

یک روش هوشمند تشخیص جزیره در شبکه‌ی توزیع دارای تولیدات پراکنده مبتنی بر تبدیل موجک و نزدیک‌ترین K-همسایگی (KNN)

مهرداد حیدری ارجلو^۱، دانشجوی دکتری، سید قدرت‌اله سیف‌السادات^۲، دانشیار، مرتضی رزاز^۳، استادیار

۱، ۲ و ۳ - دانشکده مهندسی - دانشگاه شهید چمران - اهواز - ایران
 mehrdad266@yahoo.com^۱, seifossadat@yahoo.com^۲, razaz_m@scu.ac.ir^۳

چکیده: هدف این مقاله، ارائه روشی جدید برای تشخیص جزیره‌ی الکتریکی است که در شبکه‌های توزیع دارای DG اتفاق می‌افتد. این روش مبتنی بر مطالعه و تحلیل سیگنال‌های حالت گذرا است و با استفاده از تبدیل موجک گسسته (DWT^۱) و دسته‌بندی کننده‌ی نزدیک‌ترین K-همسایگی (KNN^۲) پیاده می‌شود. برای هر حادثه‌ی محتمل، با استفاده از DWT، خصوصیات مورد نیاز دسته‌بندی، از سیگنال‌های گذرای DG استخراج می‌شوند. دسته‌بندی کننده‌ی KNN بر اساس این خصوصیات آموزش داده می‌شود تا بتواند حوادث را به دو نوع «جزیره» یا «غیرجزیره» تقسیم کند. عملکرد الگوریتم پیشنهادی روی سیستم توزیع ولتاژ متوسط CIGRE آزمایش می‌شود. این سیستم دارای دو DG متفاوت از نوع سنکرون و آسنکرون است. با کمک نرم‌افزارهای DIGSILENT، MATLAB و WEKA، ۱۶۲ طرح مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد تا رله‌ی انتخابی از نظر شاخص‌های مختلف از جمله دقت، سرعت، سادگی و هزینه، بهینه باشد. رله‌ی بهینه‌ی انتخابی، با استفاده از سیگنال گذرای ولتاژ DG، موجک مادر db4 و سطح سوم تبدیل موجک کار می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش در مقایسه با روش‌های موجود می‌تواند جزیره‌های الکتریکی را با دقت بالاتر و در زمان کوتاه‌تری تشخیص دهد.

واژه‌های کلیدی: سیگنال گذرا، جزیره، نزدیک‌ترین K همسایگی، تبدیل موجک، تولیدات پراکنده و سیستم توزیع.

An Intelligent-based Islanding Detection Method Using K-Nearest Neighbors and Discrete Wavelet Transform

M. Heidari, G. Seifossadat, M. Razaz
 Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract: In this paper, a method for islanding detection based on analysis of transient state signals is provided. K-Nearest Neighbors (KNN) is trained for classifying the transient events. The required features for classifying are extracted through DWT of signals. The proposed method is then simulated on a medium voltage distribution system of CIGRE with two kinds of DGs using DIGSILENT, MATLAB and WEKA softwares. By analysis performed on type of input signal, type of mother wavelet and required transform level, among 162 relay designs, an optimum relay was selected for DGs based on accuracy, speed, simplicity and cost parameters. By evaluation, it was determined that using only one input (voltage) signal not only improves speed and simplicity and reduces costs, also makes accuracy of the proposed relay better than other intelligent and passive methods.

Keywords: Wavelet, Islanding, K-Nearest Neighbors, Distributed Generation, Distribution System and Transient.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۲/۲/۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: مهندس مهرداد حیدری ارجلو

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - اهواز - بلوار گلستان - دانشگاه شهید چمران - دانشکده مهندسی - گروه برق.

۱- مقدمه

با رشد مصرف انرژی الکتریکی و از طرفی افزایش نگرانی‌ها در رابطه با سوخت‌های فسیلی مورد نیاز نیروگاه‌ها، مدل جدیدی از تولید انرژی به نام تولید پراکنده (DG) از لحاظ فنی و اقتصادی در سطح جهان اهمیت پیدا کرده است. تولید پراکنده (DG)، تولید الکتریسته در مقیاس‌های کوچک در محل توزیع انرژی الکتریکی و متصل به سطوح ولتاژ متوسط و ضعیف می‌باشد. اساساً DGها به منابع غیرمتعارف شامل منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله فتوولتائیک (PV)، توربین بادی، پیل سوختی، برق آبی کوچک، ژنراتورهای جزر و مدی، میکروتوربین‌ها و سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) گفته می‌شوند. مزایای DGها شامل افزایش اطمینان مصرف‌کننده از تامین انرژی الکتریکی، آزادسازی بازار برق، کاهش آلودگی CO₂ به دلیل استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، افزایش قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری توان الکتریکی، افزایش ظرفیت آماده به کار، بهبود کیفیت توان، تولید هم‌زمان حرارت و الکتریسته، پشتیبانی شبکه و کاهش هزینه‌های اقتصادی می‌باشد. اتصال DGها، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی بهره‌برداری، کنترل، حفاظت و قابلیت اطمینان سیستم‌های موجود دارد. برای استفاده‌ی حداکثری از مزایای DGها، این مسائل باید قبل از مشارکت DGها در بازار برق رفع شوند. ناحیه‌ای که به شدت از حضور DGها تحت تاثیر قرار می‌گیرد حفاظت شبکه‌ی توزیع می‌باشد. آثار مختلف اتصال DGها بر روی حفاظت شبکه توزیع عبارتند از [۱]:

- خروج اشتباه فیدرها
- تریپ آزار دهنده‌ی تجهیزات حفاظتی
- کور شدن حفاظتی
- افزایش یا کاهش سطح اتصال کوتاه با اتصال یا جدا شدن DGها
- جزیره‌های ناخواسته (غیرعمدی)
- ممانعت از عملکرد وصل مجدد‌های خودکار
- انجام وصل مجدد بدون وجود سنکرونیزم

در حال حاضر، استانداردهای فنی موجود از جمله G83/1، G59/1، ETR-113/1، IEEE-1547، CEI 11-20 توصیه می‌کنند: در حالی که کلید قدرت فیدر متصل به DG تریپ نماید DGها باید از شبکه‌های توزیع ولتاژ متوسط یا ولتاژ کم به طور خودکار جدا شوند. این توصیه به عنوان ویژگی ضدجزیره‌ای در طرح حفاظت سیستم‌های توزیع شناخته می‌شود. اساساً حفاظت ضدجزیره‌ای برای حفظ ایمنی کارکنان و جلوگیری از هر گونه وصل مجدد در حالت عدم وجود سنکرونیزم استفاده می‌گردد.

DG به صورت متصل به شبکه هم‌چنین به صورت جزیره‌ای می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد. مطابق با استاندارد IEEE Std. 1547، جزیره به شرایطی گفته می‌شود که بخشی از سیستم قدرت از بقیه‌ی سیستم جدا شده و فقط از طریق DG برق‌دار بماند. یکی از نیازهای ضروری برای اتصال تولیدات پراکنده (DGها) به شبکه‌های توزیع، قابلیت سیستم حفاظتی در تشخیص جزیره است [۲].

جزیره‌ای شدن ممکن است به صورت عمدی به منظور انجام تعمیرات و حذف بار اتفاق بیفتد یا به صورت غیرعمدی به دلیل بروز خطاها و خرابی تجهیزات رخ دهد. وقوع جزیره‌های غیرعمدی امر پسندیده‌ای نیست و اگر اتفاق بیفتد به علت برخی خطرهای ضرورت دارد که DGها از شبکه جدا شوند. این خطرهای عبارت هستند از: تهدید کارگران، وصل مجدد بدون وجود سنکرونیزم، عدم توانایی جزیره در حفظ ولتاژ و فرکانس نامی و عدم وجود کیفیت توان قابل قبول. مطابق با استاندارد IEEE 1547.1 تولیدات پراکنده باید حداکثر تا دو ثانیه بعد از تشکیل جزیره‌ی غیرعمدی به منظور جلوگیری از خرابی احتمالی بارهای محلی و DGها متوقف شوند.

