

هماهنگی رله‌های اضافه جریان در ریزشکده‌ها با توجه به ورود و خروج منابع

سعید اباذری*^۱ و پرویز امیدی^۲

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این مقاله به تنظیم رله‌های اضافه جریان جهت با توجه به ورود و خروج منابع در ریز شبکه پرداخته شده است. تغییر در ساختار شبکه باعث تغییر در عملکرد رله‌ها می‌گردد. لذا سبب ایجاد قطعی و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان در شبکه خواهند شد. در روش بکار رفته با در نظر گرفتن تزریق یک جریان مجازی مطابق با منبع جدا شده از سیستم سعی شده است که تنظیمات اولیه رله‌های اضافه جریان جهتی تغییر نکند. بر این اساس با استفاده از یک بستر مخابراتی کلیه اطلاعات مورد نیاز به رله‌ها ارسال می‌گردد و رله‌ها با توجه به وجود یا عدم وجود منابع یک مقدار مجازی برابر با مقدار جریان اتصال کوتاه منابع جدا شده یا اضافه شده را به صورت نرم افزاری دریافت می‌کنند و این باعث می‌شود که تنظیمات رله‌ها نسبت به حالت اولیه که کلیه منابع در سرویس قرار دارند تغییری نکند. روش به کار رفته در یک ریزشکده IEC با انواع تولید پراکنده و در حالات مختلف عملکردی و با توجه به حضور یا عدم حضور منابع تغذیه کننده اتصال کوتاه، مورد بررسی قرار گرفته است.</p>	<p>نوع مقاله: پژوهشی دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹ بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷</p>
	<p>واژگان کلیدی: ریزشکده، جریان مجازی، رله اضافه جریان، مد عملکردی، مد ساختاری، تغییرات دینامیک.</p>

۱- مقدمه

ابعاد آزمایشگاهی باقی مانده است. یکی از مهمترین این مسائل تکنیکی، چالش‌های پیش‌رو در حفاظت ریزشکده‌ها می‌باشد. چراکه حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و ایجاد ریزشکده‌ها موجب شده است که حفاظت سنتی شبکه‌های توزیع دیگر کارایی نداشته باشند [۳]. مطالعات نشان می‌دهند که حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و ایجاد ریزشکده‌ها بر سرعت، انتخاب گری، حساسیت و قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع اثر منفی دارد [۴]. مهمترین این آثار منفی شامل قطع اشتباه، کاهش پوشش حفاظتی، عدم تشخیص به موقع خطا در مد عملکردی جزیره‌ای و بهم خوردن هماهنگی-های حفاظتی می‌شوند. بطور کلی نیازمندی‌های یک سیستم حفاظت، بمنظور عملکرد مناسب و هماهنگ شامل قابلیت اطمینان، سرعت، انتخاب‌گری و حساسیت می‌باشد [۵].

ریزشکده یک شبکه توزیع اکتیو است که از منابع تولید پراکنده (غالباً از نوع تجدیدپذیر)، ذخیره‌سازهای انرژی و بارهای مختلف در سطح ولتاژ توزیع تشکیل شده است. از نقطه نظر شبکه، ریزشکده بدلیل آنکه مانند یک واحد کنترل‌شونده عمل می‌کند و می‌تواند بعنوان یک بار متمرکز بهره‌برداری شود، دارای مزیت است. از نقطه نظر مصرف‌کنندگان، ریزشکده برای ارضاء نیازهای خاص آن‌ها شامل قابلیت اطمینان بالاتر، تلفات کمتر، کیفیت توان بالاتر، رفع مشکلات ناشی از فلیکر ولتاژ و تداوم برق‌رسانی، طراحی شده است. در نهایت از دید محیط زیست، ریزشکده یک راه‌حل موثر برای کاهش آلودگی‌های طبیعی و گرم شدن زمین بدلیل کاهش تولید منواکسیدکربن است [۱، ۲]. با وجود تمام مزایایی که برای ریزشکده‌ها برشمرده می‌شود، طرح‌های آن‌ها به دلایل مختلف تکنیکی هنوز در

* پست الکترونیک نویسنده مسئول abazari-s@eng.sku.ac.ir

۱. دانشیار، دانشکده فنی مهندسی برق، دانشگاه شهرکرد

۲. دکتری برق قدرت دانشگاه شهرکرد

اضافه جریان به دلیل کارایی بالا گسترده‌ترین سیستم های حفاظتی در شبکه‌های قدرت هستند، با این وجود، ادغام و هماهنگی مناسب آنها در ریزشبه‌ها هنوز یک موضوع تحقیقاتی در حال ظهور است [۱۵-۱۶]. انتخاب و طراحی هماهنگی حفاظتی برای کنترل مناسب و عملکرد مطمئن ریزشبه‌ها ضروری هستند. اخیراً، بسیاری محققان تلاش‌های خود را در پیاده‌سازی تکنیک‌های بهینه‌سازی برای یافتن روش مناسب و طراحی هماهنگی حفاظتی رله‌ها به نحوی که دارای حداقل زمان کارکرد و همچنین تضمین‌کننده قابلیت اطمینان و امنیت شبکه است متمرکز کرده اند [۱۷-۱۸]. در [۱۸]، نویسندگان محدودیت ارائه شده در [۱۷] را در نظر گرفته‌اند و همچنین از یک منحنی غیر استاندارد برای بهبود عملکرد حفاظت رله‌های اضافه جریان استفاده کرده‌اند. چنین منحنی غیر استاندارد، ناحیه تعریف شده توسط منحنی مشخص را تغییر می‌دهد. در [۱۹]، نویسندگان شاخصی را برای اندازه‌گیری تأثیر ورود منابع توزیع پراکنده بر هماهنگی رله‌های اضافه جریان پیشنهاد داده‌اند. مشکل هماهنگی رله‌های اضافه جریان جهت‌دار نیز در [۲۰] و در شبکه‌های توزیع مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با حضور بالای منابع تولید پراکنده نویسندگان [۲۱] یک روش برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان که شامل معیار امنیتی N-1 است پیشنهاد کرده‌اند. در [۲۲]، یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام چند منظوره برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان در ریزشبه‌ها ارائه شده است. در [۲۳] نویسندگان جهت هماهنگی رله‌های اضافه جریان از حفاظت تطبیقی آنلاین استفاده نموده‌اند. جهت انجام اینکار از تجهیزات الکترونیکی خاص که از طریق ارتباطات مخابراتی عمل به روزرسانی و هماهنگی رله‌ها را با توجه به اطلاعات دریافتی از شبکه استفاده می‌نماید. در [۲۴] نویسندگان از حفاظت تطبیقی جهت هماهنگی رله‌ها و تعییرات ساختاری ریزشبه‌ها و با استفاده ترکیبی از شبکه‌های عصبی و مدل بردار ماشین استفاده شده است. با این حال طرح‌های ارائه شده در [۲۳-۲۴] معمولاً گران و اجرای آن پیچیده است [۲۵]. در [۲۶] از ویژگی غیر استاندارد رله‌های اضافه جریان که نه در IEEE است و نه در IEC استفاده شده است. پیشرفت‌های تکنولوژی باعث طراحی رله‌ها و تجهیزات حفاظتی جدیدی شده است که در نتیجه استفاده از منحنی‌های

همانطور که بیان شد مشکلات مربوط به منابع تولید پراکنده به مشخصات شبکه و منابع تولید پراکنده بستگی دارد و در اکثر مواقع برای جلوگیری از آنها باید طرح حفاظت شبکه به کلی تغییر کند. تغییر در ساختار حفاظتی ممکن است بسیار پیچیده باشد چراکه باید کل سیستم و منابع تولید پراکنده بطور کامل مدل شوند، بطوریکه تصور بهترین طرح حفاظتی هنوز غیرممکن است. همچنین با توجه به آنکه ریزشبه‌ها، شبکه‌هایی دینامیک هستند، لذا در صورت هرگونه تغییر در میزان بار شبکه، توپولوژی شبکه، منابع تغذیه و موارد دیگر سیستم حفاظت طراحی شده می‌بایست در هنگام بروز خطا بتواند خطا را سریع و گزینش‌پذیر برطرف نماید. برای عملکرد سریع و گزینش‌پذیری رله‌های حفاظتی با در نظر گرفتن شرایط مختلف شبکه، احتیاج به مفهومی در حفاظت ریزشبه‌ها وجود دارد تا با تغییرات یاد شده عملکرد رله‌ها بر مبنای شاخص‌های حفاظتی انجام گیرد. طرح‌های حفاظتی سنتی بدون در نظر گرفتن تأثیرات تولیدات پراکنده برای سیستم‌های قدرت طراحی شده‌اند که این طرح‌ها با توجه به نفوذ منابع تجدیدپذیر در سیستم قدرات کارایی لازم را ندارند [۶]. بنابراین، نسل جدیدی از طرح‌های حفاظتی که به صراحت الزامات این سیستم را در نظر می‌گیرد الزامات و عملکردی منطبق با ساختار شبکه قدرت دارد مورد نیاز است. علاوه بر این، با توجه به دو نوع حالت اتصال به شبکه قدرت و جزیره‌ای که ممکن است رخ دهد، نیازهای حفاظتی مربوطه باید مجدداً ارزیابی شوند [۷-۱۰]. دو جنبه اصلی را در سیستم‌های حفاظتی ریزشبه‌ها لازم است مد نظر بگیریم: الف) رفتار دینامیکی سیستم که ناشی از تنوع منابع انرژی تجدیدپذیر است. ب) عملکرد ریزشبه هنگامی که به شبکه اصلی متصل یا از آن جدا می‌گردد [۱۱-۱۲]. ریزشبه‌ها سیستم‌های قدرت الکتریکی با قابل تنظیم مجدد با سطوح متغیر خطای اتصال کوتاه و تزریق توان از دو طرف می‌باشند [۱۳]. ریزشبه‌ها الگوی سنتی شبکه‌های توزیع شعاعی را به سیستم‌های غیر شعاعی و انعطاف‌پذیر تغییر داده‌اند. بنابراین، یافتن یک طرح حفاظتی که سرعت، انتخاب-پذیری و قابلیت اطمینان را تضمین کند به یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل در برنامه‌ریزی عملکرد ریزشبه‌ها تبدیل شده است [۱۴]. سادگی و سهولت نصب رله‌های

را دارد. بنابراین هر طرح حفاظتی که برای ریزش‌بکه‌ها ارائه می‌گردد باید قادر به حفاظت موثر ریزش‌بکه در هر دو مد عملکردی نرمال و جزیره‌ای باشد [۲۸]. عملکرد در دو مد نرمال و جزیره‌ای چالشی بزرگ برای طرح‌های حفاظتی ریزش‌بکه‌ها را ایجاد می‌کند [۲۹]. این مسئله به دلیل اختلاف قابل توجه در سطح جریان اتصال کوتاه در مد نرمال و مد جزیره‌ای است. زیرا در مد نرمال، ریزش‌بکه از طریق ^۱PCC به شبکه بالادست خود متصل می‌گردد و شبکه بالادست در تزریق این جریان اتصال کوتاه دخالت دارد. لذا در این مد عملکرد، سطح جریان اتصال کوتاه بالا می‌باشد. اما در مد جزیره‌ای که ریزش‌بکه از شبکه بالادست جدا شده و بارها با استفاده از منابع تولید پراکنده متصل به ریزش‌بکه تغذیه می‌شوند به دلیل عدم مشارکت شبکه بالادست، سطح جریان کوتاه کمتر است. این مسئله در حضور منابع تولید پراکنده اینورتری قابل توجه است، چرا که این منابع جریان خطایی تا دو برابر جریان نامی می‌توانند تامین کنند که این میزان جریان خطا برای عملکرد سیستم‌های حفاظت مناسب نمی‌باشند [۳۰].

