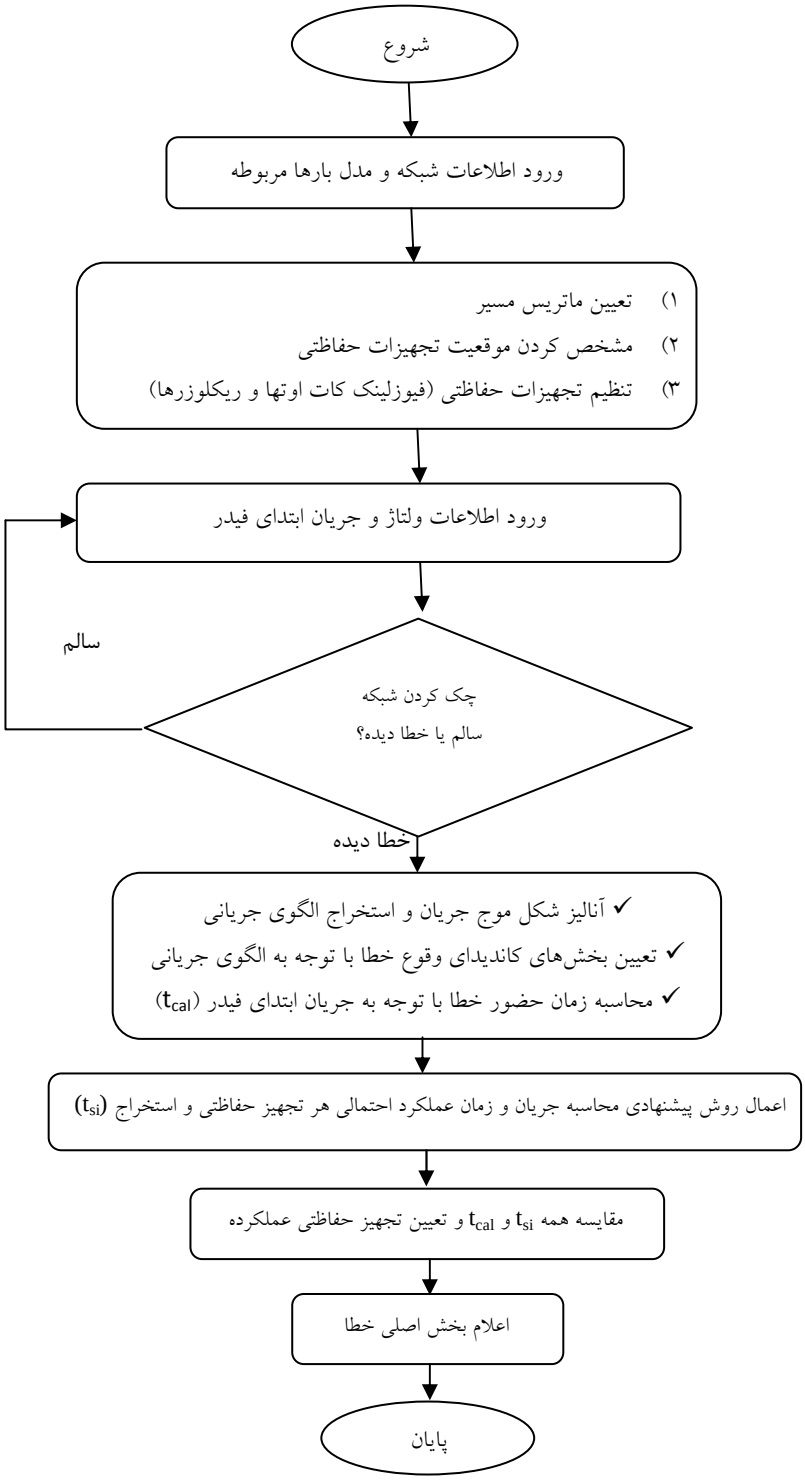


شکل (۳)- فلوچارت روش پیشنهادی جهت تعیین جریان خطای عبوری از تجهیزات حفاظتی به کمک اطلاعات ابتدای فیدر

دراین 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 بخش هایی 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 امکان‌پذیر می‌شود. اکنون فرض کنید خطای سه فازی بر روی تنه 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 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 می بایست 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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