روش‌های فعلی ممکن است زمانی که توازن بسیاری بین تولید DGها و بار مصرفی جزیره وجود داشته باشد دچار اشتباه شوند و به دلیل عدم بروز اغتشاش در ولتاژ و یا فرکانس ناحیه‌ی جدا شده، تشخیص جزیره امکان‌پذیر نباشد در نتیجه یک ناحیه غیرقابل تشخیص (NDZ) به وجود می‌آید. NDZ می‌تواند به عنوان یک ناحیه کاری تعریف شود که نمی‌تواند تشخیص داده شود. NDZ یک روش تشخیص جزیره باید در کم‌ترین حد باشد. NDZ می‌تواند بر حسب مقادیر عدم توازن توان و یا مقادیر عناصر بار (R, L & C) نمایش داده شود.

این مقاله در هفت بخش سازماندهی شده است. روش‌های قبلی و پیشینه‌ی روش پیشنهادی در بخش دوم و سوم ارائه می‌گردد. جزئیات روش پیشنهادی و ابزار اصلی آن، شامل تبدیل موجک و نزدیک‌ترین K-همسایگی در بخش چهارم معرفی می‌گردد. بخش پنجم نیز به معرفی سیستم تحت مطالعه، شبیه‌سازی و تحلیل نتایج اختصاص دارد. در بخش ششم، نتایج الگوریتم پیشنهادی، با نتایج روش‌های موجود مقایسه و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سرانجام در بخش هفتم، نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۲- روش‌های تشخیص جزیره (سابقه‌ی پژوهش)

روش‌های تشخیص را می‌توان به صورت شکل (۱) به روش‌های محلی و از راه دور تقسیم‌بندی کرد. روش‌های محلی هم شامل دو نوع کلی فعال و غیرفعال می‌باشند. روش‌های از راه دور هم شامل مخابرات خط انتقال قدرت (PLC)، SCADA و انتقال-توقف هستند [۳].

۲-۱-۲ کنترل نظارتی و گردآوری اطلاعات (SCADA)

روش مبتنی بر SCADA، شامل یک واحد اصلی و تعدادی پایانه‌های از راه دور (RTU) توزیع شده و متصل به واحد اصلی از طریق کانال‌های مخابراتی متنوع می‌باشد. سرعت کنترل و گردآوری اطلاعات تحت تاثیر کانال مخابراتی می‌باشد.

۲-۱-۳ انتقال - قطع (TT)

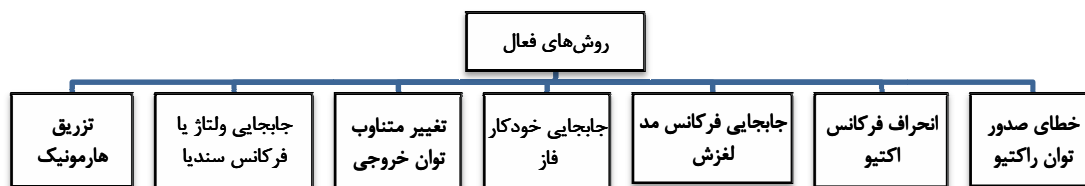
طرح‌های تشخیص TT، بر اساس پایش تمامی بریکرهایی است که DG را تبدیل به جزیره می‌کنند. هنگامی که یک کلید باز می‌شود سیستم TT نتیجه‌گیری می‌کند که ناحیه، جزیره‌ای شده است یا خیر. در صورت تشخیص وقوع جزیره، سیگنال مناسبی را به DG‌های مربوطه می‌فرستد تا تولید متوقف گردد. کانال TT باید مطمئن و غیرحساس به نویز باشد.

۲-۲ روش‌های محلی

روش‌های محلی بر اساس اطلاعات موجود در مکان DG می‌باشد و به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند.

۱-۲-۲ روش‌های فعال

روش‌های فعال در تعامل مستقیم با عملکرد سیستم قدرت می‌باشند و طوری طراحی می‌شوند تا DG را در حالت وقوع جزیره، ناپایدار کنند. مزیت اصلی روش‌های فعال نسبت به روش‌های غیرفعال، NDZ کم‌تر آن‌ها می‌باشد اما ممکن است کیفیت توان سیستم را تنزل دهند. همچنین برخی روش‌های فعال، نیازمند کنترلرهای اضافه‌ای هستند که پیچیدگی آن‌ها را افزایش می‌دهد. تقسیم‌بندی روش‌های فعال به صورت شکل (۲) نمایش داده می‌شوند.



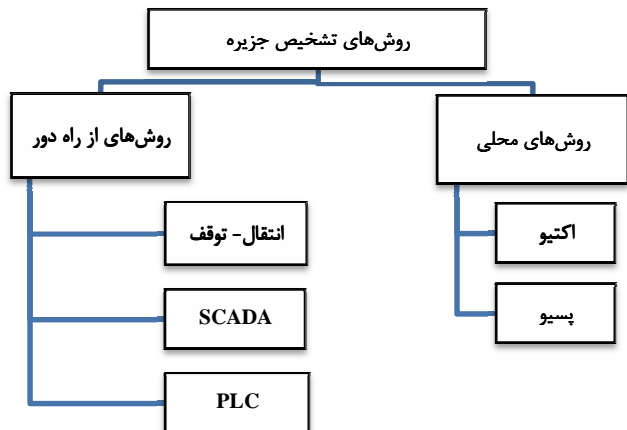
شکل ۲: تقسیم بندی روش‌های فعال تشخیص جزیره

۲-۱-۲-۲ خطای صدور توان راکتیو

در این روش، توان راکتیو به طور متناوب تغییر داده می‌شود. این تغییر، باعث جابجایی فاز بین جریان و ولتاژ خروجی می‌شود که فرکانس ولتاژ بار را در شرایط جزیره‌ای افزایش یا کاهش می‌دهد بنابراین رله‌های افزایش یا کاهش فرکانس باعث توقف DG می‌گردند.

۲-۱-۲-۳ انتقال فرکانس یا ولتاژ سندیا (SFS یا SVS)

روش SFS بر اساس وارد کردن یک قطعه جریان صفر در هر نیم سیکل می‌باشد. یک فیدبک مثبت برای افزایش شاخص Chopping



شکل (۱): تقسیم‌بندی روش‌های تشخیص جزیره

۱-۲ روش‌های از راه دور

روش‌های از راه دور [۴] بر اساس مخابرات بین DG و شبکه می‌باشد. این روش‌ها قابلیت اطمینان بهتری نسبت به روش‌های محلی دارند اما گران‌تر می‌باشند.

۱-۱-۲ مخابرات خط انتقال قدرت (PLC)

در روش مبتنی بر PLC، یک سیگنال به طور پیوسته از شبکه به سمت DG از طریق خط انتقال قدرت ارسال می‌گردد. با بررسی پیوستگی سیگنال، جزیره تشخیص داده می‌شود. این روش برای ژنراتور سنکرون می‌تواند استفاده شود. روش PLC شامل یک مولد سیگنال متصل به شبکه و یک تشخیص‌دهنده سیگنال در DG می‌باشد.

۱-۱-۲-۲ انحراف فرکانس اکتیو (AFD)

در روش AFD، سیگنال جریان DG اینورتری را در بخش گذر از صفر دچار اندکی اغتشاش می‌کنند. پس از جدا شدن از شبکه، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان DG اینورتری، وابسته به بار می‌باشد. در جهت حذف اختلاف فاز، فرکانس به سمت بالا و پایین منحرف می‌شود تا اینکه رله‌های افزایش یا کاهش فرکانس، DG را متوقف می‌کنند.

دیگری [۴] کمبود ولتاژ (Sag) را تشخیص و بر اساس مقایسه با یک آستانه، وقوع جزیره را اعلام می‌کند.

استفاده می‌شود. در SVS به جای فرکانس یک تغییر به اندازه‌ی ولتاژ PCC اعمال می‌گردد.

۲-۲-۲ روش‌های غیرفعال

۲-۲-۲-۲ نرخ تغییر فرکانس (ROCOF) و مقایسه آن (COROCOF)

به دلیل انفصال از شبکه، در حالت جزیره‌ای یک نابرابری توان بین تولید و مصرف جزیره به وجود می‌آید. اگر این نابرابری، کوچک باشد فرکانس به آهستگی تغییر می‌کند. ROCOF می‌تواند روند تشخیص جزیره را بهبود دهد. COROCOF، فرکانس DG را با فرکانس شبکه مقایسه می‌کند.