۲-۲- منابع تولید پراکنده

یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد تغییر در ریزش‌بکه‌ها، منابع تولید پراکنده متصل به این شبکه‌ها است [۳۱]. در این راستا دو دسته تغییرات وجود دارد:

- اتصال یا قطع منابع تولید پراکنده
- نوع منابع تولید پراکنده

۲-۲-۱- اتصال یا قطع منابع تولید پراکنده

تعدد حالت‌های قطع و وصل در ریزش‌بکه‌ها، به‌دست آوردن تنظیم مناسب رله‌ها برای رسیدن به هماهنگی کامل را مشکل و یا غیرممکن می‌سازد. در این راستا مطالعات روش‌هایی مختلفی را برای وارد نمودن حالات مختلف قطع و وصل منابع تولید پراکنده در پروسه هماهنگی حفاظتی ریزش‌بکه‌ها، معرفی نموده‌اند. مهمترین این روش‌ها انجام مجدد هماهنگی حفاظتی پس از اعمال هر تغییر در ریزش‌بکه است. مشخص است که با توجه به تعدد حالات متغیر و پویایی ریزش‌بکه، این روش نمی‌تواند پاسخگوی مناسب همه این تغییرات باشد [۲۹].

با توجه به تاثیرات حالات مختلف قطع و وصل منابع تولید پراکنده بر هماهنگی حفاظتی ریزش‌بکه‌ها و اینکه این

غیر استاندارد را برای هماهنگی بهتر تجهیزات حفاظتی فراهم می‌کند. در [۲۷] نویسندگان هماهنگی رله‌ها را با توجه به نفوذ عناصر فتوولتائیک در هر اندازه و هر مکانی از شبکه مورد بررسی قرار داده‌اند.

در کلیه مقالات مرور شده با تغییر ساختار و یا ورود و خروج منابع تجدید پذیر لازم است هماهنگی رله‌ها از اول دوباره انجام گیرد. در این مقاله یک طرح حفاظت تطبیقی به روش تزریق جریان اتصال کوتاه مجازی به جای منابعی که از شبکه جدا شده‌اند پیشنهاد شده است. با استفاده از این طرح با توجه به تغییر ساختار دینامیکی و ورود و خروج منابع تولید توان در ریزش‌بکه، تنظیمات اولیه رله‌های اضافه جریان به قسمی است که بر اساس ساختار کلی شبکه و در نظر گرفتن کلیه منابع به دست آمده تغییر نکند.

۲- عوامل تاثیرگذار بر ریزش‌بکه‌ها

با توجه به اینکه در ریزش‌بکه‌ها عوامل مختلفی در ایجاد جریان‌های اتصال کوتاه دخالت دارند در نتیجه این عوامل سبب پیچیدگی بیشتر عملکرد رله‌های حفاظتی در ریزش‌بکه‌ها خواهد شد. دلیل و علت این عوامل، خاصیت دینامیکی و پویایی ریزش‌بکه است که آن را از شبکه‌های توزیع سنتی جدا می‌نماید. مهمترین این تغییرات دینامیک شامل مدهای مختلف عملکردی ریزش‌بکه و حالات مختلف قطع و وصل منابع تولید پراکنده می‌باشد. در مقابل عوامل دیگری نیز وجود دارند که دارای ماهیت پیچیده‌ای هستند. تغییر در ساختار شبکه باعث تغییر در عملکرد رله‌ها می‌گردد، لذا سبب ایجاد قطعی و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان در شبکه خواهند شد. به این دلیل در نظر گرفتن ساختار شبکه و تغییرات آن در سرعت عملکرد رله‌ها نقش مهمی دارد. روش پیشنهادی از این تغییر ساختار شبکه را بعنوان تغییر در سیستم حفاظت در نظر می‌گیرد و با در نظر گرفتن این تغییرات ساختار و همچنین وصل و قطع شدن منابع تجدیدپذیر سعی در بدست آوردن هماهنگی مناسب رله‌ها در هر مد ساختاری و عملکردی می‌نماید. در ادامه سعی شده چالش‌های موجود در بررسی بیان گردد.

۲-۱- عدم قطعیت ساختاری در ریزش‌بکه‌ها

ریزش‌بکه، شبکه‌ای است که دارای قابلیت دینامیک بودن دارد و قابلیت بهره‌برداری بصورت متصل به شبکه (مد عملکردی نرمال) و جدا از شبکه (مد عملکردی جزیره‌ای)

^۱ Point of Common Coupling

روش‌های دیگر به سایر مقالات ارائه شده رجوع نمود.

۳-۱- حفاظت دیفرانسیل

حفاظت دیفرانسیل عمدتاً در حالت جزیره‌ای استفاده می‌شود جایی که جریان خطا کمتر است و تشخیص با استفاده از روش‌های مرسوم دشوار است. روش دیفرانسیل را نمی‌توان به صورت یک حفاظت کامل استفاده کرد. این حفاظت برای شناسایی اتصال کوتاه‌های پایین دست زمین مناسب تر است در حالی که برخی از تکنیک‌های دیگر باید برای شناسایی اتصال کوتاه‌های بزرگ‌تر مانند اتصال کوتاه‌های زمین بالادست، خطاهای خط به خط (L-L) و اتصال کوتاه-های متقارن اتخاذ شوند [۳۴].

۳-۲- حفاظت براساس ولتاژ

حفاظت مبتنی بر ولتاژ از اندازه‌گیری‌های ولتاژ برای شروع اقدامات حفاظتی خطاهای مختلف استفاده می‌کند. این روش به شدت به پیکربندی شبکه بستگی دارد و ممکن است با پیکربندی مجدد شبکه‌ها قابل اجرا نباشد. همچنین هنگام تشخیص خطاهای امپدانس بالا به درستی عمل حفاظت را انجام ندهد. هنگامی که ریزشبه گسترده‌تر می‌شود، محاسبه تبدیل پارک جهت انجام محاسبات سطح ولتاژ پیچیده می‌شود و اگر قدرت پردازش کافی در دسترس نباشد، می‌تواند زمان تشخیص خطا را افزایش دهد.

۳-۳- حفاظت مبتنی بر جریان

حفاظت کلاسیک اضافه جریان باید به نحوی اصلاح شود تا با وجود عناصر تولید پراکنده و سطوح خطای متفاوت برای قابل استفاده در ریزشبه‌ها مطابقت داشته باشد. در [۳۵] یک طرح حفاظتی بر اساس مولفه‌های جریان متقارن ارائه کرده‌اند. الگوریتمی برای شناسایی شرایط خطا بر اساس مولفه‌های صفر، مثبت و منفی جریان در این زمینه پیاده سازی شده است. علاوه بر این، شناسایی مواردی مانند راه‌اندازی موتور القایی یا برق‌دار شدن ترانسفورماتور برای جلوگیری از عملکرد نادرست رله‌ها نیز در این تحقیق گنجانده شده است. اشکال اصلی این رویکرد، نیاز به ارتقاء زیرساخت از جمله کانالهای ارتباطی است. در صورت خرابی ارتباط، حفاظت پشتیبان کافی باید گنجانده شود تا عملکرد ایمن را برآورده کند.

۳-۴- حفاظت براساس امپدانس

تکنیک‌های مکان‌یابی خطای مبتنی بر امپدانس برای شناسایی محل خطا در سیستم‌های شعاعی بدون حضور

حالات قطع و وصل تاثیرات متفاوتی را بر هماهنگی حفاظتی می‌گذارند و بر این اساس ایجاد یک هماهنگی جامع با توجه به تعداد حالات مشکل است. این در حالی است که یکی از ویژگی‌هایی که مطالعات گذشته برای ریزشبه‌ها برشمرده‌اند، ویژگی plug-and-play می‌باشد. این ویژگی بدان معنا است که در هر لحظه منابع تولید پراکنده می‌توانند براساس شرایط مختلف بهره‌برداری از شبکه جدا شده یا به آن متصل شوند، بدون آنکه نیاز به تغییرات اساسی در سیستم حفاظت و کنترل ریزشبه باشد [۳۲]. حالت plug-and-play منابع تولید پراکنده بر روی مقدار و جهت جریان اتصال کوتاه ریزشبه تاثیرگذار است. این مسئله به ویژه در مد عملکردی جزیره‌ای که سطح جریان اتصال کوتاه کم‌تر است، قابل توجه است و حتی می‌تواند بر حساسیت سیستم حفاظت تاثیرگذار باشد. همچنین خاصیت plug-and-play می‌تواند بر استراتژی هماهنگی حفاظتی تاثیرگذار باشد چرا که سیستم حفاظت باید با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده متصل به شبکه در هر لحظه قادر باشد بهترین استراتژی را اتخاذ نماید به گونه‌ای که کمترین قطعی را در شبکه داشته باشیم.

۲-۲-۲- نوع منابع تولید پراکنده

بطور کلی منابع تولید پراکنده مورد استفاده در طرح‌های ریزشبه به سه دسته سنکرون، آسنکرون و اینورتری تقسیم می‌شوند [۳۳]. تنوع در نوع منابع تولید پراکنده مورد استفاده در شبکه‌هایی که شامل ریزشبه هستند موجب پیچیدگی طرح‌های حفاظتی آن‌ها می‌گردد و این به دلیل سطوح مختلف جریان اتصال کوتاهی است که توسط این منابع ایجاد می‌شود.