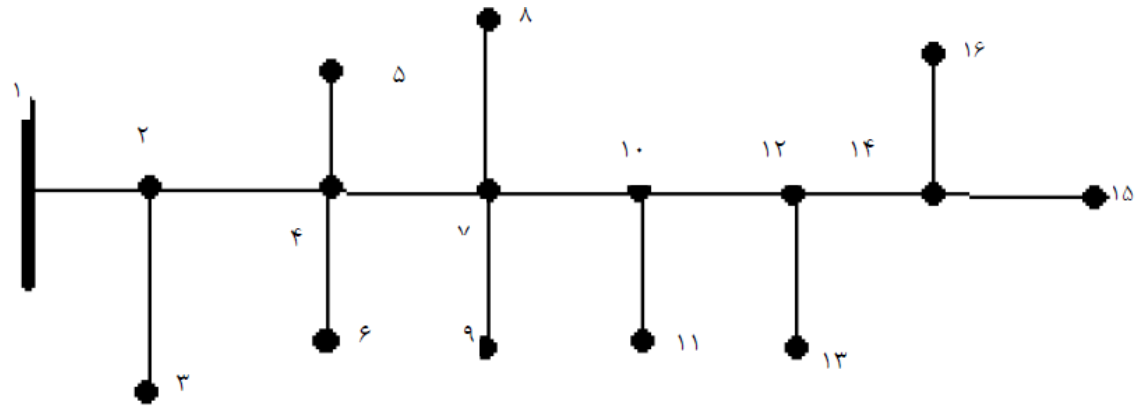
شکل(۴)- فلوچارت روش پیشنهادی

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

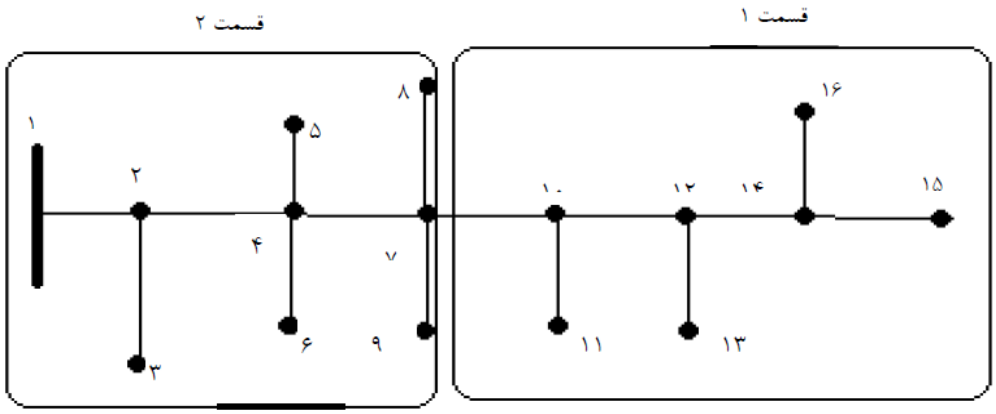
شماره گره	۳	۵	۶	۸	۹	۱۱	۱۳	۱۵	۱۶
میزان بار (kVA)	۳۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۱۵۰	۱۱۰

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

در این جدول مشاهده می‌گردد که زمان حضور خطا با توجه به جریان ابتدای فیدر برابر ۰/۹۲۱۶ است و همچنین مشهود است که زمان عملکرد کات اوت‌های x، N، ks و ریکلوزر با جریان های عبوری محاسبه شده از آنها به ترتیب برابر با ۰/۰۷۳۴، ۰/۳۸۴، ۰/۷۰۲ و ۱/۰۰۳ 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 ۱۰-۷، ۱۲-۱۰، ۱۴-۱۲ و ۱۵-۱۴ بر روی تنه اصلی از قسمت ۱ می‌توانند بخش محل خطا باشند. به عنوان مثالی دیگر، اگر خطای تک فازی بین گره‌های ۱۶-۱۴ اتفاق افتد شکل موج جریان ابتدای فیدر به صورت شکل (۷) خواهد بود. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که یک بار عملکرد آنی ریکلوزر اتفاق افتاده و یک بار قطع تاخیری. عملکرد آنی ریکلوزر معرف وقوع خطا در قسمت ۱ است. با توجه به عملکرد تاخیری می‌بایست تشخیص دادکه کدام تجهیز حفاظتی عملکرد داشته است.