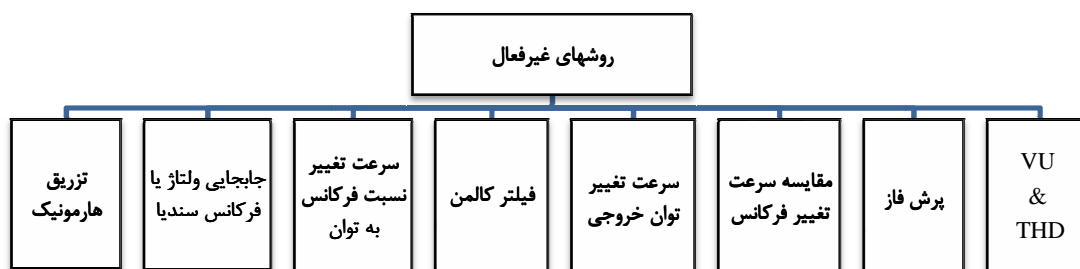
روش‌های غیرفعال بر اساس اندازه‌گیری متغیرهای سیستم و مقایسه‌ی آن با یک آستانه‌ی از پیش تنظیم شده می‌باشد. مشکل اصلی هنگام طراحی یک روش تشخیص جزیره‌ی غیرفعال در رابطه با انتخاب یک روش اندازه‌گیری مناسب و تنظیم مقدار آستانه می‌باشد. روش‌های غیرفعال با وجود سهولت اجرایی، در مقایسه با روش‌های فعال دارای NDZ بزرگ‌تری می‌باشند. روش‌های پس‌یو در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

۲-۲-۲-۳ نامتعادلی ولتاژ (VU) اغتشاش هارمونیک کل (THD)

برای تشخیص جزیره، مقادیر نامتعادلی ولتاژ (VU) در PCC و THD در جریان خروجی DG با آستانه‌های متناظر، برای تشخیص جزیره مقایسه می‌شوند. ایراد این روش آن است که کلیدزنی بارهای مصرفی نیز می‌تواند باعث تغییر VU و THD و در نهایت توقف اشتباهی DG در حالت متصل به شبکه گردد.

۲-۲-۲-۱ افزایش یا کاهش ولتاژ یا فرکانس (OV/UV یا OF/UF)

این روش بر اساس تغییر ولتاژ یا فرکانس رخ داده در جزیره می‌باشد. عیب آن این است که هنگام برابری تولید DG و بار مصرفی در جزیره، تغییر ولتاژ و فرکانس بسیار کوچک خواهد بود. الگوریتم



شکل (۳): تقسیم‌بندی روش‌های غیرفعال تشخیص جزیره

ارزیابی کلی روش‌های تشخیص جزیره در جدول (۱) و ویژگی‌های مهم آن‌ها در جدول (۲) ارائه می‌گردد.

جدول (۱): ارزیابی کلی روش‌های تشخیص جزیره

تاثیر بر کیفیت توان؟	مناسب برای DG سنکرون؟	مناسب برای DG اینورتری؟	وضعیت NDZ؟	نوع
بله	بله	بله	ندارند	روش‌های کنترل از راه دور
بله	خیر	بله	کوچک	فعال
خیر	بله	بله	بزرگ	غیرفعال

اگر چه تاکنون تعداد زیادی روش تشخیص جزیره ارائه شده است اما متأسفانه روشی وجود ندارد که با NDZ صفر دارای حداقل کاهش کیفیت توان در تمامی سناریوهای ممکن باشد. به همین دلیل، تاکنون توافق کاملی بر روی یک روش تشخیص جزیره حاصل نشده است و تحقیق در این زمینه ادامه دارد.

۳- پیشینه روش پیشنهادی (روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی)

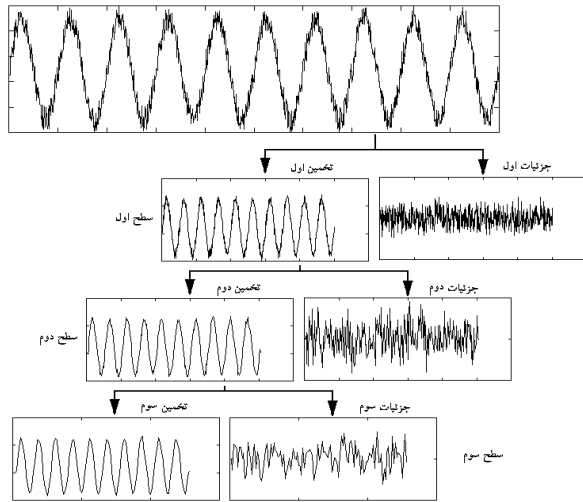
اخیراً روش‌های هوشمند بر پایه دسته‌بندی و الگوشناسی برای تشخیص جزیره در نشریات مطرح شده است. یک روش هوشمند در [۷] ارائه شده است که دسته‌بندی‌کننده DT^3 را همراه با مجموعه پیچیده‌ای از یازده ویژگی شامل اعوجاج هارمونیک کل جریان و ولتاژ، گرادیان حاصل ضرب ولتاژ و ضریب توان و ... به کار می‌برد. حداکثر دقت آن در تشخیص جزیره، $83/33$ درصد است. یک روش تشخیص جزیره‌ی ترکیبی بر اساس تبدیل موجک در [۸] بررسی شده است اما مختص سیستم‌های DG فتوولتائیک (PV) تک‌فاز است. هم‌چنین یک روش بر پایه‌ی تبدیل موجک و دسته‌بندی‌کننده DT در [۹] ارائه شده که توانست با استفاده از سطح چهارم تبدیل موجک گسسته‌ی هر دو سیگنال ولتاژ و جریان به دقت $96/43$ درصد دست یابد.

در [۱۰، ۱۱] ضریب معینی از تبدیل موجک ولتاژ، جریان یا فرکانس، با یک آستانه مقایسه می‌شود. اگر این ضریب برای مدت زمان معینی بالاتر از این آستانه از پیش تنظیم‌شده قرار گرفت آن حادثه، جزیره قلمداد می‌شود. مقادیر آستانه، با سعی و خطا و بر اساس تجربه مهندسان بدست می‌آید [۱۱] که همواره به دلیل عدم امکان تنظیم دقیق آستانه، احتمال عملکرد اشتباه وجود دارد. برخی مقالات [۹، ۱۲] بدون هیچ دلیل یا اثباتی، سیگنال خاصی (ولتاژ یا جریان و یا هر دو) یا موجک مادر معینی یا سطح مشخصی از تبدیل موجک را استفاده کرده‌اند. مقاله [۹] نتایج [۱۲] را اساس کار خود قرار داده است. در [۱۲]، یک سیستم ساده شامل دو ژنراتور و یک خط انتقال در نظر گرفته شده و با بررسی تنها حادثه اتصال کوتاه از بین حوادث گذرا، یک موجک مادر مشخص و سطح معینی از تبدیل موجک پیشنهاد شده است. در حالی که سیستم توزیع واقعی، پیچیده‌تر و حوادث گذرای آن نیز متنوع‌تر است. در نتیجه ضرورت دارد موجک مادر و سطح DWT با دقت و ارزیابی بیشتر انتخاب گردد. در برخی مقالات دیگر [۱۲-۱۳]، ارزیابی جامعی روی الگوریتم پیشنهادی انجام نداده‌اند و حالت‌های کمی از سناریوهای ممکن بر روی آن‌ها آزمایش شده است.