۲-۳- مشکلات مربوط به حفاظت

در ریزشبه‌ها برخلاف شبکه‌های سنتی قدیمی، جهت هماهنگی رله‌های شبکه به مسائل و مشکلات خاصی برخورد می‌کنیم که مهمترین این مشکلات عبارتند از: مقدار جریان اتصال کوتاه، تزریق جریان اتصال کوتاه از دو جهت، قطعی غیر ضروری منابع تامین کننده انرژی، افزایش و یا کاهش ناحیه حفاظتی و قطع برق از شبکه اصلی می‌باشد.

۳- راه حل‌های مختلف برای مسائل حفاظتی

در ادامه به تعدادی از روش‌های مورد استفاده جهت حفاظت شبکه اشاره شده است که می‌توان جهت مطالعه

شبکه داشته باشیم. تنظیمات رله با تغییر وضعیت ریزش شبکه به روز می‌شود و معمولاً شامل تغییر منحنی مشخصه رله برای مقابله با تغییر جریان خطا می‌شود [۳۸]. حفاظت تطبیقی یکی از رویکردهای حفاظت با پیچیدگی کمتر و با هزینه اجرای معقول است که آن را به یک راه حل مطلوب تبدیل می‌کند.

روش حفاظت تطبیقی مستلزم داشتن اطلاعات قبلی در مورد پیکربندی ریزش شبکه به منظور انجام محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه جهت شناسایی تنظیمات ایده‌آل رله است. همچنین ممکن است به یک سیستم ارتباطی برای به روز رسانی تنظیمات در هر پیکربندی مجدد شبکه بستگی داشته باشد. اجرای طرح حفاظت تطبیقی می‌تواند به ارتقای زیرساخت‌های حفاظتی مانند رله‌های مبتنی بر ریزپردازنده، کانال‌های ارتباطی و برنامه‌های نرم‌افزاری برای کنترل مناسب نیاز داشته باشد.

۳-۸- حفاظت چند عامله

سیستم‌های چند عاملی با استفاده از عوامل توزیع شده که می‌توانند نرم‌افزار یا سخت‌افزار باشند، به‌عنوان دستگاه‌های الکترونیک هوشمند^۲ نیز شناخته می‌شوند، کار می‌کنند و به طور کلی برای دستیابی به حفاظت از ریزش شبکه‌ها کاربرد دارند. این یک رویکرد غیر متمرکزتر با لایه‌های مختلف در شبکه مورد حفاظت است.

در [۳۹] یک سیستم حفاظتی مبتنی بر چند عامل را برای مشکلات اضافه جریان و فرکانس پیشنهاد کرده است. مسئله اصلی سیستم چند عاملی زمانی است که با افزایش تعداد عامل‌ها، پیچیدگی و هزینه ارتباطات افزایش می‌یابد.

۳-۹- حفاظت منطقه وسیع

طرح‌های حفاظتی وسیع^۳ از کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده‌ها^۴ و دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند برای جمع‌آوری مقادیر اندازه‌گیری شده در یک منطقه وسیع‌تر و عملکرد اقدامات حفاظتی بر اساس این داده‌ها استفاده می‌کند. در [۴۰]، از فناوری حفاظت گسترده با ادغام سایر طرح‌های حفاظتی مانند تطبیقی و چند عاملی استفاده شده است. روش حفاظت از ناحیه وسیع نیازمند یک روش حفاظتی پشتیبان در صورت از دست دادن سیستم ارتباطی است.

عناصر تولید پراکنده به کار گرفته شده‌اند. در سال‌های اخیر، این روش برای گنجاندن سناریوهای مختلف ریزش شبکه و با وجود نفوذ تولید پراکنده توسط مطالعات مختلف اصلاح شد [۳۶]. رله‌ها به عنصر امیدانس و المان جهتی برای شناسایی وقوع و جهت اتصال کوتاه مجهز شده‌اند. طبق منطق حفاظتی اجرا شده، رله‌های مربوط به خطا یک سیگنال مجاز دریافت می‌کنند در حالی که سایرین سیگنال مسدود کننده را دریافت می‌کنند.

۳-۵- حفاظت دیستانس

حفاظت دیستانس جهت حفاظت خطوط و اندازه‌گیری جریان و ولتاژ جهت برای محاسبه امیدانس و جهت تشخیص خطا در ناحیه حفاظتی بکار می‌رود. این روش ممکن است در هنگام در نظر گرفتن هارمونیک‌ها جریان و خطاهای گذرا، عملکرد نادرستی داشته باشد. مقاومت خطا و خطوط توزیع کوتاه می‌تواند خطاهایی در پذیرش اندازه‌گیری شده ایجاد کند.

۳-۶- حفاظت مبتنی بر انرژی دیفرانسیل

این روش بر اساس تبدیل استاکول^۱ است که یک تبدیل زمان-فرکانس است و تکنیک مورد استفاده برای انجام تجزیه و تحلیل مبتنی بر انرژی دیفرانسیل است. این انرژی دیفرانسیل برای شناسایی الگوهای خطای ریزش شبکه با مقایسه از پیش شناسایی حالت‌های مختلف استفاده می‌شود. سیگنال خطا با توجه به سطح آستانه صادر می‌شود و نتایج شبیه‌سازی مطالعه فوق نشان می‌دهد که موقعیت‌های سالم و معیوب به راحتی قابل تشخیص هستند. در تبدیل هیلبرت-هوانگ به جای تبدیل S برای دریافت انرژی دیفرانسیل استفاده کرد و دریافت که در شرایط مختلف به دلیل استفاده از اطلاعات لحظه‌ای عملکرد بهتری دارد [۳۷].

۳-۷- حفاظت انطباقی

حفاظت تطبیقی، همانطور که در نامش آمده است، یک سیستم حفاظت بهنگام است که پاسخ به خطا را بر اساس وضعیت سیستم تغییر می‌دهد. تکنیک‌های متعددی برای اعمال حفاظت تطبیقی برای یک سیستم ریزش شبکه وجود دارد، اما ساده‌ترین و کلاسیک‌ترین روش این است که دو مجموعه تنظیمات رله برای حالت‌های جزیره‌ای و متصل به

³ Wide Area Protection

⁴ SCADA

¹ S-Transform

² Intelligent Electronic Devices

۴- پیشنهاد راهکار در جهت عدم تغییر

تنظیمات اولیه رله‌های اضافه جریان جهتی

مهمترین تغییر در ریزشبه‌ها تغییر مد ساختاری آن است که باعث تغییر عملکرد رله می‌گردد. چون این تغییر باعث تغییر زیاد جریان خطا و پخش بار درون خطوط می‌شود و در نتیجه این تغییرات در نهایت به کاهش حساسیت و افزایش زمان عملکرد سیستم حفاظت می‌گردد. در صورتیکه رله‌ها دارای قابلیت تنظیم مجدد با هر تغییر ایجاد شده در ساختار شبکه باشند، می‌توان با هر تغییر ساختار عملکرد رله را مطابق با آن ساختار در نظر گرفت و تنظیمات رله را مطابق با آن تغییرات هماهنگ نمود. زیر ساختار مخابراتی این طرح فقط مانیتور نمودن کلید اتصال ریز شبکه به شبکه اصلی، اتصال شبکه اصلی و یا جدا شدن آن از ریزشبه و همچنین پوشش دادن کلیه ساختارهای احتمالی در ریزشبه و ورود و خروج منابع تولید پراکنده است.

در حال حاضر با هر تغییری که در ساختار شبکه به وجود می‌آید مطابق با ساختار جدید محاسبات پخش بار و اتصال کوتاه مجدداً انجام و در نتیجه با ساختار جدید رله‌ها تنظیم می‌گردند. در طرح ارائه شده سعی شده است سیستم رله‌ها به صورتی طراحی گردند که با ورود و خروج منابع تنظیمات رله‌ها ثابت بماند.

در طرح ارائه شده در این مقاله، ابتدا لازم است که محاسبات لازم پخش بار و اتصال کوتاه با در نظر گرفتن حالتی که کلیه منابع در سرویس قرار دارند انجام گیرد و تنظیمات بهینه رله‌های اضافه جریان براین اساس انجام گیرد. منطبق برنامه‌نویسی رله‌ها طوری تعریف می‌شود که در صورتیکه یک منبع از مسیر تولید خارج شود، با استفاده از اطلاعات بدست آمده از طریق لینک‌های ارتباطی، اثر مقدار جریان اتصال کوتاهی که به شبکه تزریق می‌کند به صورت مجازی در نظر گرفته می‌شود. بدین طریق که بصورت مجازی فرض می‌شود این منبع از سیستم جدا نشده و همچنان همان اندازه جریان اتصال کوتاه را تزریق می‌نماید و مطابق به طرح قبلی که آن منبع به سیستم متصل بوده تنظیم رله‌ها تغییر نمی‌کند. یعنی یک تنظیم اولیه مطابق با ساختار اصلی شبکه و با توجه به وجود کلیه منابع در نظر گرفته می‌شود و با خروج هر منبع مقدار تزریق جریان اتصال کوتاه آن منبع در زمان وقوع اتصال کوتاه به

