



Computational Intelligence in Electrical Engineering  
Vol. 14, No. 3, 2023  
Research Paper

## Passive Islanding Detection Using Adaptive Threshold Based on Instantaneous Frequency Droop

Mohammad Shabdin<sup>1</sup>, Mahdi Banejad<sup>2\*</sup>, Yaser Damchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Power Department, Faculty of Electrical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Power Department, Faculty of Electrical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Power Department, Faculty of Electrical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

### Abstract:

Islanding is one of the important challenges in power networks in the presence of distributed generation which is considered an undesirable incident due to the possibility of damage to operators, network equipment, and consumers. Therefore, it is necessary to quickly detect islanding and make a decision regarding the connection status of local distributed generation units in the network. In this paper, a passive islanding detection method is proposed using adaptive threshold-based instantaneous frequency droop characteristic. The proposed threshold limit is dynamically changed depending on under-studied conditions to discriminate the island from load changes, capacitor bank switching, motor start-up, and short circuit types. Two medium voltage networks of Cigre and 34-bus IEEE are used to evaluate the proposed method. The simulations are performed in Digsilent software and the proposed method is implemented in MATLAB software. The simulation results indicate that the island is correctly detected with appropriate accuracy in a short period of time from other disturbances in the presence of wind, solar and diesel types of distributed generations.

**Keywords:** Islanding Detection, Adaptive Threshold, Passive Method, Instantaneous Frequency droop.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/ISEE.2023.137397.1627>

## تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر

### آستانه تطبیق پذیر

محمد شابدین<sup>۱</sup>، مهدی بانژاد<sup>۲\*</sup>، یاسر دامچی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

m.shabdin@Shahroodut.com

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

m.banejad@Shahroodut.com

۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

damchi@Shahroodut.com

**چکیده:** جزیره‌ای شدن یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های قدرت در حضور تولیدات پراکنده است که به دلیل احتمال آسیب به بهره‌برداران، تجهیزات شبکه و مصرف‌کنندگان، یک حادثه نامطلوب محسوب می‌گردد؛ از این رو، ضروری است جزیره‌ای شدن به سرعت تشخیص داده شده و نسبت به وضعیت اتصال واحدهای تولیدکننده محلی در شبکه تصمیم‌گیری گردد. در این مقاله، یک روش غیرفعال تشخیص جزیره با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر پیشنهاد می‌شود. حد آستانه پیشنهادی بسته به شرایط مورد مطالعه به منظور تشخیص جزیره از تغییرات بار، کلیدزنی بانک خازنی، راه‌اندازی موتور و انواع اتصال کوتاه به صورت دینامیکی تغییر می‌کند. برای ارزیابی روش پیشنهادی از دو شبکه فشار متوسط Cigre و ۳۴ شین IEEE استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار Digsilent و پیاده‌سازی روش پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که تشخیص جزیره با دقت مناسب در مدت زمان کوتاه از سایر اغتشاشات در حضور منابع تولید پراکنده بادی، خورشیدی و دیزل ژنراتور، به درستی انجام می‌گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تشخیص جزیره، آستانه تطبیق‌پذیر، روش غیرفعال، مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای

### ۱- مقدمه

بخش خصوصی در تولید انرژی، مزایای زیست‌محیطی و کاهش تلفات، صنعت برق را به سمت استفاده از تولیدات پراکنده<sup>۲</sup> (DG) به خصوص منابع انرژی تجدیدپذیر سوق داده است [۱].

نیروگاه‌های تولید پراکنده از جمله نیروگاه بادی<sup>۳</sup>، میکروتوربین<sup>۴</sup>، خورشیدی<sup>۵</sup> و CHP<sup>۶</sup>، واحدهای کوچک نیروگاهی هستند که می‌توانند نزدیک به بار و بدون هزینه‌های انتقال، نصب شوند [۲]. حضور تولیدات پراکنده در شبکه قدرت دارای مزایای زیادی از جمله بهبود کارایی شبکه، افزایش انعطاف‌پذیری شبکه، کاهش تلفات و کاهش آلودگی محیط زیست است؛ با این حال، افزایش تولیدات