در [۱۴] روشی با دقت $97/8$ اما با استفاده از هر دو سیگنال ولتاژ و جریان و دسته‌بندی‌کننده شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) ارائه شده است اما در مقاله فعلی، تلاش شده است از طریق بررسی و تحلیل جامع یک سیستم توزیع واقعی، یک الگوریتم بهینه با دقت بالاتر (NDZ کوچک‌تر)، محاسبات کم‌تر (تعداد سیگنال و سطح تبدیل موجک کم‌تر)، سرعت بالاتر، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر نسبت به روش‌های قبلی ارائه شود. جهت تشخیص جزیره، سیگنال گذرای تولیدی حین وقوع جزیره استفاده می‌شود. این مقاله به جای استفاده از هر دو سیگنال ولتاژ و جریان یا استفاده از مجموعه‌ی پیچیده‌ای از شاخص‌ها یا وابستگی روش به مقادیر آستانه (تنظیم شده با سعی و خطا) با اثبات تنها از سیگنال گذرای ولتاژ استفاده می‌کند. این روش از DWT برای

جدول (۲): خصوصیات مهم روش‌های تشخیص جزیره

نوع روش	نام روش	مفهوم	عیب
روش‌های از راه دور	PLC	مخابرات از طریق خط انتقال	پیچیده
	SCADA	جمع‌آوری اطلاعات	گران
	TT	رله‌گذاری TT	پیچیده
روش‌های فعال	امپدانس	تشخیص از روی تغییر امپدانس شبکه	انفصال اشتباه
	تغییر متناوب توان خروجی	تغییر متناوب توان خروجی	غیر عملی
	APS	اعمال انتقال فاز به جریان	اغتشاش جریان
	AFD	اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ	
	SMFS	اختلاف فاز متغیر بین ولتاژ و جریان	
	خطای صدور توان راکتیو	تغییر متناوب در توان راکتیو	تغییر توان
	SFS	اعمال قطعه جریان صفر در هر نیم-سیکل	اغتشاش جریان
	SVS	اعمال قطعه ولتاژ صفر در هر نیم-سیکل	اغتشاش ولتاژ
	اضافه‌کردن جریان هارمونیک	اعمال جریان هارمونیک	اغتشاش جریان
	روش‌های غیرفعال	UV/OV	تغییرات ولتاژ
UF/OF		تغییرات فرکانس	
نرخ تغییر توان اکتیو		تغییرات توان اکتیو	
ROCOF		تغییرات فرکانس	
تغییر ولتاژ و ضریب توان		تغییرات ولتاژ و ضریب توان	
COROCOF		مقایسه ROCOF شبکه و DG	
تشخیص پرش فاز		تغییرات فاز ولتاژ	
VSR		تغییرات بردار ولتاژ	
شبکه‌ی عصبی		شبکه‌ی عصبی	
فیلتر کالمن		نابرابری انرژی برای هارمونیک‌ها	
نرخ تغییر فرکانس نسبت به توان	تغییرات هردو پارامتر فرکانس و توان		
VU/THD	پایش THD جریان و نامتعادلی ولتاژ	خوشه‌ای	



شکل (۵): تجزیه‌ی یک موج در سه سطح تبدیل موجک

۴-۲ نزدیک‌ترین K- همسایگی (KNN)

دسته‌بندی‌کننده‌ی این پژوهش، نزدیک‌ترین K- همسایگی (KNN) [۱۶] است. در این روش در مرحله‌ی آموزش، همه‌ی نمونه‌ها در فضای هندسی به صورت بردارهای چندبعدی هستند. این فضا به برچسب‌های دسته و موقعیت این نقاط تفکیک می‌شود. معمولاً فاصله‌ی اقلیدسی نمونه‌ی جدید تا همه‌ی نمونه‌های آموزشی، معیار مناسبی برای تعیین دسته‌ی نمونه‌ی جدید و ناشناخته است. اگر نمونه جدید (x_i) دارای p ویژگی باشد و n تعداد کل نمونه‌های آموزشی موجود باشد فاصله‌ی اقلیدسی نمونه‌ی x_i از x_l از طریق رابطه (۵) و (۶) زیر محاسبه می‌شود.

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \quad (5)$$

$$d(x_i, x_l) = \sqrt{(x_{i1} - x_{l1})^2 + (x_{i2} - x_{l2})^2 + \dots + (x_{ip} - x_{lp})^2} \quad (6)$$

$l=1, 2, \dots, n$

برای تعیین دسته‌ی یک نمونه جدید، فاصله اقلیدسی بین آن و همه نمونه‌های ذخیره شده در حافظه، محاسبه و k نمونه با کوچک‌ترین فاصله انتخاب می‌شوند. از این k نمونه، برچسب دسته‌ی اکثریت، به عنوان برچسب دسته‌ی نمونه‌ی ناشناخته در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در شکل (۶)، دو کلاس مثلث و مربع و یک نمونه‌ی ناشناخته (به شکل دایره) وجود دارد. اگر $k=3$ باشد سه نمونه با کم‌ترین فاصله تا دایره انتخاب می‌گردد. همان طور که مشاهده می‌شود کلاس اکثریت آن‌ها مثلث است که به عنوان دسته‌ی نمونه‌ی ناشناخته (یعنی دایره) در نظر گرفته می‌شود.

در این مقاله، مقدار k برابر ۳ و معیار اندازه‌گیری فاصله، اقلیدسی در نظر گرفته شد و برای جستجوی k مقدار حداقل، روش جستجوی خطی مورد استفاده قرار گرفت.

استخراج ویژگی‌ها و از KNN برای دسته‌بندی رخدادها گذرا استفاده می‌نماید.

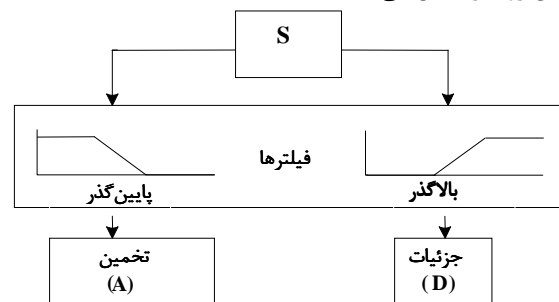
۴- روش پیشنهادی

۴-۱ تبدیل موجک

تبدیل موجک وسیله‌ای برای آنالیز حالات گذرا، سیگنال‌های غیرمادگار^۴ و یا متغیر با زمان است. در این تبدیل، یک سیگنال را با استفاده از مقیاس^۵ و سپس انتقال^۶ توابع موجک مادر در طول آن بسط می‌دهند. مقیاس تابع، به معنای فشرده‌کردن^۷ و یا کش‌دادن^۸ آن و انتقال تابع، به تاخیر انداختن یا به جلو انداختن آن است.

تمام ضرایبی که از انتقال یکی از مقیاس‌های موجک مادر در طول سیگنال بدست می‌آیند ضرایب آن سطح نامیده می‌شوند. ضرایب سطوح بعدی با تغییر مقیاس موجک مادر و انتقال مجدد آن در طول سیگنال به دست می‌آیند. بنابراین مقادیر ضرایب تبدیل موجک یک سیگنال، تابعی از مقیاس و زمان هستند.

تبدیل موجک گسسته برای تقسیم هر مجموعه داده‌ی گسسته به دو دسته است. دسته اول جزئیات نام دارد که شامل فرکانس‌های بالا است و از عبور دادن اطلاعات از یک فیلتر بالاگذر به دست می‌آیند. دسته دوم تخمین (تقریب) نام دارد و شامل فرکانس‌های پائین است که با عبور دادن اطلاعات از یک فیلتر پائین‌گذر به دست می‌آیند. شکل (۴) این روند را نشان می‌دهد.



شکل (۴): روند تجزیه‌ی یک سیگنال در تبدیل موجک

تعداد سطوح تجزیه، به نوعی نشان‌دهنده‌ی فرکانس‌هایی است که از سیگنال استخراج می‌شوند. در شکل ۵، سیگنالی در سه سطح تجزیه شده است. این تجزیه با استفاده از ضرایب تبدیل موجک db4 صورت گرفته است.

هدف استخراج ویژگی، تعیین مشخصات یکتایی از شکل موج‌های ولتاژ و جریان است تا در تشخیص وضعیت جزیره‌ای از سایر وضعیت‌ها استفاده شود. ویژگی‌ها، به یک مدل KNN آموزش یافته تغذیه می‌شود که اگر مدل به خوبی آموزش دیده باشد توانایی تشخیص حوادث جزیره‌ای را از سایر حوادث مانند کلیدزنی یا خطاهای گذرا دارد. در روش پیشنهادی، انرژی ضرایب جزئیات تبدیل موجک سیگنال‌های ولتاژ و جریان به عنوان بردار ویژگی به دسته‌بندی‌کننده KNN اعمال می‌گردد. انرژی یکی از سطوح، مطابق رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$E_{m,v_a} = \left[\sum_k d_{m,k}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

E_{m,v_a} انرژی سطح m تبدیل موجک شکل موج ولتاژ فاز a و (v_a) ضریب $d_{m,k}$ سطح m است.