عنوان یک جریان تزریقی مجازی به رله در نظر گرفته می‌شود. البته این مورد را در ثبت داده‌های خروجی بعد از وقوع اتصال کوتاه در صورت نیاز به نشان دادن مقدار مجازی تزریق شده می‌تواند نشان دهد ولی در حالت کلی مقدار جریان اتصال کوتاه بر اساس اتصال کوتاه واقعی و بدون در نظر گرفتن مقدار مجازی نشان داده می‌شود. علت انجام این کار این است که با خارج شدن منابع تولید پراکنده مقدار تنظیمات رله‌ها تغییر نکند. حال اگر منبع تولید پراکنده دوباره به سیستم باز گردد با توجه به اطلاعات واصله از شبکه، مقدار مجازی از حالت فعلی خارج می‌گردد و در نتیجه مقدار واقعی جریان تزریقی جایگزین می‌گردد (منبع واقعی به شبکه متصل شده است). لازم به توضیح است که منظور از تزریق جریان مجازی، جریان تزریقی از یک منبع جداگانه نیست بلکه مقدار جریان اتصال کوتاهی که آن منبع تولید پراکنده و یا شبکه اصلی در حالت اتصال کوتاه تزریق می‌کند به عنوان یک داده برای رله در نظر گرفته می‌شود و این داده نقش جریان تزریقی مجازی را بر عهده دارد. علاوه بر این، کلیه مواردی که در حالت کلی برای تنظیمات رله‌های اضافه جریان در نظر گرفته می‌شود مانند مقدار و زمان جریان پیک آپ رله‌ها، جریان راه‌اندازی الکتروموتورها و سایر عوامل تاثیرگذار بر مقدار جریان عبوری از رله‌ها لازم است دیده شود. جهت دریافت اطلاعات مطابق با هر تغییر حادث شده در شبکه در شرایط ایده‌آل به این صورت است که با هر تغییر محسوسی در شبکه که ناشی از ورود و خروج منابع در شبکه رخ دهد، این تغییرات بوسیله یک سیستم مانیتورینگ به یک کامپیوتر مرکزی ارسال و کامپیوتر مرکزی دستورات لازم را به رله‌ها ارسال می‌نماید. این دستورات در یک بستر مخابراتی و لزوماً داشتن قابلیت رله‌ها برای دریافت این چنین تنظیمی، سیستم حفاظت را با شرایط جدید تطبیق می‌دهد. در این حالت بطور مثال در پست فوق توزیع از یک سرور مرکزی یا رله مرکزی استفاده می‌شود که قادر است از طریق بستر مخابراتی پرسرعت و مطمئن با تجهیزات شبکه توزیع (مانند رله‌ها، منابع تولید پراکنده و کلیدها) ارتباط برقرار کرده و ضمن آگاهی از وضعیت آن‌ها و شرایط کلی شبکه، دستورات کنترلی و حفاظتی لازم را به تجهیزات ارسال نماید. در شکل (۱) روند نمای حل مساله نشان داده شده است.

t عبارت است از زمان عملکرد رله، If عبارت است از جریان خطا عبوری از رله، I_p برابر است با جریان تنظیمی بر روی رله که بعد از آن رله شروع به عملکرد می‌کند و α و β در جدول ۱ آمده‌اند:

جدول ۱: ضرایب مورد استفاده در رابطه (۱)

Number of characteristic (Rc)	Type of characteristic	α	β	standard
۱	Standard Inverse	۱۴	۰.۰۲	IEC
۲	Very Inverse	۱۳.۵	۱	IEC
۳	Extremely Inverse	۸.۰	۲	IEC

با توجه به اینکه هدف اصلی جهت تنظیم زمان بهینه عملکرد رله‌ها است، لازم است زمان عملکرد رله‌های اولیه و پشتیبان را همزمان بهینه نماید، این تابع بطور همزمان هم زمان‌های رله‌های اولیه و ثانویه را بهینه می‌نماید و هم مجموع کل زمان‌های رله‌های موجود در شبکه را بهینه می‌کند.

در این مقاله از رابطه (۲) مطابق با [۴۱] بعنوان تابع هدف اصلی استفاده شده‌است.

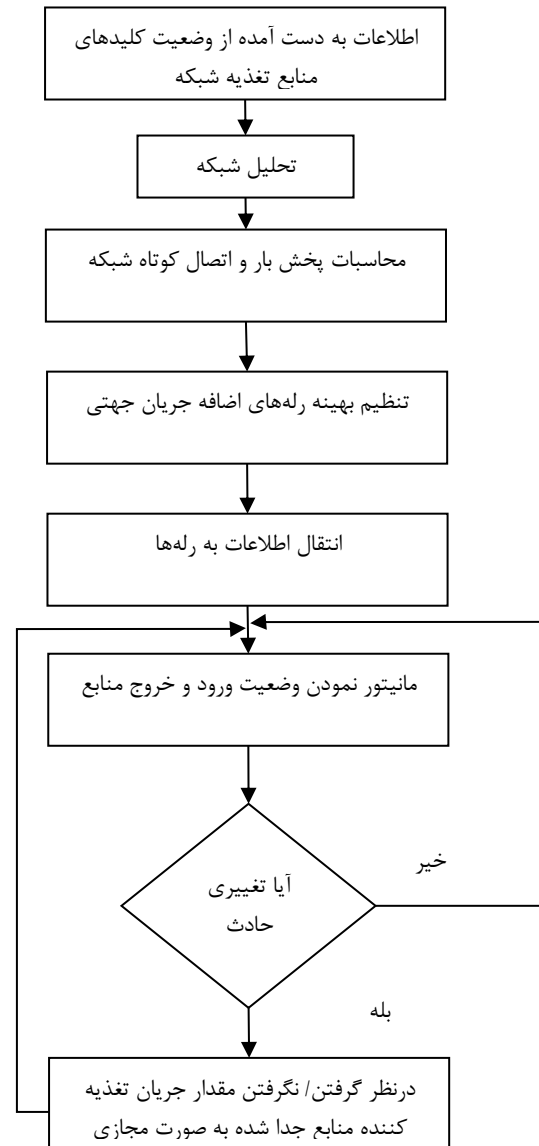
$$OF = \min(\sum_{i=1}^{Np} t_{min}(i) + \sum_{j=1}^{Nb} t_{max}(j)) \quad (2)$$

در رابطه (۲) مقادیر $\sum_{i=1}^{Np} t_{min}(i)$ و $\sum_{j=1}^{Nb} t_{max}(j)$ به ترتیب مجموع مینیمم زمان‌های عملکرد رله‌های اولیه و پشتیبان آنها است. Np و Nb به ترتیب تعداد رله‌های اولیه و پشتیبان است. با توجه به اینکه در هر ساختاری که شبکه قرار می‌گیرد لازم است جهت گروه‌بندی رله‌ها مشخص گردد، لذا لازم است در هر ساختاری زمان رله‌های اولیه و پشتیبان هر گروه چک گردد که این مقادیر مطابق با رابطه (۳) کنترل شوند:

$$\begin{aligned} t_b(f1) - t_p(f1) &\geq CTI \\ t_b(f2) - t_p(f2) &\geq CTI \end{aligned} \quad (3)$$

مقادیر $t_b(fi)$ و $t_p(fi)$ به ترتیب زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان هستند.

CTI^2 نیز مقدار ثابتی است که جهت هماهنگ نمودن زمان عملکرد بین رله‌های اصلی و پشتیبان در نظر گرفته می‌شود



شکل ۱- روند نمای حل مساله

در قسمت‌های قبل مشکلات حفاظتی ریزش‌بکه‌ها مطرح گردید. دلیل اصلی این مشکلات لزوم هماهنگی بین رله‌های حفاظتی در همه شرایط بهره‌برداری است که با توجه به محدودیت تنظیم برای رله‌ها منجر به افزایش زمان و کاهش بیشتر حساسیت حفاظتی می‌شود. با توجه به رابطه‌ای که حساسیت و سرعت عملکرد با جریان تنظیمی رله‌ها و TMS^1 آن‌ها دارند (رابطه ۱)، اگر قابلیت تنظیم مجدد رله‌ها با تغییر شرایط بهره‌برداری وجود داشته باشد می‌توان از افزایش زمان عملکردها و کاهش حساسیت ناشی از داشتن فقط یک تنظیم برای رله‌ها جلوگیری نمود.

$$t = \frac{\alpha \times TMS}{(If/I_p)^\beta - 1} \quad (1)$$

² Coordination Time Interval

¹ Time Multiplier Setting

تنظیمات رله‌های اضافه جریان به منظور رسیدن به هماهنگی مقاوم، تعداد قیود این مسئله بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با توجه به مباحث مطرح شده، از آنجایی که مسئله هماهنگی رله‌ها فقط دارای قیود نامساوی است، با مدل‌سازی بازه‌ای این مسئله با لحاظ نمودن ساختارهای مختلف، به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی غیربازه‌ای با تعداد قیود نامساوی برابر با تعداد رله‌های اصلی و پشتیبان در ساختار اصلی شبکه تبدیل می‌شود. بنابراین با مدل‌سازی بازه‌ای تعداد قیود هماهنگی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. با معلوم بودن تنظیم جریانی رله‌های اضافه جریان و با فرض خطی بودن رابطه بین زمان عملکرد رله‌های اضافه جریان با تنظیم زمانی رله‌ها، مسئله بهینه‌سازی غیرخطی هماهنگی به یک مسئله خطی تبدیل می‌شود که می‌توان در این‌صورت از برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها در مسئله هماهنگی استفاده نمود. با تغییر ساختار شبکه جریان اتصال کوتاه عبوری از رله‌ها تغییر می‌کند که در پی آن ضرایب مجهولات در تابع هدف و قیود هماهنگی تغییر می‌نماید. بنابراین عدم قطعیت در مقدار این ضرایب وجود دارد که می‌توان از ریاضیات بازه‌ای برای مدل‌سازی آن استفاده شود.

الگوریتم تکاملی تفاضلی یا الگوریتم DE^2 یک الگوریتم بهینه‌سازی است که اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط Rainer Storn و Kenneth Price معرفی شد. این محققان نشان دادند که این الگوریتم توانایی خوبی در بهینه‌سازی توابع غیرخطی مشتق ناپذیر دارد که به عنوان روشی قدرتمند و سریع برای مسائل بهینه‌سازی در فضاهای پیوسته معرفی شده است. الگوریتم DE جهت غلبه بر عیب اصلی الگوریتم ژنتیک، یعنی نبود جستجوی محلی در این الگوریتم ارائه شده است، تفاوت اصلی بین الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم DE در عملگر انتخاب^۲ است. در عملگر انتخاب الگوریتم ژنتیک، شانس انتخاب یک جواب به عنوان یکی از والدین وابسته به مقدار شایستگی آن می‌باشد، اما در الگوریتم DE همه جواب‌ها دارای شانس مساوی جهت انتخاب شدن می‌باشند. یعنی شانس انتخاب شدن، وابسته به مقدار شایستگی آنها نمی‌باشد، پس از این که یک جواب جدید با استفاده از یک عملگر جهش^۴ و عملگر متقاطع^۵

و مقدار آن بین ۰/۲ تا ۰/۵ است. در این مقاله مقدار ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