در دهه‌های اخیر مسائلی مانند افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن در نیروگاه‌های حرارتی، نیاز به منابع تجدیدپذیر<sup>۱</sup> (RES) را افزایش داده است. همچنین افزایش مشارکت

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

نام نویسنده مسئول: مهدی بانژاد

نشانی نویسنده مسئول: ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی برق

تشخیص جزیره در شرایط تعادل توان می‌باشند [۹]. در روش‌های فعال با استفاده از سیگنال‌های تزریقی به شبکه، در زمان وقوع جزیره پارامترهای سیستم (مانند ولتاژ و فرکانس) دچار تغییر چشمگیری می‌شوند که این تغییرات از وقوع جزیره خبر می‌دهد. این روش‌ها، دارای ناحیه NDZ کوچک و حتی صفر می‌باشند و سبب بهبود سرعت تشخیص می‌گردند ولی ناخواسته موجب کاهش کیفیت توان می‌شوند. با این حال ایراد اصلی روش‌های فعال، عملکرد ضعیف آن‌ها در حضور منابع تولید پراکنده اینورتری است [۱۰]. استفاده از تزریق هارمونیک به شبکه جهت تشخیص جزیره روشی است که در [۹] از آن استفاده شده است. در این مقاله برخلاف سایر روش‌های فعال، کیفیت توان بهبود پیدا کرده و پایداری شبکه حفظ می‌شود. هارمونیک دوم جریان با توجه به فیدبک هارمونیک دوم ولتاژ در نقطه اتصال مشترک<sup>۳</sup> (PCC) به شبکه تزریق می‌شود. شناسایی جزیره بوسیله یک روش فعال برای نیروگاه‌های خورشیدی مبتنی بر کنترل‌کننده لغزشی در [۱۱] مورد مطالعه قرار گرفته است. دقت این روش برای نیروگاه‌های خورشیدی تکفاز مناسب بوده ولی در DG های غیراینورتری کاربرد ندارد. در [۱۲] از اعوجاج توان راکتیو برای تشخیص جزیره استفاده می‌شود. این روش برای DG های اینورتری با ضریب توان غیر یک، مناسب می‌باشد.

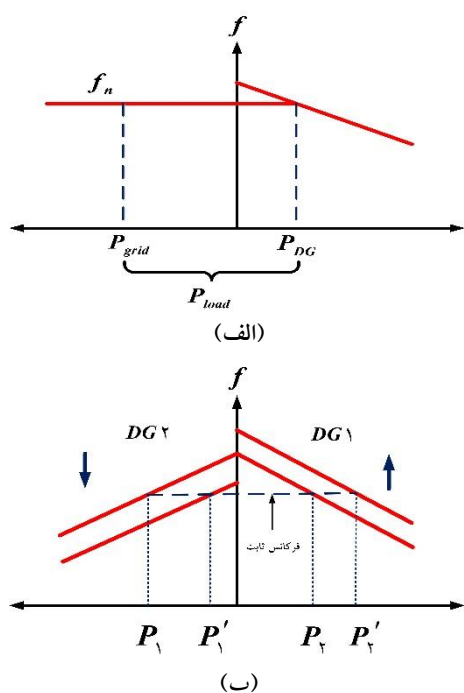
در روش غیرفعال بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده از قبیل ولتاژ و فرکانس، اعوجاج هارمونیک در نقطه PCC، جزیره تشخیص داده می‌شود. روش‌های مبتنی بر کاهش یا افزایش ولتاژ، کاهش یا افزایش فرکانس، نرخ تغییر فرکانس، نرخ تغییر فرکانس با توان، کنترل هارمونیک در دسته روش‌های غیرفعال قرار می‌گیرند. معمولاً از یک یا چند شاخص با حساسیت کافی برای تشخیص جزیره در روش‌های غیرفعال، استفاده می‌شود. سادگی و هزینه کم پیاده‌سازی و حفظ کیفیت توان از جمله مزایای روش غیرفعال است؛ با این حال ایراد اصلی این روش وجود ناحیه NDZ بزرگ‌تر نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد [۹، ۱۳]. در [۱۴] به بررسی نسبت پارامترهای ولتاژ، فرکانس، توان اکتیو و توان راکتیو بر یکدیگر و استفاده از آنها در تشخیص جزیره می‌پردازد. نتایج مطالعه مقاله مذکور از ۱۶

پراکنده موجب نگرانی در هماهنگی حفاظت، امنیت و پایداری شبکه، تنظیم ولتاژ و نیز جزیره‌ای شدن شبکه شده است [۳].