یکی از مناسب‌ترین خانواده‌های موجک مادر در تحلیل حالات گذرا که در [۱۲-۱۳] نیز توصیه شده خانواده Daubechies است. در این مقاله، برای دستیابی به یک رله با حداکثر دقت و سرعت، چند موجک مادر پرکاربرد از خانواده Daubechies از جمله db4، db7 و db10 ارزیابی شده است. اصولاً به علت مشابهت موجک‌های مادر، می‌توان db1 را نماینده db1 تا db3، db4 را نماینده db4 تا db6 و db7 را نماینده db7 تا db10 در نظر گرفت. هم‌چنین سیگنال‌ها در هر موجک مادر تا ۹ سطح تجزیه شده‌اند تا سطح موجک با هدف دستیابی به بهترین کارایی رله انتخاب شود. فرکانس نمونه‌برداری 10kHz است.

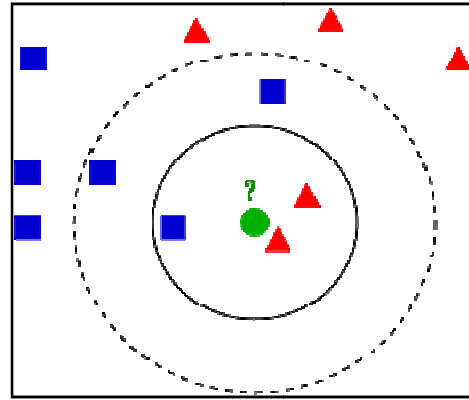
برای رسیدن به رله‌ی بهینه از لحاظ دقت، سرعت، هزینه و سادگی، علاوه بر بررسی نوع موجک مادر و سطح تبدیل مناسب، طرح‌های پیشنهادی از دیدگاه نوع سیگنال‌های ورودی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ورودی رله با حالت‌های فقط سیگنال ولتاژ، فقط سیگنال جریان و با هر دو سیگنال مورد بررسی قرار گرفتند که به ترتیب با V، I و VI نمایش داده می‌شوند.

در این مقاله، از نرم‌افزار DIgSILENT به منظور شبیه‌سازی و ثبت شکل موج‌های ولتاژ و جریان DGها و از نرم‌افزار MATLAB جهت محاسبه ضرایب تبدیل موجک و انرژی مربوطه به عنوان ویژگی حوادث استفاده می‌شود. سرانجام با استفاده از نرم‌افزار WEKA^۹ روی ویژگی‌های حوادث گوناگون، نزدیک‌ترین K- همسایگی اعمال و دقت الگوریتم پیشنهادی محاسبه شده است. امروزه WEKA به عنوان نقطه‌ی تحولی در سیستم‌های داده‌کاوی^{۱۰} و یادگیری ماشین^{۱۱} در حوزه‌های علمی و تجاری شناخته شده است [۱۷].

۵- شبیه‌سازی روش پیشنهادی

۵-۱- معرفی سیستم و حالات تحت مطالعه

شبکه‌ی تحت مطالعه، سیستم توزیع ولتاژ متوسط CIGRE [۱۸] است که از شبکه توزیع ولتاژ متوسط آلمان از طرف انجمن CIGRE برای انجام مطالعات جامع به منظور آگاهی از رفتار سیستم‌های دارای DG استخراج و معرفی شده است که در شکل ۸ نمایش داده می‌شود.

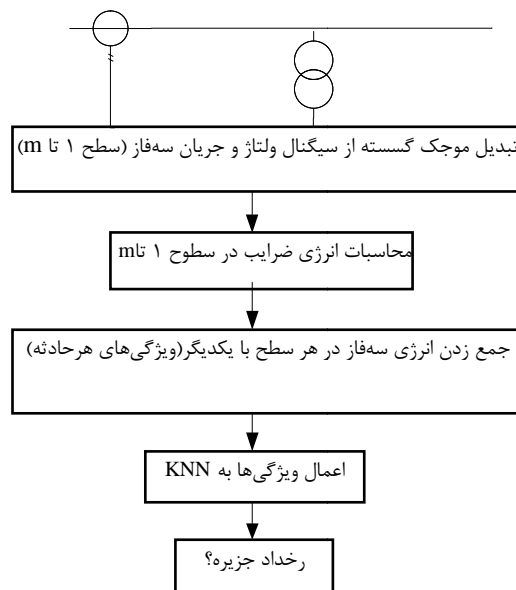


شکل (۶): روش تعیین کلاس نمونه ناشناخته دایره

۴-۳ الگوریتم پیشنهادی

نمودار شماتیک روش تحقیق به منظور دستیابی به الگوریتم پیشنهادی شامل استخراج ویژگی‌ها و اعمال به دسته‌بندی‌کننده KNN تا سطح m (حداکثر نهم) سیگنال ولتاژ فاز a ، در شکل (۷) نمایش داده شده است. البته در الگوریتم نهایی فقط نیاز به سه سطح اول تبدیل موجک و فقط سیگنال ولتاژ DG می‌باشد.

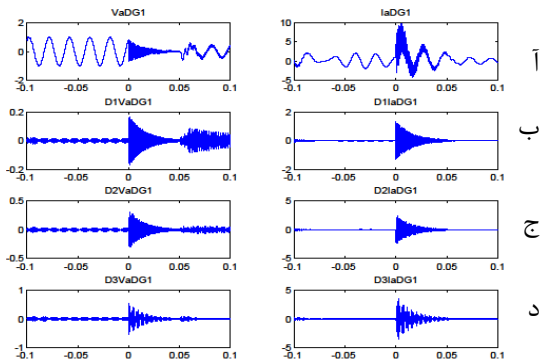
همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد برای استخراج بردار ویژگی‌های مورد نیاز دسته‌بندی از تبدیل موجک گسسته‌ی سیگنال‌های گذرای ولتاژ و جریان، استفاده می‌شود. در این شکل جهت جلوگیری از پیچیده شدن شکل، فقط تبدیل موجک ولتاژ و جریان تک فاز DG نمایش داده می‌شود و در صورت نیاز، شکل مشابهی نیز برای ولتاژ و جریان دو فاز دیگر نیاز می‌باشد. پس از انجام تبدیل موجک هر فاز در سطوح ۱ تا m ، در هر سطح، انرژی ضرایب مربوطه‌ی هر فاز با دو فاز دیگر جمع می‌شود. در واقع در تبدیل m سطحی تبدیل موجک (در مجموع $2m$ ویژگی شامل m ویژگی از ولتاژ سه فاز DG و در صورت نیاز به جریان، m ویژگی نیز از جریان سه فاز DG) استخراج می‌شود.



شکل (۷): نمایی کلی از روند دستیابی به الگوریتم پیشنهادی

۵-۲ نتایج شبیه‌سازی

شکل ۹-الف، ولتاژها و جریان فازهای مختلف DG1 و شکل‌های (۹-ب تا ۹-د) به ترتیب ضرایب موجک سطوح اول تا سوم مربوط به یک حادثه‌ی غیرجزیره‌ای از میان انواع نمونه‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۹: (الف) شکل موج ولتاژ و جریان DG1، (ب، ج تا د) تبدیل موجک سطوح اول تا سوم آن‌ها

این شکل مربوط به حادثه اتصال سه فاز در لحظه‌ی صفر در باس شماره ۱۱ است. در تمامی حوادث شبیه‌سازی شده، شکل موج‌هایی مشابه شکل (۹) البته تا سطح نهم تبدیل موجک برای DG1 و DG2 ثبت و استفاده می‌شود.

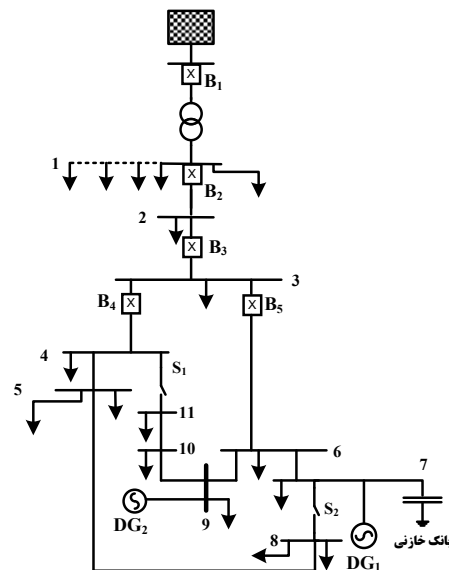
جدول (۳) دقت طرح‌های مختلف تشخیص جزیره حاصل از الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. ستون اول، DG مربوطه، ستون دوم نوع موجک مادر و ستون سوم، نوع ورودی رله را نشان می‌دهد. ستون‌های چهارم تا دوازدهم نیز دقت رله در سطوح اول تا نهم تبدیل موجک را بیان می‌کنند.