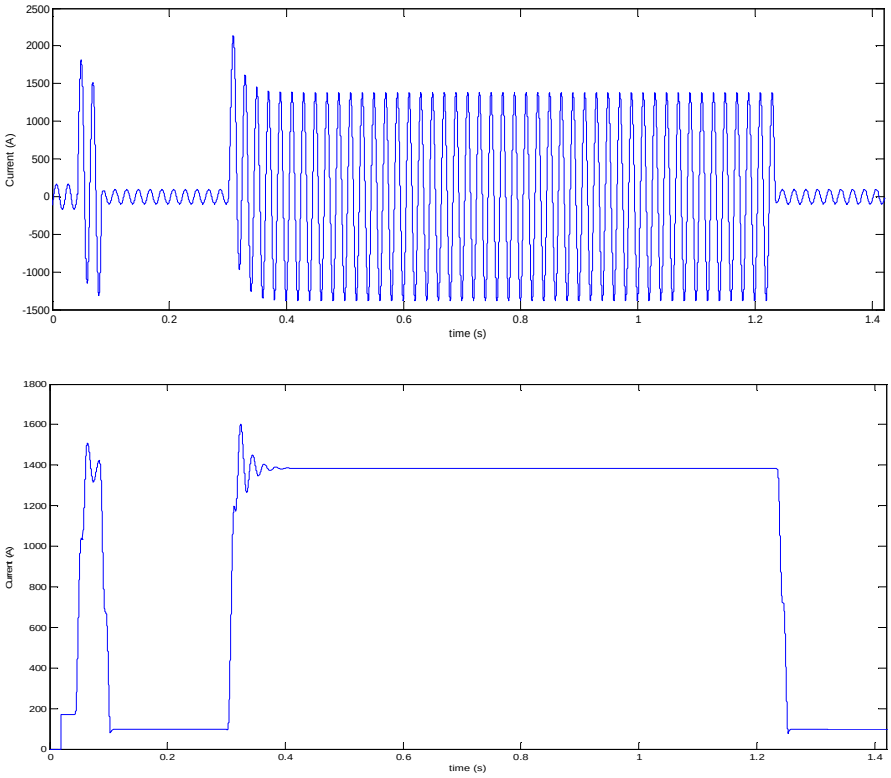
(الف)



(ب)

شکل(۵)- شبکه نمونه[۱۷]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



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

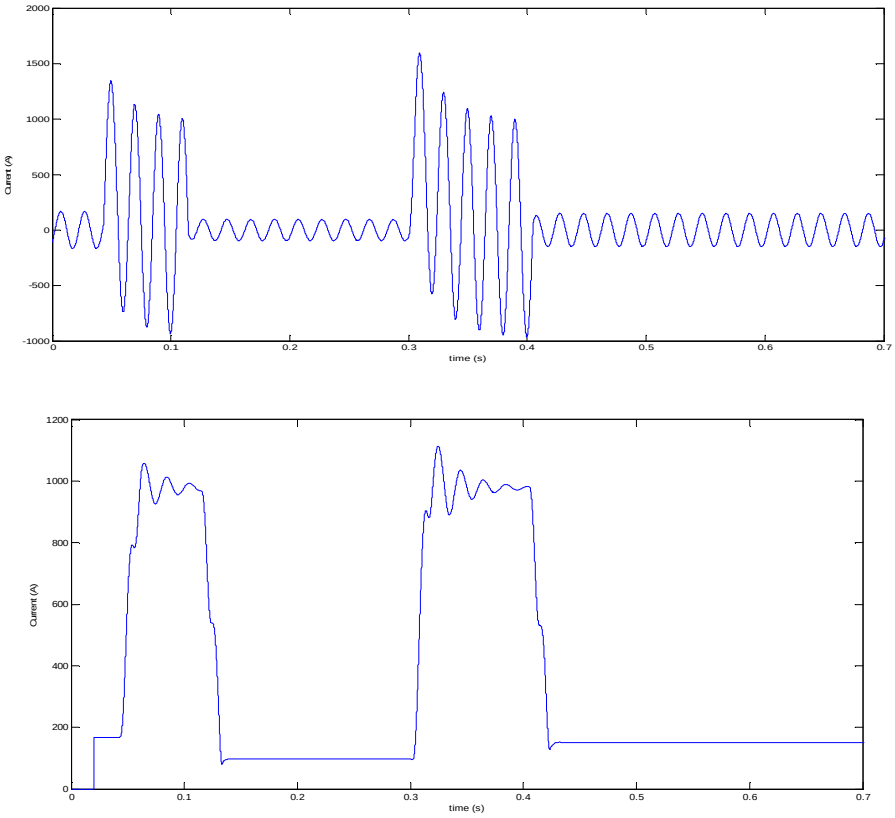
جدول ۲- فیوز لینکهای انتخابی برای انشعابهای قبل از ریکلوزر در شبکه نمونه شکل (۵)