وقوع جزیره به صورت عمدی و غیرعمدی در شبکه رخ می‌دهد. جزیره عمدی به منظور بالا بردن قابلیت اطمینان بارهای خاص در زمان قطع شبکه اصلی اتفاق می‌افتد. جزیره غیرعمدی به قطع ناگهانی شبکه اصلی، در حالی که انرژی قسمتی از شبکه توسط DG تأمین می‌گردد، گفته می‌شود. این نوع جزیره به دلیل داشتن خطراتی مانند تغییرات فرکانس و ولتاژ، احتمال آسیب به بهره‌برداران شبکه و از بین رفتن حالت سنکرون شبکه، یک وضعیت نامطلوب تلقی شده، لذا تشخیص جزیره غیرعمد ضروری است [۴، ۵].

کارایی و سودمندی یک روش تشخیص از زوایای مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اصول اولیه مقایسه سرعت و دقت در تشخیص است؛ با این حال کوچک بودن ناحیه غیرقابل تشخیص<sup>۶</sup> (NDZ)، تشخیص در ضریب‌های مختلف کیفیت بار، عملکرد در حضور چندین واحد تولید پراکنده و عدم کاهش کیفیت توان از جمله مواردی است که باعث ارجحیت یک روش می‌شود. به طور کلی روش‌های تشخیص جزیره<sup>۸</sup> (IDM) به دو دسته محلی<sup>۹</sup> و راه دور<sup>۱۰</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند [۶، ۷]. روش راه دور با استفاده از ارتباط بین پست، ژنراتور، تجهیزات و DG ها، جزیره را تشخیص می‌دهد. روش راه دور دارای قابلیت اطمینان بالا با ناحیه NDZ صفر است؛ اما به خاطر هزینه و پیچیدگی بالای این روش، IDM های محلی برای مهندسی جذاب‌تر می‌باشند [۳]. روش ارائه شده در [۸] از تغییرات جریان کلیدهای قدرت، فرکانس و توان اکتیو مدار در تمام شاخه‌ها برای تشخیص جزیره استفاده می‌کند. زمان تشخیص جزیره بسیار کوتاه و ناحیه NDZ صفر است؛ ولی هزینه اجرای این طرح بالاست و همچنین نیاز به اندازه‌گیری مقادیر محلی می‌باشد. روش‌های محلی از پارامترهای اندازه‌گیری شده شبکه در محل DG کمک می‌گیرد. روش‌های محلی به روش‌های فعال<sup>۱۱</sup> غیرفعال<sup>۱۲</sup> و مبتنی بر ریاضیات دسته‌بندی می‌شوند. IDM های فعال با تزریق یک اختلال در سیستم، جزیره را تشخیص می‌دهند که دارای قابلیت

جریان اشتراکی<sup>۱۶</sup>، به منظور فعالیت تولیدات پراکنده به صورت موازی با شبکه جهت تأمین بار پیشنهاد شده است. در میان روش‌های مذکور، روش مشخصه افقی به دلیل عدم نیاز به شبکه‌های ارتباطی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۷]. در حالت غیرجزیره، مقدار فرکانس توسط شبکه قدرت کنترل می‌شود تا در محدوده مجاز قرار بگیرد. طبق روش کنترل افقی فرکانسی، میزان مشارکت توان واحدهای تولید کننده در حضور شبکه قدرت به صورت شکل (۱)-الف مشخص می‌شود [۱۸]. در این جا  $f_n$ ،  $P_{DG}$ ،  $P_{grid}$  و  $P_{load}$  به ترتیب فرکانس نامی شبکه، توان اکتیو تولیدی منبع تولید پراکنده، توان اکتیو مصرفی بار محلی می‌باشد.