با توجه به تنوع ساختاری و عملکردی ریزشبه‌ها روش مورد استفاده جهت تابع هدف (۲) در این مقاله روش ترکیبی برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای و تکامل تفاضلی است. با توجه به داشتن سناریوهای مختلف در ساختار شبکه ریزشبه‌ها و در نتیجه سناریوهای مختلف اتصال کوتاه و تزریق جریان اتصال کوتاه از دو جهت مختلف با توجه به حضور منابع تولید پراکنده، مطابق با [۳۸] از روش برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای جهت بدست آوردن TMS و جهت بدست آوردن PS^۱ از روش تفاضل تکاملی استفاده شده است. مقدار PS از رابطه (۴) بدست می‌آید:

$$PS = \frac{I_p}{CTR} \quad (4)$$

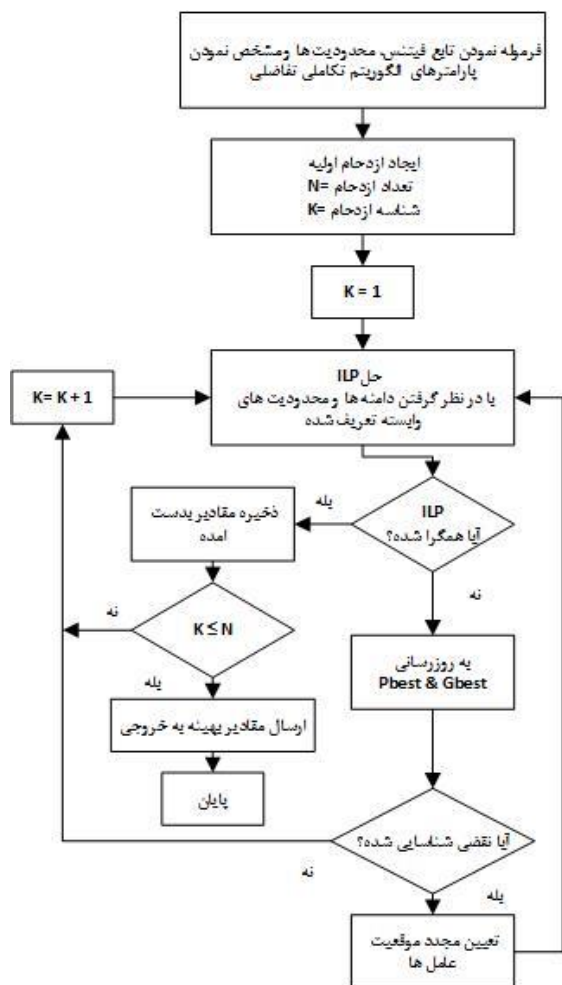
بخاطر اینکه اطمینان حاصل شود که رله در حالت عملکرد عادی عمل نمی‌کند، حداقل مقداری که جهت PS در نظر گرفته می‌شود به اندازه‌ای است که رله تا ۱/۲۵ جریان بار عمل نکند [۴۲].

برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای ابزار قدرتمندی برای مدل‌سازی مسائلی که دارای عدم قطعیت با بازه تغییرات محدود می‌باشند، است. شبکه قدرت از جمله سیستم‌هایی است که دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشد که در صورت وقوع این عدم قطعیت‌ها در شبکه، ولتاژ شین‌ها و جریان عبوری از خطوط با بازه تغییرات محدود، تغییر می‌کند. از جمله عواملی که باعث ایجاد عدم قطعیت در شبکه قدرت می‌شود می‌توان به خروج تجهیزات شبکه مثل خروج خطوط، تغییر در مقدار پارامترهای شبکه مثل امپدانس خطوط، ورود و خروج منابع تولید پراکنده و تغییر بارهای مصرفی اشاره نمود. بنابراین بعضی از مسائل موجود در سیستم قدرت دارای عدم قطعیت‌های با بازه تغییرات محدود می‌باشند و می‌توان برای مدل‌سازی این مسائل از روش برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای استفاده نمود. مسئله هماهنگی رله‌ها از دیگر مسائلی است که می‌توان از برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای برای حل آن استفاده نمود. چرا که در دامنه و توزیع جریان خطای عبوری از رله‌ها بدلیل تغییر ساختار شبکه ناشی از حوادث برنامه‌ریزی شده یا نشده، عدم قطعیت وجود دارد. با در نظر گرفتن ساختارهای مختلف شبکه در تعیین

⁴ mutation
⁵ crossover

¹ Plug Setting
² Differential Evolution
³ Selection Operators

شده است. پارامترهای این ریزشبهه، در شکل (۳) نشان داده شده است، اطلاعات کلی این شبهه مطابق [۴۳] در نظر گرفته شده است.



شکل ۲: روند نمای فرایند بهینه‌سازی تابع هدف در روش الگوریتم تفاضلی و برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای

چهار حالت ساختاری مطابق با جدول ۲ جهت بررسی این ریزشبهه در نظر گرفته شده است. حالت اول، واحدهای تولید پراکنده همه در مدار قرار دارند و بار از طریق شبکه اصلی و منابع تولید پراکنده تامین می‌شود. حالت دوم، همه واحدهای تولید پراکنده از شبکه جدا هستند و بار فقط از طریق شبکه اصلی تامین می‌گردد. در سومین حالت عملیاتی، تقاضای ریزشبهه از طریق شبکه اصلی همراه با تولید پراکنده ۱ و تولید پراکنده ۲ تامین می‌شود. سرانجام، در حالت عملیاتی چهارم، ریزشبهه در حالت جزیره ای عمل می‌کند و کلیه تولیدات پراکنده بار شبکه را تغذیه می‌نمایند، در این حالت ریزشبهه از شبکه اصلی جدا شده است.

تولید شد، جواب جدید با مقدار قبلی مقایسه می‌شود و در صورت بهتر بودن جایگزین می‌گردد.

در الگوریتم تکاملی تفاضلی بر خلاف دیگر الگوریتم‌ها که اول عملگر متقاطع و سپس عملگر جهش انجام می‌شود به گونه‌ای که ابتدا عملگر جهش اعمال شده و سپس عملگر متقاطع اعمال می‌شود تا بدین وسیله نسل جدید ایجاد گردد. برای اعمال عملگر جهش از توزیع خاصی استفاده نمی‌شود بلکه طول گام جهش برابر با مقدار از فاصله میان اعضای فعلی تعیین می‌شود. برای تولید جمعیت اولیه معمولاً از توزیع یکنواخت استفاده می‌شود تا اعضای جمعیت کاملاً به طور یکسان در فضا پخش شده و در هر مرحله از الگوریتم این اعضا به یکدیگر نزدیک می‌شوند و این همگرایی منجر به رسیدن به جواب بهینه خواهد شد. همچنین باید توجه داشت که تعداد زیاد اعضای جمعیت می‌تواند کمک مناسبی با یافتن جواب بهینه باشد. یکی از عوامل مهم در این الگوریتم تعیین مقدار مناسب ضریب مقیاس می‌باشد، به طوری که اگر این ضریب کوچک انتخاب شود، طول گام‌ها در عملگر جهش کوچک‌تر می‌شود و زمان بیشتری برای جستجو صرف می‌گردد. همچنین اگر ضریب مقیاس در الگوریتم تکامل تفاضلی بزرگ در نظر گرفته شود باعث می‌شود این الگوریتم جواب‌های مناسب را در نظر نگیرد. پس باید در تعیین این ضریب دقت بسیار زیادی صورت گیرد. بعد از انجام جهش، تقاطع انجام می‌شود، بدین صورت که عددی تصادفی بین صفر و یک تولید شده و اگر عدد تولید شده کمتر از میزان نرخ متقاطع باشد عنصر مورد نظر در آن عضو از جمعیت، از قسمت جهش برداشته می‌شود در غیر اینصورت عنصر مورد نظر از مقدار اولیه عضو برداشته می‌شود. اینقدر این کار تکرار می‌شود تا تمامی اعضای یک عضو یا از قسمت جهش خورده یا از مقادیر اولیه خود انتخاب گردند. سپس ماتریس جدیدی که تولید شده با ماتریس اولیه مقایسه می‌شود و اگر ماتریس جدید دارای هزینه کمتری باشد جایگزین ماتریس اولیه می‌شود. این کار برای تمامی اعضای جمعیت انجام می‌شود. در شکل (۲) فرایند بهینه‌سازی تابع هدف نمایش داده شده است. در شکل (۲) عبارت Pbest و Gbest به ترتیب نشان دهنده بهترین عامل و بهترین هدف می‌باشد.

۵- شبیه سازی

برای اثبات اثربخشی روش پیشنهادی، از یک ریزشبهه IEC با انواع مختلف فناوری تولید پراکنده استفاده

داده شده است.

۵-۱- حالت اول

ریزشبکه مطابق با جدول ۲ از طریق کلیه منابع تولید پراکنده و همچنین شبکه اصلی تامین می‌گردد. جهت شبیه‌سازی پنج حالت اتصال کوتاه نام برده شده بر شبکه اعمال می‌شود که مقادیر آن مطابق با شکل (۴) است.

جدول ۳: پارامترهای هماهنگی رله‌ها جهت ساختار اول

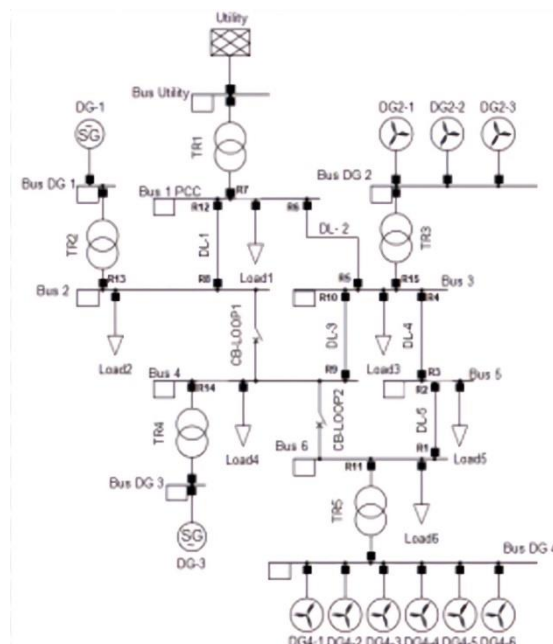
رله	TSM	PS
R1	۰,۱۳۳	۱,۹۸
R2	۰,۰۵	۰,۵۵
R3	۰,۰۵	۲,۵۶
R4	۰,۱۸۲	۰,۳۴
R5	۰,۱۱۳	۱,۶
R6	۰,۳	۰,۶۹
R7	۰,۲۳۵	۱,۸۹
R8	۰,۱۸۸	۳,۱۴
R9	۰,۰۵	۲,۴۹
R10	۰,۰۵	۰,۵۶
R11	۰,۲	۰,۴۲
R12	۰,۰۵	۱,۳
R13	۰,۱۶۲	۲,۲۷
R14	۰,۰۹۸	۲,۲۲
R15	۰,۱۳۱	۵,۲۸
T (s)	۱۲,۴۹۳۳	

حالت اول، حالت اصلی تنظیم رله‌های شبکه است زیرا در این حالت کلیه منابع در سرویس هستند و مشارکت کامل در تغذیه اتصال کوتاه را دارند. بنابراین مطابق با روش ارائه شده این حالت به عنوان مرجع اصلی هماهنگی رله‌های شبکه در نظر گرفته می‌شود. لذا در ابتدا رله‌ها براساس این حالت و مطابق با اتصال کوتاه‌های مشخص شده هماهنگ می‌گردند.