سطح ولتاژ نامی شبکه، ۲۰ کیلوولت است که از طریق یک ترانسفورماتور از شبکه ۱۱۰ کیلوولت تغذیه می‌شود. این سیستم توزیع دارای دو DG است؛ یکی با ژنراتور القایی (DG1) با ظرفیت MVA ۱/۵ متصل به باس شماره ۷ همراه با جبران‌کننده خازنی با ظرفیت ۰/۴۸MVAR و دیگری ژنراتور سنکرون (DG2) با ظرفیت ۱ MW و ۱۰۰kVAR متصل به باس ۹ است.

در این مقاله، اطلاعات در چهار ساختار مختلف به وسیله باز و بسته کردن کلیدهای S1 و S2 جمع‌آوری می‌شود. علاوه بر آن در هر ساختار، دو حالت شامل تعادل توانی و عدم تعادل توانی در نظر گرفته شده است که در مجموع ۸ حالت ایجاد می‌شود. یکی از مشکل‌ترین حالت‌ها در تشخیص جزیره، تعادل توانی (پخش بار صفر از سمت جزیره به سمت شبکه و بالعکس) است. هدف این مقاله، ارائه یک روش تشخیص جزیره است که بتواند تحت شرایط پخش توان صفر و دیگر شرایط کاری به خوبی عمل کند. زمان وقوع پدیده‌ی جزیره‌ای در حالت تعادل توانی، نوسان کمیت‌های الکتریکی مخصوصاً فرکانس و ولتاژ، بسیار کم است و موجب حذف بخشی از ویژگی‌های سیگنال می‌شود که ممکن است تشخیص پدیده‌ی مذکور را با مشکل مواجه سازد.

حوادث به دو دسته به نام‌های «غیرجزیره‌ای» و «جزیره‌ای» تقسیم می‌شوند. در هر کدام از ۸ حالت شبکه، حوادث گوناگونی، شبیه‌سازی شده است. حوادث غیرجزیره‌ای، عبارتند از: (۱) بهره‌برداری عادی، (۲) چهار نوع خطای گذرا شامل سه فاز، دو فاز، دو فاز به زمین و تک‌فاز به زمین در تمامی (۱۱ باسبار، ۳ کلیدزنی تمامی بارها، ۴ کلیدزنی DGها، ۵ کلیدزنی خازن).

حوادث جزیره‌ای نیز شامل موارد زیر است: (۱) باز شدن بریکرهای B2 و B3 بعد از وقوع هر کدام از ۴ نوع خطا روی باس ۲، (۲) باز شدن بریکر B3، B4 و B5 بعد از وقوع هر کدام از ۴ نوع خطا روی باس ۳، (۳) باز شدن بریکرهای B4 و B5، (۴) باز شدن بریکر B3، B4 و B5، (۵) باز شدن بریکر B1، (۶) باز شدن بریکر B2، (۷) باز شدن بریکر B3.



شکل ۸: سیستم توزیع ولتاژ متوسط

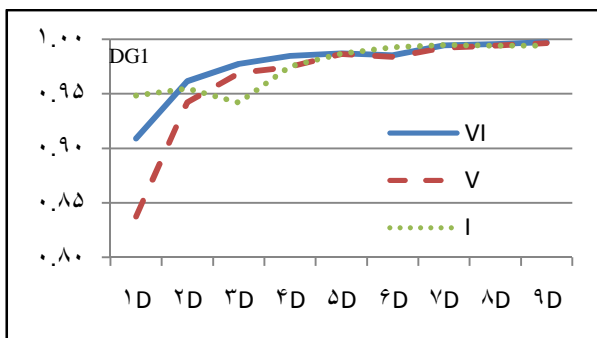
جدول (۳): دقت رله‌های تحت مطالعه

DG	موجک مادر	ورودی رله	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
DG1	db1	VI	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
		V	0.90	0.96	0.97	0.97	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00
		I	0.96	0.97	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
	db4	VI	0.89	0.96	0.98	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
		V	0.80	0.95	0.97	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
		I	0.95	0.94	0.94	0.97	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99
	db7	VI	0.88	0.95	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	1.00
		V	0.82	0.92	0.97	0.98	1.00	0.97	0.99	0.99	1.00
		I	0.94	0.95	0.93	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
DG2	db1	VI	0.88	0.94	0.96	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
		V	0.87	0.94	0.96	0.96	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
		I	0.83	0.86	0.90	0.90	0.92	0.94	0.98	0.98	0.98
	db4	VI	0.92	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
		V	0.72	0.92	0.97	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
		I	0.81	0.92	0.95	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	db7	VI	0.92	0.98	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
		V	0.81	0.91	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
		I	0.85	0.90	0.95	0.94	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00

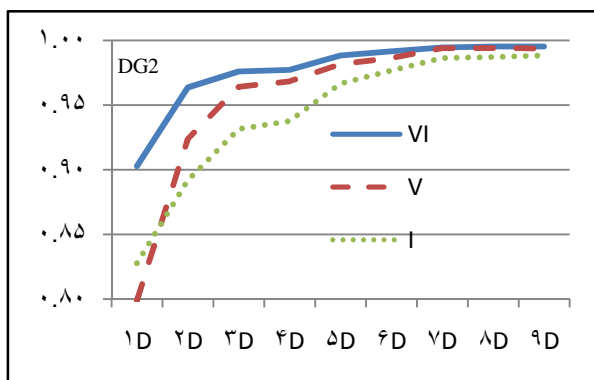
۳-۵ بررسی رله‌ها از دیدگاه سیگنال‌های ورودی

در مرحله اول، برای دستیابی به رله‌ی بهینه، رله‌ها از نظر سیگنال‌های ورودی بررسی می‌شوند تا بدین‌وسیله مشخص شود کدام سیگنال در تشخیص جزیره موثرتر است. بدین منظور نتایج جدول (۳) به طور جداگانه برای DG1 و DG2، به سه دسته‌ی (V)، (I)، و (VI) تقسیم می‌شوند. متوسط دقت هر دسته در سطوح یک تا نه در شکل (۱۰) رسم شده است.

برای DG1 رله‌های نوع V (شکل ۱۰-الف) و برای DG2 رله‌های نوع I (شکل ۱۰-ب) کم‌ترین متوسط دقت را نسبت به دو نوع دیگر دارند. در واقع طرح‌های I و V مربوط به هر دو DG، هر کدام با متوسط دقت ۹۶ درصد نسبت به نوع VI با متوسط دقت ۹۸ درصد، توانایی کم‌تری در شناسایی حوادث جزیره‌ای از غیرجزیره‌ای دارند. اما با وجود بالاتر بودن دقت طرح‌های VI، در شرایط نزدیک به هم، به منظور کاهش هزینه‌های محاسباتی و افزایش سرعت تصمیم‌گیری و ساده‌تر شدن رله، استفاده از رله‌های V و I به‌دلیل کاهش سیگنال ورودی ترجیح داده می‌شود. با توجه به تساوی متوسط دقت در مجموع دو DG برای طرح‌های V و I، یکی از آنها را کنار گذاشته و فقط طرح V به‌همراه طرح VI را در روند دستیابی به رله‌ی بهینه در نظر می‌گیریم.