شکل (۱): (الف) مشخصه افقی P-f در حالت غیرجزیره‌ای؛ (ب) مشخصه افقی P-f در حالت جزیره‌ای [۱۸]

در صورت بروز خطا در حالت غیرجزیره، مشخصه افقی فرکانسی به خاطر اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه ثابت بوده و بعد از رفع خطا، شبکه به وضعیت عادی خود برمی‌گردد. در صورت وقوع جزیره، وظیفه تنظیم فرکانس بر عهده منابع تولید پراکنده است؛ به عنوان مثال شکل (۱)-ب چگونگی تنظیم فرکانس را در حضور دو منبع تولید پراکنده

پارامتر بدست آمده حاکی از آن است که شاخص  $df/dq$  معیار مناسبی برای تشخیص جزیره با سرعت خوب و ناحیه NDZ کوچک می‌باشد.

علاوه بر روش‌های فوق از روش‌های ریاضی و هوش مصنوعی در تشخیص جزیره استفاده می‌شود. در [۱۵] از شبکه عصبی احتمالاتی و تبدیل موجک برای تشخیص جزیره استفاده کرده است. با وجود دقت بالای روش در تشخیص جزیره این روش بر روی واحدهای تولید پراکنده اینورتری متمرکز است. در [۱۶] با استفاده از یک دسته‌بندی کننده شبکه عصبی آموزش دیده و از طریق تبدیل موجک گسسته سیگنال‌های گذرای ولتاژ و جریان به تشخیص رخداد‌های گذرا و جزیره‌ای شدن می‌پردازد. این روش در حالی که دقت تشخیص بالایی دارد ولی بر روی واحدهای اینورتری بررسی نشده است.

در این مقاله، یک روش غیرفعال بر اساس مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای برای تشخیص جزیره از تغییرات بار، کلیدزنی خازنی، راه‌اندازی موتور و نیز وقوع انواع اتصال کوتاه‌های تکفاز، دوفاز، دوفاز به زمین و سه فاز پیشنهاد می‌گردد. در روش پیشنهادی حد آستانه تطبیق‌پذیر به صورت دینامیکی مشخص می‌شود که باعث رفع مشکل روش‌های غیرفعال در تعیین مقدار آستانه می‌گردد. همچنین روش پیشنهادی در حضور انواع منابع تولیدات پراکنده دارای کارایی مطلوب است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که جزیره با سرعت و دقت مطلوب از سایر حوادث به کمک روش پیشنهادی تشخیص داده می‌شود.

در ادامه مقاله، در بخش دوم مقاله، مشخصه افقی بیان می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی به همراه فرمول‌ها و روند آن گفته می‌شود. در بخش چهارم شبیه‌سازی بر روی دو شبکه آزمون و وضعیت‌های متفاوت انجام و تحلیل و بررسی شده و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری شده است.

## ۲- مشخصه افقی فرکانسی

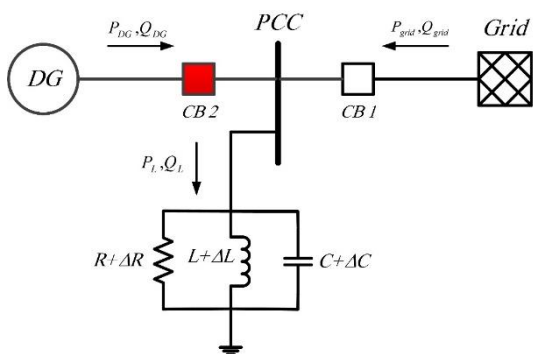
هماهنگی تولیدات پراکنده برای پاسخگویی به بار ضروری است، تاکنون روش‌های مختلفی برای این کار از جمله کنترل افقی<sup>۱۴</sup>، کنترل رهبر-پیرو<sup>۱۵</sup> و کنترل میانگین

تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر

شکل (۲): مدار معادل یک واحد تولید پراکنده متصل به یک شین مشترک AC

### ۳- معرفی روش پیشنهادی مبتنی بر مشخصه افتی لحظه‌ای

شرایط عدم تطابق توان عمدتاً در ریزش‌بکه با حضور منابع پراکنده مشاهده می‌گردد. در زمان اتصال ریزش‌بکه به شبکه اصلی اختلاف توان توسط شبکه تأمین شده، ولی در زمان جزیره این توان توسط تولید پراکنده تأمین می‌شود. در صورت عدم تطابق توان زیاد امکان دارد مقادیر فرکانس و ولتاژ از حد نامی تجاوز کرده و باعث بروز عکس‌العمل توسط رله‌های ولتاژی و فرکانسی شود [۲۲].