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

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

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

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



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

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 X-۵ 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 ۵-۴ 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 ۵-۴ به عنوان بخش اصلی خطا معرفی می‌گردد.

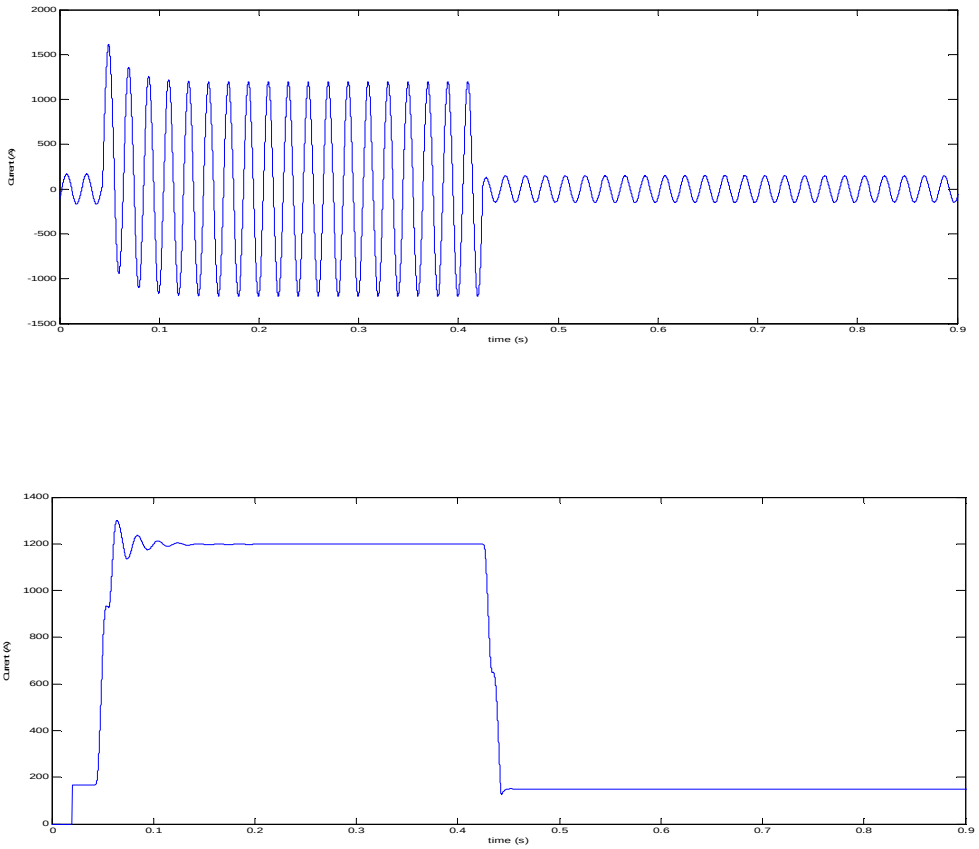
علاوه بر تست‌هایی که نتایج آن ارائه گردید، انواع خطاها در فواصل متفاوت و در بخشهای مختلف شبیه سازی گردید که روش پیشنهادی در تمامی حالات به طور صحیح بخش خطا را شناسایی نمود. در صورتی که روش ارائه شده در [۱۷] مطابق با سخن نویسنده آن، دارای مشکلاتی چون جامع نبودن روش در شناسایی کامل بخش خطا است به گونه ای 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 خصوصا 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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