(الف)



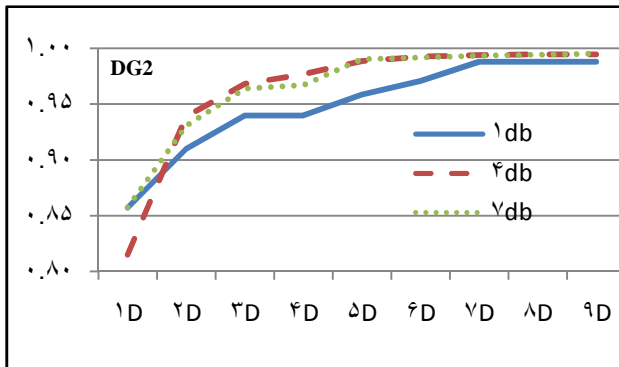
(ب)

شکل (۱۰): متوسط دقت رله‌ها بر اساس سیگنال ورودی، الف) DG1،

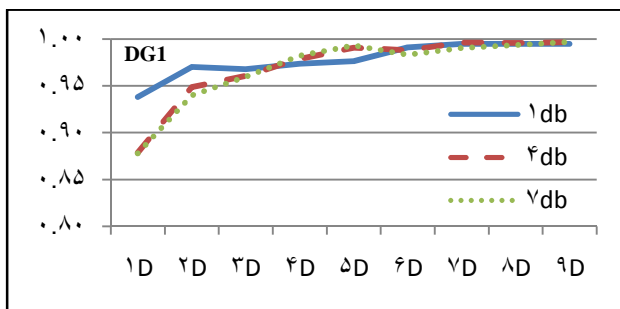
ب) DG2

۴-۵ بررسی رله‌ها از نظر موجک مادر

با تقسیم اطلاعات جدول ۳ به سه دسته بر حسب سه موجک مادر db1، db4، db7 و نمایش آن در شکل (۱۱-الف) در می‌یابیم که برای دقت طرح‌ها با هر سه نوع موجک مادر، تقریباً مشابه می‌باشند اما شکل (۱۱-ب) نشان می‌دهد که برای DG2، دقت db1 از دو نوع دیگر کم‌تر می‌باشد و db1 برای هر دو DG با متوسط دقت ۹۶ درصد از دو نوع دیگر به میزان یک درصد کمتر می‌باشد. موجک‌های مادر db4 و db7 در دسته‌بندی سیگنال‌های گذرا و تشخیص حالت جزیره‌ای شدن، قدرت تقریباً یکسانی دارند اما در شرایط یکسان، db4 به دلیل محاسبات کمتر ترجیح داده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل (۱۱): متوسط دقت رله‌ها بر اساس نوع موجک مادر، الف) DG1، ب) DG2

با توجه به نتایج شبیه‌سازی و تحلیل‌ها و بررسی‌های انجام شده، فلوجارت الگوریتم رله پیشنهادی در شکل (۱۲) نمایش داده می‌شود.

۵-۵ انتخاب رله‌ی بهینه برای DGها

برای دستیابی به رله‌ی بهینه و با توجه به شکل‌های (۱۰) و (۱۱)، طرح‌های نوع I و db1 و db7 از گردونه‌ی بررسی و انتخاب نهایی حذف می‌شوند. از بین طرح‌های با موجک مادر db4، طرحی که با کم‌ترین سطح DWT (برای دستیابی به کم‌ترین محاسبات و حداکثر سرعت در رله)، دارای دقت ۹۷ درصد و بالاتر است، سطح سوم می‌باشد. بنابراین طرحی که در هر دو DG دارای دقت بالای ۹۷ درصد و بالاتر است عبارتند از: VI-db4-D3 دارای دقت ۹۸ درصد و V-db4-D3 دارای دقت ۹۷ درصد. البته طرح‌هایی با دقت بالاتر هم وجود دارند اما برای آن طرح، دقت بالا در هر دو DG ثبت نشده است. در دقت‌های نزدیک به هم، از بین طرح‌های V، VI و I، رله‌های تک ورودی به دلیل سادگی، هزینه‌ی کم‌تر و کاهش محاسبات، ترجیح داده می‌شوند. بنابراین طرح انتخابی عبارت است از: V-db4-D3. جزئیات نتایج این طرح در جدول (۴) شامل تعداد کل و تعداد تشخیص صحیح و ناصحیح و خطاهای مختلف محاسبه شده و TP Rate و FP Rate (به ترتیب نرخ متوسط پیش‌بینی صحیح و ناصحیح دسته‌ی ورودی‌ها) و دقت متوسط ارائه می‌شود.

جدول ۴: نتایج طرح بهینه انتخاب شده

Output Results	DG1	DG2
Total Number of Instances	568	568
Correctly Classified Instances	551 (97 %)	552 (97 %)
Incorrectly Classified Instances	17 (2.993%)	16 (2.8169%)
Kappa statistic	0.898	0.9022
Mean absolute error	0.0311	0.0279
Root mean squared error	0.1412	0.1393
Relative absolute error	10.3769 %	9.3019 %
Root relative squared error	36.511 %	36.0126 %
TP Rate	0.97	0.972
FP Rate	0.089	0.103
Precision	0.97	0.972

به دقت بالاتری (۹۷ درصد و بیشتر) برسد. در واقع حجم محاسبات رله پیشنهادی نسبت به مراجع معتبر [۷] و [۱۹] به ترتیب با نسبت‌های ۳ به ۱۱ و ۳ به ۸ کاهش یافت. بنابراین رله‌ی پیشنهادی علاوه بر دارا بودن قابلیت اطمینان و دقت بالاتر به دلیل استفاده از تنها یک سیگنال و در مجموع تعداد سطوح تجزیه‌ی کم‌تر باعث شده است که ساده‌تر، کم هزینه‌تر و سریع‌تر گردد.

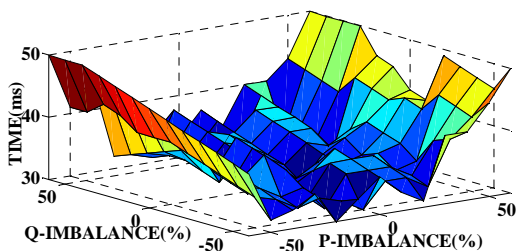
جدول (۵): مقایسه‌ی دقت چندین رله‌ی تشخیص جزیره‌ی پسیو

رله‌ی تشخیص جزیره	حداکثر دقت تشخیص (درصد)
انتقال بردار ولتاژ (VVS)	۷۴/۰۵
اضافه/کاهش ولتاژ	۷۸/۸۱
روش هوشمند [۱۷]	۸۳/۳۳
اضافه/کاهش فرکانس	۹۰/۲۴
نرخ تغییر فرکانس (ROCOF)	۹۳/۸۱
رله‌ی مبتنی بر دسته‌بندی کننده‌ی DT [۱۹]	۹۶/۴۳
رله پیشنهادی	۹۷ و بالاتر

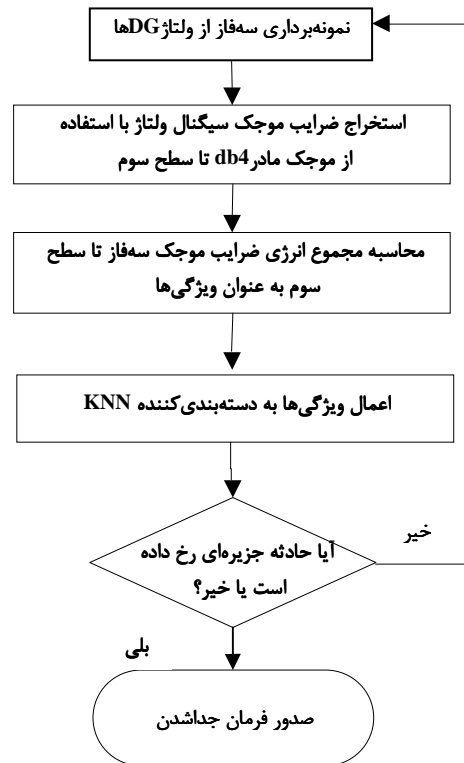
۶-۲ ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

جهت ارزیابی روش پیشنهادی، توان اکتیو و راکتیو جزیره از ۶۰- درصد تا ۶۰+ درصد با پله‌های ۵ درصدی مطابق شکل (۱۳) تغییر داده می‌شود. توان اکتیو با تغییر ضریب توان ژنراتور و تغییر مقادیر بارها و توان راکتیو با تغییر توان راکتیو خازن و ضریب توان بارها صورت می‌گیرد. زمان پاسخ رله بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۴۸ ثانیه تغییرات داشت و تمامی حالت‌ها در زمانی کم‌تر از ۰/۰۵ ثانیه تشخیص داده شدند که نسبت به حداکثر زمان مجاز هر دو استاندارد [۲] IEEE Std. 1547 (۲ ثانیه) و [۲۰] Std. G59 (۳۰۰ ثانیه) زمان بسیار کمی می‌باشد.

در روش پیشنهادی برای افزایش سرعت رله با آزمایش‌هایی که بر روی مدت زمان پنجره نمونه‌برداری انجام شد طول پنجره ۰/۰۱ ثانیه انتخاب شد که این زمان به شدت، مدت زمان عملکرد رله را کاهش می‌دهد و اگر هم محاسبات تبدیل موجک زمانی را به خود اختصاص دهند از طریق کاهش زمان نمونه‌برداری سعی شده است زمان عملکرد رله را تا حدود زیادی کاهش داد. به نظر می‌رسد که با در نظر گرفتن محاسبات مورد نیاز تبدیل موجک با میکروپروسسورهایی که امروزه در رله‌ها استفاده می‌شود زمان عملکرد رله از ۰/۰۳ ثانیه تا ۰/۰۵ ثانیه طول بکشد یعنی حدود ۱/۵ تا ۲/۵ سیکل که زمان بسیار خوبی می‌باشد.