شکل (۳): شبکه قدرت در حضور تولید پراکنده و با RLC موازی [۱۴]

مطابق شکل (۳) در شرایط بهره‌برداری عادی تأمین بار RLC مطابق روابط (۵) و (۶) است که R مقدار مقاومت بار،  $\Delta R$  تغییرات مقاومت پس از جزیره، L مقدار اندوکتانس بار،  $\Delta L$  تغییرات اندوکتانس پس از جزیره، C ظرفیت خازنی بار و  $\Delta C$  تغییرات ظرفیت خازنی بار پس از جزیره است.

$$P_L = P_{DG} + P_{grid} = \frac{3V_{PCC}^2}{R} \quad (5)$$

$$Q_L = Q_{DG} + Q_{grid} = 3V_{PCC}^2 \left( \frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC \right) \quad (6)$$

با توجه به روابط بالا عدم تطابق توان اکتیو بین تولید پراکنده و بار در شرایط جزیره‌ای منجر به تغییرات ولتاژ می‌شود به‌طور مشابه عدم تطابق توان اکتیو بین تولید

نشان می‌دهد. قبل از وقوع جزیره، منابع تولید پراکنده توان اکتیو  $P_1$  و  $P_2$  به شبکه تزریق می‌نمایند، در حالی که پس از وقوع جزیره، توان منابع برای حفظ فرکانس بسته به مشخصه افتی P-f به  $P_1'$  و  $P_2'$  تغییر می‌کند.

در یک ریزش‌بکه می‌توان از کنترل افتی فرکانسی برای کنترل و شارش توان به مانند یک شبکه اصلی بهره برد [۱۹]. توان ظاهری تزریقی به شین PCC طبق شکل (۲) به کمک رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$S = E \angle \delta [ \frac{E \angle \delta - V}{Z \angle \theta} ]^* \quad (1)$$

در این رابطه،  $E, \delta, Z, \theta, V$  به ترتیب ولتاژ DG، زاویه ولتاژ DG، امپدانس خط، زاویه امپدانس خط و ولتاژ شین PCC را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که امپدانس خروجی منابع تولید پراکنده اینورتری و سنکرون به دلیل استفاده از سلف، عمدتاً اَلقایی است [۲۰]؛ بر این اساس، زاویه فاز  $\theta$  نزدیک به ۹۰ درجه است با فرض کوچک بودن  $\delta$ ، مقدار توان اکتیو با کمک رابطه (۲) به دست می‌آید [۲۱]:

$$P = \frac{V}{X} [ E \delta ] \quad (2)$$

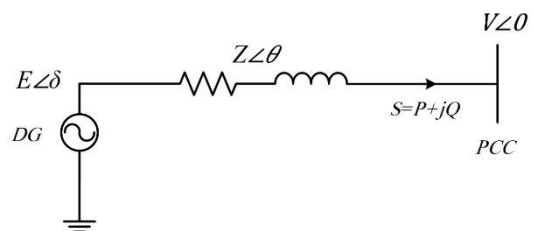
رابطه (۲) بر اساس مشخصه افتی P-f می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$f = f^* - k_p P \quad (3)$$

که در آن  $f^*$  و  $k_p$  به ترتیب فرکانس نامی شبکه و ضریب افتی توان اکتیو می‌باشند. همچنین  $k_p$  را می‌توان به‌صورت زیر به دست آورد:

$$k_p = \frac{\Delta f}{\Delta P} \quad (4)$$

که در آن  $\Delta f$  حداکثر انحراف مجاز فرکانس و  $\Delta P$  حداکثر انحراف مجاز توان اکتیو واحد تولید پراکنده هستند.