۵-۲- حالت دوم

ریز شبکه مطابق با جدول ۲ فقط از طریق شبکه اصلی تامین می‌گردد. جهت شبیه‌سازی پنج حالت اتصال کوتاه نام برده شده بر شبکه اعمال می‌شود که مقادیر آن مطابق با شکل (۵) است.

نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول ۵ و جدول ۶ نشان داده شده‌است.

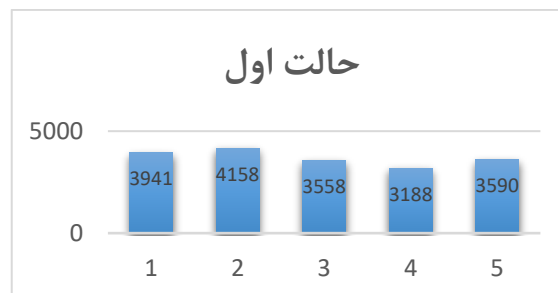


شکل ۳- ریزشبه IEC با انواع مختلف فناوری تولید پراکنده [۴۰]

جدول ۲: حالات مختلف عملکرد ریزشبه

حالت عملکرد	شبکه اصلی	DG1	DG2	DG3	DG4
حالت اول	on	on	on	on	on
حالت دوم	on	off	off	off	off
حالت سوم	on	on	on	off	off
حالت چهارم	off	on	on	on	on

پنج خطای سه فاز در خطوط DL-1, DL-2, DL-3, DL-4 و DL-5 در نظر گرفته شد. سایر مشخصات دیگر این شبکه از [۴۰] اقتباس شده است. F1 اتصال کوتاه در DL-5 و F2, F3 و F4 اتصال کوتاه در DL-2 و DL-4 و F5 اتصال کوتاه در DL-1 و DL-3 است. در کلیه حالات LOOP1 و LOOP2 باز هستند. همچنین مطابق با روش ارائه شده در این مقاله، حالت اصلی جهت تنظیم کلیه رله‌ها حالت اول یعنی کلیه منابع در سرویس است.



شکل ۴- مقادیر اتصال کوتاه در ساختار اول

نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول ۳ و جدول ۴ نشان

جدول ۵: پارامترهای هماهنگی رله‌ها جهت ساختار دوم

رله	TSM	PS
R1		
R2	۰,۰۵	۰,۴۵
R3		
R4	۰,۱۷۵۵	۰,۴
R5		
R6	۰,۳۱۳۹	۰,۴۹
R7	۰,۲	۱,۴۲
R8		
R9		
R10	۰,۰۵	۰,۱۵
R11		
R12	۰,۰۵	۰,۴۸
R13		
R14		
R15		
T (s)	۴,۷۳۱۵	

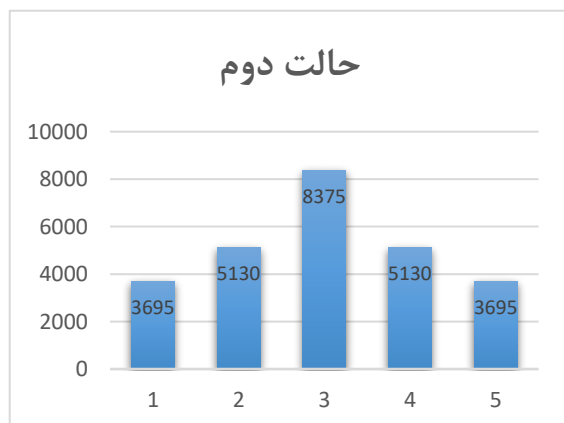
جدول ۶: زمان عملکرد رله‌ها جهت ساختار دوم

خطا	رله	زمان	RB-RP \geq CTI (.2 S)
F1	RP1		RB4-RP4=0.2668
	RP2	۰,۱۱۲۲	
	RB4	۰,۳۷۹	
	RB13		
F2	RP3		RB6-RP4=0.326
	RP4	۰,۳۳۵	
	RB1		
	RB6	۰,۶۶۱	
F3	RP5		RB7-RP6=0.289
	RP6	۰,۵۶۶	
	RB7	۰,۸۵۵	
	RB8		
F4	RP8		RB7-RP12=0.8470
	RP12	۰,۱۰۳۱	
	RB5		
	RB7	۰,۹۵۱	
F5	RP9		RB6-RP10=0.5348
	RP10	۰,۱۱۲۲	
	RB6	۰,۶۴۷	
	RB14		
	RB15		

جدول ۴: زمان عملکرد رله‌ها جهت ساختار اول

خطا	رله	زمان	RB-RP \geq CTI (.2 S)
F1	RP1	۰,۴۴	RB4-RP2=0.299
	RP2	۰,۱۰۱	
	RB4	۰,۴	RB13-RP1=0.27
	RB13	۰,۷۱	
F2	RP3	۰,۱۶۴	RB1-RP3=0.216
	RP4	۰,۲۹۸	RB6-RP4=0.299
	RB1	۰,۳۸	RB15-RP4=0.299
	RB6	۰,۵۹۷	
	RB15	۰,۵۹۷	
F3	RP5	۰,۲۶۳	RPB15-RP5=0.4101
	RP6	۰,۴۷۱	RB7-RP6=0.322
	RB7	۰,۷۹۳	RB8-RP6=0.322
	RB8	۰,۷۹۳	
	RB15	۰,۶۷۳۱	
F4	RP8	۰,۷۵۳۲	RB13-RP8=0.4328
	RP12	۰,۰۹۲۱	RB5-RP12=0.2245
	RB5	۰,۳۱۶۶	RB7-RP12=1.0699
	RB7	۱,۱۶۲	
F5	RP9	۰,۱۹۳	RB14-RP9=9.282
	RP10	۰,۱۰۳۳	RB6-RP10=0.5467
	RB6	۰,۶۴۹	RB14-RP10=0.3717
	RB14	۰,۴۷۵	
	RB15	۰,۸۸۳	

حالت دوم



شکل ۵- مقادیر اتصال کوتاه در ساختار دوم

جدول ۷: پارامترهای هماهنگی رله‌ها جهت ساختار سوم

رله	TSM	PS
R1		
R2	۰,۰۵	۰,۴۷
R3		
R4	۰,۱۸۱۲	۰,۰۵
R5	۰,۰۵۷	۷,۱۸
R6	۰,۳۱۵	۲,۰۵
R7	۰,۲	۵,۵۸
R8	۰,۱۸۴۸	۵,۱۹
R9		
R10	۰,۰۵	۰,۴
R11	۰,۱۹۸۳	۴,۵۸
R12	۰,۰۵	۰,۵
R13		
R15	۰,۱۲۸۹	۳,۵۹
T (s)	۱۰,۲۹۷	

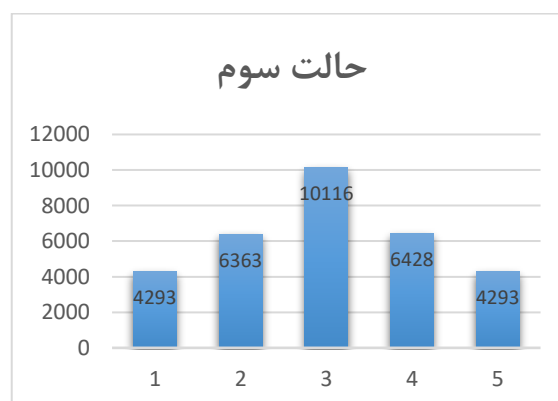
جدول ۸: زمان عملکرد رله‌ها جهت ساختار سوم

خطا	رله	زمان	RB-RP \geq CTI (.2 S)
F1	RP1		RB4-RP2=0.2141
	RP2	۰,۱۰۸۷	
	RB4	۰,۳۸۹	
	RB13		
F2	RP3		RB6-RP4=0.2463 RH15-RP4=0.2463
	RP4	۰,۳۵۶۸	
	RB1		
	RB6	۰,۶۰۳۱	
	RB15	۰,۶۰۳۱	
F3	RP5	۰,۲۷۴۶	RB15-RP5=0.4045 RB7-RP6=0.3058 RB8-RP6=0.3058
	RP6	۰,۵۳۹	
	RB7	۰,۸۴۴۸	
	RB8	۰,۸۴۴۸	
	RB15	۰,۶۷۹۱	
F4	RP8	۰,۸۱۰۳	RB11-RP8=0.3067 RB5-RP12=0.2908 RB7-RP12=0.8158
	RP12	۰,۰۹۸۴	
	RB5	۰,۳۸۹۲	
	RB7	۰,۹۱۴۳	
	RB11	۱,۱۱۷	
F5	RP9		RB6-RP9=0.5608 RB15-RP9=0.7553
	RP10	۰,۱۰۲۹	
	RB6	۰,۷۶۳۷	
	RB14		
	RB15	۰,۸۵۸۲	

با توجه به نتایج به دست آمده در حالت دوم درمی‌یابیم که اگر منابع تولید پراکنده را از شبکه جدا کنیم با توجه به تغییرات اتصال کوتاه به وجود آمده، تنظیمات رله‌ها نسبت به حالتی که همه منابع در سرویس باشند (حالت اول) تغییر می‌کند و لازم است تنظیمات رله‌ها تغییر نماید. جهت جلوگیری از تنظیم مجدد رله‌ها مطابق با مقادیر جدید لازم است مقدار جریان جهت حالت اتصال کوتاه را با وجود خارج شدن این منابع مطابق با روش ارائه شده در این مقاله به صورت کامل (وقتی کلیه منابع در سرویس هستند) در نظر گرفت. یعنی مقادیر اتصال کوتاه منابعی که از شبکه جدا شده‌اند به صورت مجازی و نرم‌افزاری به رله اعمال می‌گردد. لذا با توجه به اینکه در این حالت رله همان جریان اتصال کوتاه حالت اول را اندازه‌گیری می‌کند، در نتیجه مقادیری که جهت هماهنگ نمودن رله‌ها در نظر می‌گیریم مطابق با حالت اول خواهد بود و تغییری در زمان هماهنگی رله‌ها ایجاد نمی‌گردد. در این حالت اگر منابع به حالت اولیه خود باز گردند مقدار مجازی معادل آنها که در رله در نظر گرفته شده صفر می‌گردد و مقادیر حقیقی به رله‌ها تزریق می‌گردد و در نتیجه دوباره همان هماهنگی قبلی را خواهیم داشت.