شکل (۱۳): زمان تشخیص جزیره و NDZ روش پیشنهادی



شکل ۱۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۶-۱ مقایسه و ارزیابی

۶-۱-۱ مقایسه الگوریتم پیشنهادی

برخی مقالات [۹، ۱۰، ۱۳] بدون دلیل و اثبات، سیگنال خاصی (ولتاژ، جریان و یا هر دو)، موجک مادر خاصی و یا سطح معینی از تبدیل موجک را استفاده کرده‌اند که در این مقاله سعی شده است با تحلیل انجام شده، به یک الگوریتم بهینه دست یافت. روش هوشمند ارائه شده در این مقاله نسبت به روش‌های قبلی [۱۰]، [۱۴] و [۱۹]، توانست با دقت مشابه و یا بالاتر و محاسبات کم‌تر (تنها یک سیگنال ورودی و سطح تبدیل پایین‌تر) به یک الگوریتم بهینه از لحاظ دقت، سادگی، هزینه و سرعت دست یابد.

روش هوشمند ارائه شده در [۷] با وجود استفاده از مجموعه‌ی پیچیده‌ای از ۱۱ ویژگی با کلاسه‌بندی کننده‌ی تصمیم درختی (DT) تنها دقت ۸۳/۳۳ درصدی را دارا می‌باشد. روش بر پایه تبدیل موجک در مرجع [۱۹] با استفاده از سطح چهارم تبدیل موجک اما هر دو سیگنال ولتاژ و جریان (در مجموع معادل سطح هشتم یک سیگنال می‌باشد) و دسته‌بندی کننده تصمیم درختی (DT) توانسته است به دقت حداکثری ۹۶/۴۳ برسد. حداکثر دقت سایر روش‌های پسیو که در جدول (۵) خلاصه شده‌اند کم‌تر از این مقادیر می‌باشند [۱۹]. در صورتی که رله‌ی پیشنهادی این مقاله با استفاده از تنها یک سیگنال و با سطح سوم تبدیل موجک توانست

۷- نتیجه

در این مقاله یک روش تشخیص جزیره‌ی الکتریکی مبتنی بر تجزیه و تحلیل سیگنال‌های حالت گذرای DGها هنگام وقوع حوادث جزیره‌ای و غیرجزیره‌ای با استفاده از ابزار تبدیل موجک گسسته (DWT) و نزدیک‌ترین K همسایگی (KNN) ارائه گردید. با تحلیل انجام گرفته بر روی نوع سیگنال ورودی، نوع موجک مادر و سطح تبدیل موجک مورد نیاز، سرانجام از بین ۱۶۲ طرح، برای DGها، رله‌ی بهینه‌ای با توجه به شاخص‌های دقت، سرعت، سادگی و هزینه انتخاب شد. رله‌ی انتخابی با ورودی سیگنال ولتاژ، موجک مادر db4 و سطح سوم تبدیل موجک (V-db4-D3) دارای دقت ۹۷ درصد است. با توجه به طول پنجره نمونه‌برداری که ۰/۰۱ ثانیه (نیم سیکل) در نظر گرفته شده است سرعت عملکرد رله را کمتر از ۰/۰۵ ثانیه می‌توان تخمین زد. در ارزیابی‌ها مشخص گردید با استفاده از تنها یک سیگنال ورودی (ولتاژ)، علاوه بر بهبود سرعت، سادگی و کاهش هزینه، دقت رله پیشنهادی از روش‌های مشابه و دیگر روش‌های غیرفعال بهتر است.

مراجع

- Systems”, in Proc. IEEE Int. Symp. Industrial Electronics, Vigo, Spain, pp. 2409–2413, 2007.
- [9] N. W. A. Lidula, and A. D. Rajapakse, “A Pattern Recognition Approach for Detecting Power Islands Using Transient Signals—Part I: Design and Implementation,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 4, 2010.
- [10] Y. H. Liy, T. S. Luor, S. J. Huang, and J. M. Lin, “Method and System for Detecting Stand-Alone Operation of a Distributed Generating System,” U.S. Patent, No. 7 342 758, 2008.
- [11] C. T. Hsieh, J. M. Lin, and S. J. Huang, “Enhancement of Islanding-Detection of Distributed Generation Systems via Wavelet Transform-Based Approaches,” International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 30, No. 10, pp. 575–580, 2008.
- [12] C. H. Kim and R. Agganrval, “Wavelet Transforms in Power Systems—Part 2: Examples of Application to Actual Power System Transients,” IEEE Power Engineering Journal, Vol. 15, No. 4, pp. 193–202, 2000.
- [13] Y. Fayyad, A. Osman, “Neuro-Wavelet Based Islanding Detection Technique,” IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2010.
- [14] M. Heidari, S. Gh. Seifossadat and E. Gharibreza, “Design and Simulation of Intelligent Based Relay for Power Islanding Detectionm,” Intelligent Systems in Electrical Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 67-78, 2012, (in Persian).
- [15] A. Graps, “An Introduction to Wavelets,” Computer Science and Engineering, Vol. 2, pp. 50–61, 1995.
- [16] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, 2nd Edition, The MIT Press, 2010.
- [17] M. Hall, E. Frank G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann and I. H. Witten, “The WEKA Data Mining Software: An Update,” ACM SIGKDD Explorations Newsletter, Vol. 11, No. 1, pp. 10-18, 2009.
- [18] CIGRE C6.04.02 Task Force, “Benchmark Modeling and Simulation for Analysis, Design, and Validation of Distributed Energy Systems,” 2006.
- [19] N. W. A. Lidula and A. D. Rajapakse, “A Pattern Recognition Approach for Detecting Power Islands Using Transient Signals—Part II: Performance Evaluation,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, No. 3, pp. 1071-1080, 2012.
- [20] Recommendations for the Connection of Embedded Generating Plant to the Regional Electricity Companies Distribution Systems, Std. G59/1, Electricity Assoc., 1991, Electricity Assoc. std.
- [1] S. P. Chowdhurya, S. Chowdhurya and P. A. Crossleyb, “Islanding Protection of Active Distribution Networks with Renewable Distributed Generators: A Comprehensive Survey,” Electric Power Systems Research, Vol. 79, pp. 984–992, 2009.
- [2] IEEE Standard 1547.1, “Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems,” 2005.
- [3] A. M. Massoud, K. H. Ahmed, S. J. Finney and B. W. Williams, “Harmonic Distortion-Based Island Detection Technique for Inverter-Based Distributed Generation,” IET Renewable Power Generation, Vol. 3, pp. 493–507, 2009.
- [4] W. Xu , G. Zhang, C. Li, W. Wang, G. Wang and J. Kliber, “A Power Line Signaling Based Technique for Anti-Islanding Protection of Distributed Generators – Part I: Scheme and Analysis,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, pp. 1758–1766, 2007.
- [5] G. Hernandez-Gonzalez and R. Iravani, “Current Injection for Active Islanding Detection of Electronically-Interfaced Distributed Resources,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, pp. 1698–1705, 2006.
- [6] W. Freitas, W. Xu, C. M. Affonso and Z. Huang: “Comparative Analysis between ROCOF and Vector Surge Relays for Distributed Generation Applications,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, pp. 1315–1324, 2005.
- [7] K. El-Arroudi, G. Joós, I. Kamwa and D. T. McGillis, “Intelligent-Based Approach to Islanding Detection in Distributed Generation,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 2, pp. 828–835, 2007.
- [8] A. Pigazo, V. M. Moreno, M. Liserre and A. Dell’Aquila, “Wavelet-Based Islanding Detection Algorithm for Single-Phase PV Distributed Generation

زیر نویس‌ها

¹ Discrete Wavelet Transform (DWT)

² K-Nearest Neighbor (KNN)

³ Decision Tree (DT)

⁴ Non Stationary

⁵ Scaling

⁶ Shifting

⁷ Compressing

⁸ Stretching

⁹ Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)

¹⁰ Data Mining

¹¹ Machine Learning