این مطلب اساس روش پیشنهادی است که با استفاده از نسبت تغییرات فرکانس به تغییرات توان اکتیو اقدام به شناسایی جزیره در شبکه می‌نماید.

مشخصه افتی متداول در تولیدکننده‌های توان، مقدار ثابتی است که طبق آن، توان تولیدی در شرایط بهره‌برداری به شبکه تحویل داده می‌شود؛ اما مشخصه افتی لحظه‌ای تعریف شده مقداری متغیر است که با توجه به مقادیر لحظه‌ای فرکانس و توان اکتیو خروجی تولید پراکنده محاسبه می‌گردد. طبق مشخصه افتی متداول:

$$k_p = \frac{f_i - f_o}{P_i - P_o} \quad (14)$$

در این رابطه  $f_i$  فرکانس لحظه‌ای خروجی تولید پراکنده،  $f_o$  فرکانس نامی شبکه،  $P_i$  توان اکتیو لحظه‌ای تولید پراکنده و  $P_o$  توان اکتیو تولید پراکنده در شرایط بهره‌برداری می‌باشد.

به منظور تعمیم رابطه بالا در شبکه‌های مختلف و شرایط گوناگون صورت و مخرج رابطه تبدیل به پریونیت می‌شود؛ لذا عبارت  $f_o$  بر صورت  $P_o$  بر مخرج تقسیم می‌گردد. در نهایت مقدار مشخصه افتی لحظه‌ای ( $k_p^{Ins}$ ) تعریف شده طبق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$k_p^{Ins} = \frac{\frac{f_i - f_o}{f_o}}{\frac{P_i - P_o}{P_o}} \quad (15)$$

$$k_p^{Ins} = \left| \frac{\frac{f_i}{f_o} - 1}{\frac{P_i}{P_o} - 1} \right| \quad (16)$$

که  $f_i$  فرکانس لحظه‌ای خروجی تولید پراکنده برحسب Hz،  $f_o$  فرکانس نامی شبکه برحسب Hz،  $P_i$  توان اکتیو لحظه‌ای تولید پراکنده برحسب MW و  $P_o$  توان اکتیو تولید پراکنده در شرایط بهره‌برداری برحسب MW می‌باشد.

پراکنده و بار باعث تغییرات فرکانس خواهد شد [۲۳]؛ البته در زمان جزیره باوجود عدم تطابق توان اکتیو باعث تغییرات ولتاژ شده که این تغییرات خود بر روی توان اکتیو تأثیرگذار می‌باشد. برای توان مصرفی بار در زمان جزیره به دست می‌آید:

$$P_L = P_{DG} = \frac{3(V_{PCC}(1+\Delta V))^2}{R + \Delta R} \quad (7)$$

$$Q_L = Q_{DG} = 3(V_{PCC}(1+\Delta V))^2 \times \left[ \frac{1}{2\pi(f + \Delta f)(L + \Delta L)} - \frac{1}{2\pi(f + \Delta f)(C + \Delta C)} \right] \quad (8)$$

با استفاده از روابط (۷) و (۸) می‌توان نوشت:

$$R(P_{DG} + \Delta P) \left( \frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C \right) = (R + \Delta R)P_{DG} \times \left( \frac{1}{2\pi(f + \Delta f)(L + \Delta L)} - 2\pi(f + \Delta f)(C + \Delta C) \right) \quad (9)$$

از رابطه بالا دیده می‌شود تغییرات توان اکتیو با تغییرات فرکانس نسبت دارد [۱۴] لذا:

$$\Delta P = \frac{P_{DG}}{f} \left[ 1 + \left( \frac{f}{\Delta f} \right) \left( \frac{\Delta C}{C} \right) \right] \Delta f \quad (10)$$

از طرفی بیان شد که مشخصه افتی همان نسبت تغییرات فرکانس بر تغییرات توان اکتیو بوده و نیز در رابطه (۱۰) تغییرات توان اکتیو تابعی از تغییرات فرکانس است:

$$\Delta P = G(\Delta f) \quad (11)$$

بر اساس رابطه فوق، مشخصه افتی در شرایط جزیره‌ای تابعی از فرکانس می‌باشد.