۵-۳- حالت سوم

در این حالت مطابق با جدول ۲ علاوه بر شبکه اصلی فقط منابع تولید پراکنده ۱ و ۲ نیز به شبکه متصل می‌باشند. جهت شبیه‌سازی پنج حالت اتصال کوتاه نام برده شده بر شبکه اعمال می‌شود که مقادیر آن مطابق با شکل (۶) است.



شکل ۶- مقادیر اتصال کوتاه در ساختار سوم

نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول ۷ و جدول ۸ نشان داده شده‌است.

در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۹: پارامترهای هماهنگی رله‌ها جهت ساختار چهارم

رله	TSM	PS
R1	۰,۱۳۲	۵۶,۱۲
R2	۰,۰۵	۳۱,۳۷
R3	۰,۰۵	۵۴,۱۱۲
R4	۰,۱۴۱۱	۸۸,۹۴
R5	۰,۱۴۰۱	۴۷,۶۷
R6	۰,۱۳۹۳	۴۸,۳۹
R7		
R8	۰,۲۰۴۷	۸۱,۷۷
R9	۰,۰۵	۶۰,۹۸
R10	۰,۰۵	۵۲,۱۱
R11	۰,۲۱۷۳	۳۹,۲۳
R12	۰,۰۵	۴۱,۲۶
R13	۰,۱۵۳۶	۳۱,۲۴
R14	۰,۰۹۷۲	۹۳,۸۹۱
R15	۰,۱۳۱۴	۷۵,۸۴۶
T (s)	۱۱,۷۳۷۷	

جدول ۱۰: زمان عملکرد رله‌ها جهت ساختار چهارم

خطا	رله	زمان	RB-RP ≥ CTI (.2 S)
F1	RP1	۰,۴۲۱۳	RB11- RP1=0.2893 RB4-RP2=0.2691
	RP2	۰,۱۲۷۹	
	RB4	۰,۳۹۷	
	RB11	۰,۷۱۰۶	
F2	RP3	۰,۱۶۳۳	RB1-RP3=0.2448 RB15- RP4=0.2511 RB6-RP4=0.2511
	RP4	۰,۳۷۳	
	RB1	۰,۴۰۸۱	
	RB6	۰,۶۲۴۱	
	RB15	۰,۶۲۴۱	
F3	RP5	۰,۳۹۷۷	RB15- RP5=0.4286 RB8-RP6=0.3108
	RP6	۰,۶۶۰۴	
	RB7		
	RB8	۰,۹۷۱۲	
	RB15	۰,۸۲۶۳	
F4	RP8	۰,۸۱۰۹	RB13- RP8=0.2201 RB5- RP12=0.2977
	RP12	۰,۱۲۵۶	
	RB5	۰,۴۲۳۳	
	RB7		
	RB13	۱,۰۳۱	
F5	RP9	۰,۱۹۶۸	PB14-RP9=0.3042 PB6-RP10=0.7338 RB14- RP10=0.3713
	RP10	۰,۱۲۸۷	
	RB6	۰,۸۶۲۵	
	RB14	۰,۵	
	RB15	۰,۸۵۳۹	

مطابق با حالت سوم با توجه به اینکه فقط منبع اصلی و منابع تولید پراکنده اول و دوم در سرویس قرار دارند، در صورت وقوع اتصال کوتاه‌های مشخص شده مطابق با شکل ۵ در شبکه، مقادیر تنظیمات رله‌ها تغییر می‌نمایند و لازم است این مقادیر جایگزین مقادیر اصلی گردند و در نتیجه دوباره لازم است هماهنگی رله‌ها تغییر یابد. در روش استفاده شده با توجه به اینکه به جای منابع جدا شده مقادیر تزریقی جریان اتصال کوتاه مجازی آنها از طریق نرم افزاری جایگزین می‌گردد، لذا جریان اتصال کوتاه با حالت اول که کلیه منابع در سرویس هستند تفاوتی نمی‌کند و در نتیجه هماهنگی رله‌ها مطابق با حالت اول در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه تنظیمات رله‌ها ثابت باقی می‌ماند.

۴-۵- حالت چهارم

در این حالت ریزش شبکه به صورت جزیره‌ای کار می‌کند و کل بار توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌گردد. جهت شبیه سازی پنچ حالت اتصال کوتاه نام برده شده بر شبکه اعمال می‌شود که مقادیر آن مطابق با شکل (۷) است.



شکل ۷- مقادیر اتصال کوتاه در ساختار چهارم

نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول ۹ و جدول ۱۰ نشان داده شده‌است.

در حالت چهارم نیز با توجه به اینکه سطح اتصال کوتاه در این حالت مطابق با شکل (۶) با توجه به نبود منبع اصلی از حالت اول که کلیه منابع در سرویس قرار دارند کمتر است، لذا در حالت عادی و مطابق با مقادیر جدول ۹ لازم است این مقادیر جایگزین حالت اصلی جهت هماهنگ نمودن رله‌های این شبکه قرار گیرند. مطابق با روش ارائه شده در این مقاله، مقدار جریان اتصال کوتاه تزریقی منبع اصلی به صورت مجازی و از طریق نرم افزاری به رله اعمال می‌گردد و در نتیجه با توجه به اینکه در این حالت مقدار جریان اتصال کوتاه در هر حالت با حالت اول یکسان است لذا مقادیر هماهنگی رله تغییر نمی‌کند و مطابق با حالت اول

گرفته نشود، ولی اگر از طرف آن منبع تزریقی انجام نگیرد رله در این حالت تشخیص می‌دهد که آن منبع از مدار خارج شده است و لذا باعث تزریق جریان مجازی جهت آن منبع می‌گردد. بنابراین با این روش قطع خطوط ارتباطی پوشش داده می‌شود. در صورتیکه ارتباطات مخابراتی دوباره به حالت اصلی برگردد، رله‌ها همانند حالت اولیه تنظیمات خود را انجام می‌دهند یعنی در صورتیکه منابع وجود داشته باشند حالت مجازی برای آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و اگر منبع قطع شود مقدار مجازی آن در نظر گرفته می‌شود. در [۴۴] از ذخیره سازهای انرژی به عنوان تامین کننده جریان خطا هنگامی که خطوط ارتباطی قطع می‌گردند استفاده شده است یعنی در این روش نیاز به تجهیزات خاص ذخیره انرژی می‌باشد بطوری‌که بتواند همان مقدار جریان خطا را ایجاد کند در حالیکه در روش پیشنهادی نیازی به هیچ تجهیز اضافه‌ای نیست.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به روش ارائه شده در شبکه استاندارد پیشنهاد شده و نتایج جداول ۳ تا ۱۰ ملاحظه گردید که با تغییرات دینامیکی ریز شبکه تنظیمات رله‌ها با توجه به اطلاعات دریافتی از خروج و ورود منابع با حالت در نظر گرفتن کلیه منابع در طراحی حفاظتی اولیه تغییر نمی‌نماید. در این روش جدید لازم نیست در هر تغییر در ورود و خروج منابع تنظیمات جدید برای رله تعریف گردد. هنگام خروج هر منبع مقدار مجازی جریان اتصال کوتاه آن به صورت اطلاعات نرم افزاری که از قبل در رله جهت آن منبع تعریف شده است در محاسبات اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شود اگر این منبع به شبکه متصل گردد مقدار واقعی جایگزین مقدار مجازی شده و مقدار مجازی صفر در نظر گرفته می‌شود و محاسبات با توجه به تزریق خود منبع انجام می‌گیرد. در نتیجه با توجه به روش ارائه شده همیشه یک تنظیم مطابق با حالتی که کلیه منابع در سرویس قرار دارند در نظر گرفته می‌شود و لازم نیست با توجه به ورود و خروج منابع تنظیم رله‌ها را تغییر داد. روش مذکور بر روی شبکه مورد نظر در حالات مختلف ورود و خروج منابع مورد بررسی قرار گرفته و در هر حالت عملکرد روش فوق توضیح داده شده است.

همانطور که از جداول ۳ تا ۱۰ مشخص می‌شود در جهت هماهنگی حفاظتی رله‌های اضافه جریان شبکه، به طور کلی لازم است با ورود و خروج منابع تولید پراکنده و یا اتصال و یا عدم اتصال به شبکه اصلی لازم است تنظیمات رله‌ها مجدداً تغییر یابد و مطابق با سطح اتصال کوتاه جدید تعریف شود. در حالیکه در روش جدید معرفی شده در این مقاله احتیاج به این تغییرات نیست زیرا با خارج شدن منابع، با استفاده از اطلاعات واصله از طریق لینک‌های اطلاعاتی و مشخص شدن اینکه کدام منبع از سیستم جدا شده، مقدار جریان اتصال کوتاه تزریقی آن منبع به صورت مجازی در رله در نظر گرفته می‌شود (جریانی تزریق نمی‌شود). در این حالت در صورت وقوع اتصال کوتاه در شبکه همان مقدار جریان اتصال کوتاهی که با وجود آن منبع بوده به صورت نرم‌افزاری در نظر گرفته می‌شود و نیازی به تنظیمات مجدد رله‌ها نیست. در این حالت در صفحه نمایش رله فقط جریان اتصال کوتاه اصلی بدون در نظر گرفتن مقدار مجازی در نظر گرفته شده را نمایش می‌دهد. حال اگر منبعی اضافه شود با توجه به اطلاعات رسیده شده از شبکه، مقدار مجازی در نظر گرفته شده حذف می‌گردد و رله دوباره همان تنظیمات قبلی را ولی این‌بار با منبع اصلی متصل شده در نظر می‌گیرند و عملاً لازم نیست تنظیمات هماهنگی رله‌ها تغییر نماید. در این حالت مقدار جریان اتصال کوتاه نمایش داده شده بر روی رله در حالت اتصال کوتاه با توجه به وجود منابع است. پس فقط کافیست و تنظیمات رله‌ها فقط یکبار و در حالتی که کلیه منابع به سیستم متصل است در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از این روش حتی اگر منبع جدیدی جهت شبکه در نظر گرفته شود به راحتی ورود و خروج آن را جهت تنظیم رله‌ها می‌توان شبیه‌سازی کرد. در این روش جهت تنظیمات لازم است زمان راه‌اندازی الکتروموتورهای بزرگ، در سرویس قرار گرفتن ترانسفورماتورها و ... در نظر گرفته شود. لازم به توضیح است که اگر لینک ارتباطی منبعی قطع شود و در این حال اتصال کوتاهی در شبکه رخ دهد در اینجا اگر از طرف آن منبع تزریقی به صورت جریان اتصال کوتاه انجام شود، باعث می‌شود که عملکرد آن منبع توسط رله دیده شود و در نتیجه جریان مجازی در نظر