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



شکل (۸)- الگوی شکل موج جریان لحظه ای و موثر ابتدای فیدر در هنگام وقوع خطا در بخش ۵-۴

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

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

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی بر فیدر قلعه سفید از توابع شرکت توزیع نیروی برق استان بوشهر

فیدر قلعه سفید دارای ۱۳ شین، سه انشعاب و ۱۰ بار است. نمای تک خطی فیدر قلعه سفید در شکل (۹) آورده شده است. در این شبکه یک ریکلوزر در محل ۴-۳ وجود دارد و تنظیم آن به صورت AD قرارداده شده است. روش ارائه شده در این مقاله برای این فیدر سه کات اوت فیوز با فیوز لینکهای C_1: x، C_2:N و C_3:ks پیشنهاد می‌نماید. به علت اینکه این فیدر خود دارای ریکلوزر است، لذا فیوز لینک کات اوت C_1 که وظیفه حفاظت از بخش ۱۳-۵ 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 با 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 کات اوت C_2 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 کات اوت C_3 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 ۱۲-۱۱ و ۱۳-۵ 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) وقوع خطای تک 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 خطا در قسمت ۲ رخ داده است و بر اساس زمان و جریان استخراج شده و بررسی روش پیشنهادی در بخش ۲-۲ مشخص می‌گردد که فیوزلینک نوع x عملکرد داشته که معرف حضور خطا در شاخه ۱۲-۱۱-۳ 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 خطا 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.

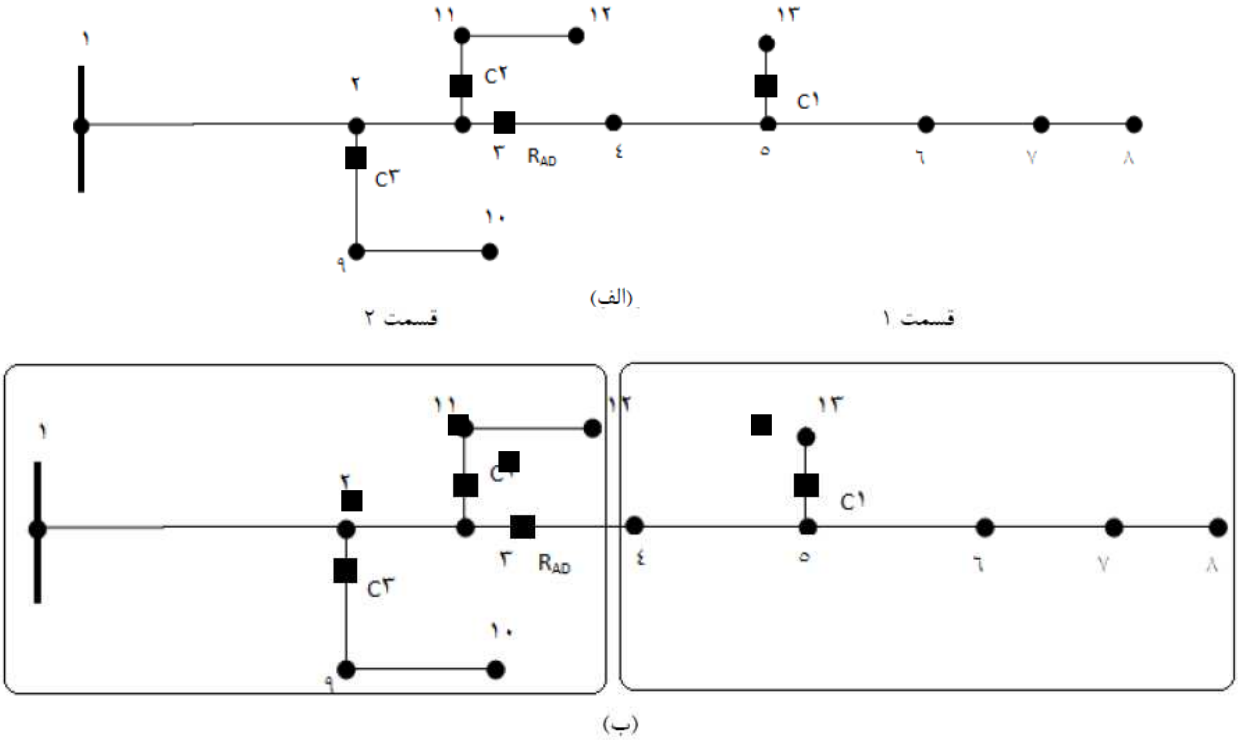
با توجه به جریان ۵۹۵ آمپر ابتدای فیدر و مشخصات خط، جریان عبوری از ریکلوزر بر اساس روش پیشنهادی بخش ۲-۲ برابر ۵۵۳,۸ آمپر و جریان عبوری از کات اوت فیوز با فیوزلینک نوع x برابر ۵۴۸,۶ آمپر محاسبه می‌شود که زمان عملکرد تاخیری ریکلوزر با این جریان برابر ۳۱۹,۶۴ میلی ثانیه و کات اوت بر اساس تنظیمات آن برابر ۸۷,۲۸ میلی ثانیه بدست می‌آید. با توجه به شکل (۱۱-ب) مدت زمان حضور خطا ۹۷,۳۹ میلی ثانیه می‌باشد. مقایسه زمان حضور خطا (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 خطا در شاخه ۱۳-۵ است.

۴- نتیجه گیری

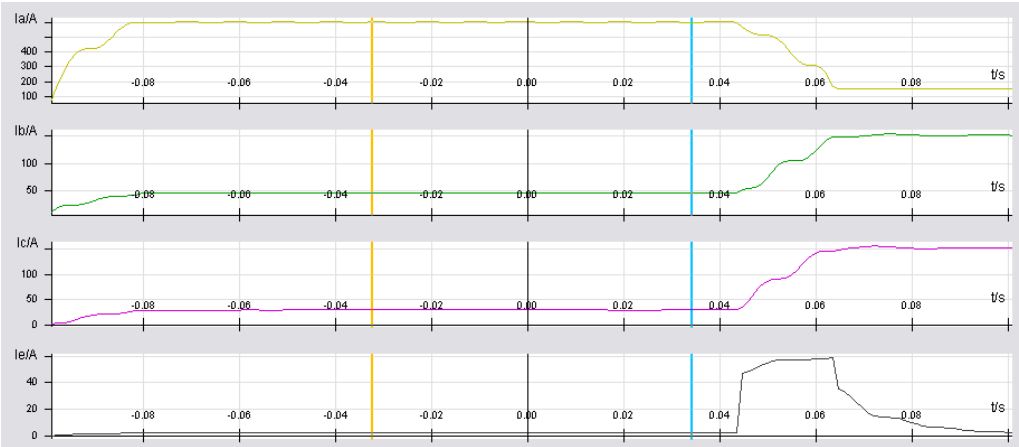
در این مقاله روشی تجربی، ساده و اجرایی جهت تخمین بخش خطا و حذف مشکل چند پاسخی روشهای امپدانسی ارائه شده است. در این روش با تعیین مکان تجهیزات حفاظتی چون ریکلوزر و کات اوت فیوز در شبکه توزیع و ارائه هماهنگی حفاظتی ویژه، شرایطی بوجود آورده شد که علاوه بر وجود هماهنگی حفاظتی در شبکه توزیع، بهره‌برداران بتوانند بخش خطا را 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 باسبار خروجی ترانس برداشت می‌شود. این روش علاوه بر تست شبیه سازی بر دو

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

شبکه نمونه، بر یک فیدر واقعی ۲۰ کیلو ولت تحت دو خطا در محل-های متفاوت مورد ارزیابی عملی قرار گرفت که نتایج ارائه شده نشان دهنده صحت عملکرد روش پیشنهادی است. قابلیت این روش عملکرد قوی آن و پاسخگویی آن به تمام خطاهای شبکه توزیع است که در نتایج شبیه سازیها، این توانمندی مشهود می‌باشد.