۷-مراجع

- [1] W. Lin, X. Jin, H. Jia, Y. Mu, T. Xu, X. Yu, "Decentralized optimal scheduling for integrated community energy system via consensus-based alternating direction method of multipliers," *Applied Energy*, vol 302, No. 6, July 2021, pp. 117-129.
- [2] M. Roustaei and A. Kazemi, "Multi-objective stochastic operation of multi-microgrids constrained to system reliability and clean energy based on energy management system," *Electric Power Systems Research*, vol. 194, May 2021, pp. 106-120.
- [3] P. H. A. Barra, D. V. Coury, and R. A. S. Fernandes, "A survey on adaptive protection of microgrids and distribution systems with distributed generators." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 118, February 2020, pp. 109-124 .
- [4] S. C. Vegunta, et al. "AC Microgrid Protection System Design Challenges-A Practical Experience." *Energies* Vol 14, No. 7, 2016, pp. 1-23.
- [5] J. Sahebkar Farkhani, M. Zareein, A. Najafi, R. Melicio, and E. M. Rodrigues, "The power system and microgrid protection-A Review," *Applied Sciences*, vol. 10, No. 22, 2020, p. 8271.
- [6] P. T. Manditereza, R. Bansal, A. Najafi, R. Melicio, and E. M. Rodrigues, "Renewable distributed generation: The hidden challenges-A review from the protection perspective." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 58, May 2016, pp. 1457-1465.
- [7] H. Emanuel, J. Bromboch, R. Rosso, K. Pierros, "Requirements for control strategies of grid-connected converters in the future power system." *IET Renewable Power Generation* vol. 14, No. 8, May 2020, pp. 1288-1295.
- [۸] مهدی قاضی زاده احسائی، احسان خوب، مهرداد زندی دره غریبی "بکارگیری محدودساز جریان خطا برای کاهش زمان عملکرد رله ها" دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۷۱-۱۸۱.
- [۸] محمود لشگری، سید محمد شهرتاش، "حفاظت فوق سریع با سباز مبتنی بر تبدیل آنالین زمان-زمان" دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۳۵-۱۴۷.
- [۸] زهرا مروج، مجتبی قرجه لو، کاظم مظلومی "هماهنگی بهینه رله‌های دیستانس و اضافه جریان جهت با استفاده از الگوریتم ژنتیک" دوره ۱۵، شماره ۴۸، بهار ۱۳۹۶، صفحه ۲۰۱-۲۱۶.
- [11] S. A. Hosseini, H. A. Abyaneh, S. H. H. Sadeghi, F. Razavi, A. Nasiri, "An overview of microgrid protection methods and the factors involved. *Renew. Sustain. Energy Rev.* vol. 64, October 2016, pp 174–186.
- [12] V. Telukunta, J. Pradhan, A. Agrawal, M. Singh, S. G. Srivani, "Protection challenges under bulk penetration of renewable energy resources in power systems: A review." *CSEE J. Power Energy Syst.* Vol. 3(4), December 2017, pp. 365–379.
- [13] S. Katyara, L. Staszewski, Z. Leonowicz, "Protection Coordination of Properly Sized and Placed Distributed Generations—Methods, Applications and Future Scope." *Energies* vol. 11(10), October 2018 pp.26-72.
- [14] J. D. J. Jaramillo-Serna, J. M. López-Lezama, "Alternative Methodology to Calculate the Directional Characteristic Settings of Directional Overcurrent Relays in Transmission and Distribution Networks" *Energies* vol. 12(19), October 2019, pp. 37-79.
- [15] A. C. Z. de Souza, M. Castilla, "Microgrids Design and Implementation." Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.
- [16] M. Gomes, P. Coelho, C. Moreira, "Microgrid Protection Schemes. In *Microgrids Design and Implementation.*" Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019, pp. 311–336.
- [17] S. M. Saad, N. El-Naily, F. A. Mohamed, "A new constraint considering maximum PSM of industrial overcurrent relays to enhance the performance of the optimization techniques for microgrid protection schemes." *Sustain. Cities Soc* Vol 44, January 2019, pp.445-457.
- [18] N. El-Naily, S. M. Saad, T. Hussein, F.A. Mohamed, "A novel constraint and non-standard characteristics for optimal overcurrent relays coordination to enhance microgrid protection scheme." *IET Gener. Transm. Distrib.* Vol 13(6), January 2019, pp. 780–793.

- [19] H. H. Zeineldin, Y. A. R. I. Mohamed, V. Khadkikar, V. R. Pandi, "A protection coordination index for evaluating distributed generation impacts on protection for meshed distribution systems." *IEEE Trans. Smart Grid* Vol. 4(3), September 2013, pp.1523–1532.
- [20] J. Ehrenberger, J. Švec, "Directional Overcurrent Relays Coordination Problems in Distributed Generation Systems." *Energies* Vol. 10, September 2017, pp.41-52.
- [21] K. A. Saleh, H. H. Zeineldin, E. F. El-Saadany, "Optimal Protection Coordination for Microgrids Considering N – 1 Contingency." *IEEE Trans. Ind. Inf.* vol. 30, No. 2, 2015., pp.537 – 544.
- [22] H. R. Baghaee, M. Mirsalim, G. B. Gharehpetian, H. A. Talebi, "MOPSO/FDMT-based Pareto-optimal solution for coordination of overcurrent relays in interconnected networks and multi-DER microgrids." *IET Gener. Transm. Distrib.* Vol.12(12), July 2018, pp. 2871–2886.
- [23] M. N. "Alam, Adaptive protection coordination scheme using numerical directional overcurrent relays." *IEEE Trans. Ind. Inf.*, Vol. 15(1), May 2018, pp. 64–73.
- [24] H. Lin, K. Sun, Z. H. Tan, C. Liu, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, "Adaptive protection combined with machine learning for microgrids." *IET Gener. Transm. Distrib.* Vol. 13, 2019, pp. 770–779.
- [25] T. S. Ustun, C. Ozansoy, A. Zayegh, "Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420." *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 27(3), August 2012, pp. 1560–1567.
- [26] H. C. Kiliçkara pp.n, I. Sengör, H. Akdemir, B. Kekezoğlu, O. Erdiñç, N. G. Paterakis, "Power system protection with digital overcurrent relays: A review of non-standard characteristics." *Electr. Power Syst. Res.* Vol. 164, , November 2018, pp. 89–102.
- [27] B. Fani, H. Bisheh, I. Sadeghkhan, "Protection coordination scheme for distribution networks with high penetration of photovoltaic generators." *IET Gener. Transm. Distrib.* Vol. 12, 2017, pp. 1802–1814.
- [28] V. Telukunta, J. Pradhan, A. Agrawal, M. Singh, and S. G. Srivani, "Protection challenges under bulk penetration of renewable energy resources in power systems: A review," *CSEE journal of power and energy systems*, Vol. 3, No. 4, 2017 pp. 365-379.
- [29] M. R. Islam and H. A. Gabbar, "Analysis of Microgrid protection strategies," *International Conference on Smart Grid (SGE)*, 2012: IEEE, pp. 1-6.
- [30] S. Sarangi, B. K. Sahu, and P. K. Rout, "Review of distributed generator integrated AC microgrid protection: issues, strategies, and future trends," *International Journal of Energy Research*, Vol. 45(10) April. 2021, pp. 66-79.
- [31] S. A. Hosseini, H. A. Abyaneh, S. H. H. Sadeghi, F. Razavi, and A. Nasiri, "An overview of microgrid protection methods and the factors involved," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, 2016, pp.174-186.
- [32] P. Basak, S. Chowdhury, S. H. nee Dey, and S. Chowdhury, "A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 8, 2012, pp.174-186.
- [33] S. Voima and K. Kauhaniemi, "Technical Challenges of Smart-and Mi pp. crogrids," *Renewable Efficient Energy II Conference*, Vaasa, Finland, March 2012, pp. 21-22.
- [34] Z. Akhtar and M. A. Saqib, "Microgrids formed by renewable energy integration into power grids pose electrical protection challenges," *Renewable Energy*, vol. 99, July 2016 pp.148-157.
- [35] S. Lotfi-fard, J. Faiz, and R. Iravani, "Improved overcurrent protection using symmetrical components," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 22, No. 2, 2007, Pages 843-850.
- [36] J. Nunes and A. Bretas, "A impedance-based fault location technique for unbalanced distributed generation systems," *IEEE Trondheim PowerTech*, June 2011: IEEE, pp. 1-7.
- [37] A. Gururani, S. R. Mohanty, and J. C. Mohanta, "Microgrid protection using Hilbert–Huang transform based-differential scheme," *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 10, No. 15, 2016, pp.3707-3716.

- [38] L. Che, M. E. Khodayar, and M. Shahidehpour, "Adaptive Protection System for Microgrids: Protection practices of a functional microgrid system," *IEEE Electrification magazine*, Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 66-80.
- [39] M. H. Cintuglu, T. Ma, and O. A. Mohammed, "Protection of autonomous microgrids using agent-based distributed communication," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 32, No. 1, 2016, pp.351-360.
- [40] L. Luo, N. Tai, and G. Yang, "Wide-area protection research in the smart grid," *Energy Procedia*, Vol. 16, 2012, pp. 1601-1606.
- [41] P. Omid, S. Abazari, and S. M. Madani. "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays for Microgrids Using Hybrid Interval Linear Programming-Differential Evolution." *Journal of Operation and Automation in Power Engineering* " Vol. 10, No. 2, Aug. 2022, pp. 122-133.
- [42] P. P. Bedekar and S. R. Bhide, "Optimum coordination of directional overcurrent relays using the hybrid GA-NLP approach," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 26, No. 1, 2010. pp. 109-119
- [43] S. D. Saldarriaga-Zuluaga, J. M. López-Lezama, and N. Muñoz-Galeano, "Optimal coordination of overcurrent relays in microgrids considering a non-standard characteristic," *Energies*, Vol. 13, No. 4, 2020, pp.9-22.
- [44] H.F. Habib, C. R. Lashway, and O.A. Mohammed. "A review of communication failure impacts on adaptive microgrid protection schemes and the use of energy storage as a contingency." *IEEE Transactions on Industry Applications* 54.2 (2017): 1194-1207.