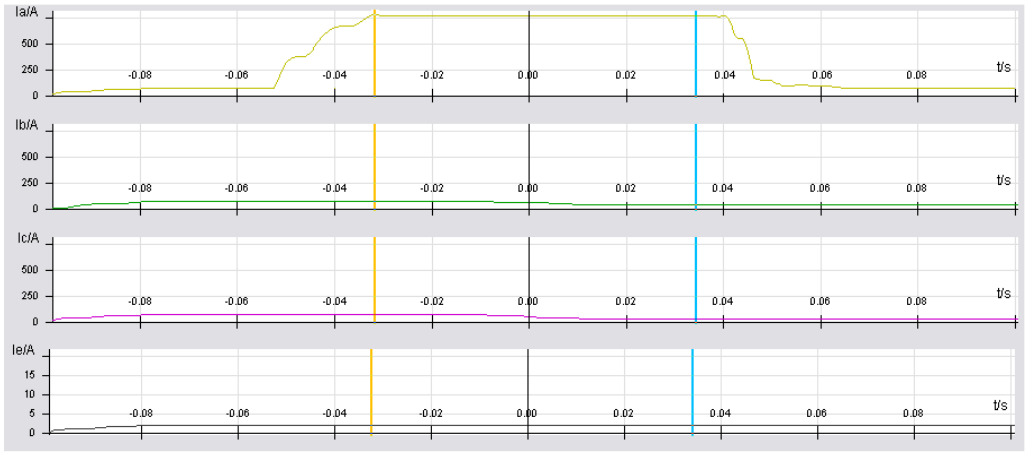


شکل(۹)- نمای تک خطی فیدر قلعه سفید با تقسیم بندی فیدر

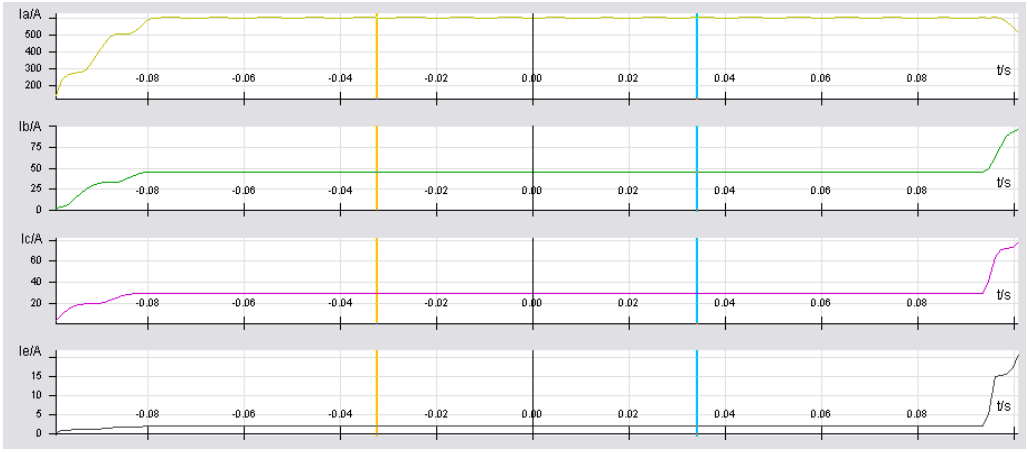


شکل(۱۰)- جریان موثر ابتدای فیدر به ازای خطا در بخش ۱۲-۱۱ (خروجی رله Micom P123 در نرم افزار Sigra)

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol10- No.1 Spring & Summer 2013
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



(الف) - عملکرد ریکلوزر



(ب)وصل مجدد ریکلوزر و عملکرد فیوز

شکل(۱۱) - جریان موثر ابتدای فیدر به ازای خطا در بخش ۱۳-۵ (خروجی رله **Micom P123** در نرم افزار **Sigra**)

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۵- مراجع

[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] عباداله کامیاب، محمد حسین جاویدی، جواد ساده، "فاصله‌یابی خطا 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 detec-tion and section estimation", in Advanced Intelligent Computing Theo-ries 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 Conference on System Technology (POWERCON2010), 2010.

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

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

[18] 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.

---

[1] Fault Transient Detector
[2] Feeder Terminal Units
[3] Nondominated sorting genetic algorithm
[4] Coordination Time Interval
[5] Time Multiplier Setting (TMS)

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]