$$k_p = \frac{\Delta f}{G(\Delta f)} \quad (12)$$

$$k_p = H(\Delta f) \quad (13)$$

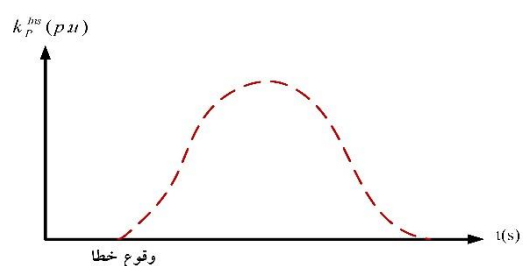
تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر

ولتاژ ریزش‌بکه پس از جزیره از مقدار نامی متفاوت باشد فرم  $k_p^{Ins}$  مانند شکل (۴) -ب می‌باشد. در زمان بروز حوادث غیرجزیره‌ای مقدار  $k_p^{Ins}$  که در شکل (۴) -ج آورده شده در زمان بروز خطا زیاد شده؛ اما به سرعت این مقدار به سمت صفر میل می‌نماید. حضور شبکه اصلی در زمان خطا باعث صفر شدن سریع مقدار  $k_p^{Ins}$  می‌شود که در غیاب شبکه اصلی مقدار  $k_p^{Ins}$  مدت زمان بیشتری غیرصفر است و این رفتار شبکه جهت تشخیص جزیره سودمند است.

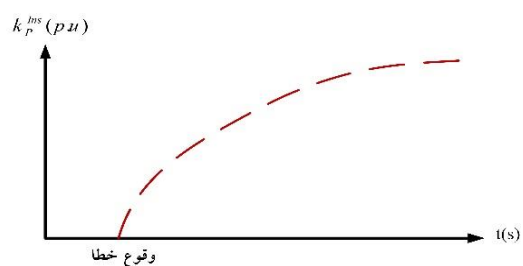
چالش اصلی روش‌های غیرفعال انتخاب حد آستانه برای سنجش شاخص و انتخاب وضعیت پیشرو بوده است؛ باین حال به دست آوردن یک مقدار به‌عنوان حد آستانه شاید در شرایط بهره‌برداری و شبکه متفاوت دچار خطا گردد. به این منظور ارائه یک حد آستانه انطباقی تا حد زیادی این مشکل را رفع می‌کند. در روش پیشنهادی پس از وقوع خطا در شبکه پنجره‌ای برای بررسی تغییرات  $k_p^{Ins}$  بنام پنجره مشاهده باز می‌گردد. این پنجره دارای زمان ۲ سیکل است که موجب می‌شود در صورت بروز خطای غیرجزیره مقدار  $k_p^{Ins}$  از بیشینه مقدار خود عبور نماید. در پنجره مشاهده بیشینه مقدار  $k_p^{Ins}$  به‌عنوان حد آستانه روش پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مقادیر مختلف  $k_p^{Ins}$  در شرایط مختلف می‌توان گفت بیشینه مقدار  $k_p^{Ins}$  در هر سناریو عددی متفاوت بوده و حد آستانه روش پیشنهادی یک حد آستانه تطبیق‌پذیر خواهد بود.

$$k_p^{th} = \max(k_p^{Ins})_{OWin} \quad (17)$$

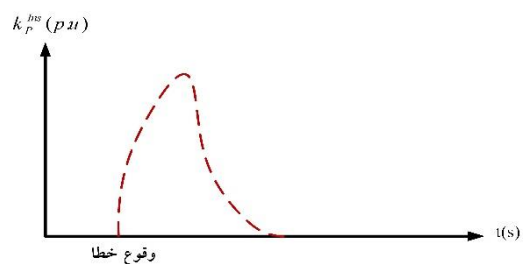
که در اینجا  $\max(k_p^{Ins})_{OWin}$  بیشینه مقدار مشخصه افقی لحظه‌ای در بازه پنجره مشاهده است. مقایسه مقدار مشخصه افقی لحظه‌ای  $k_p^{Ins}$  و حد آستانه تطبیق‌پذیر  $k_p^{th}$  پس از بسته شدن پنجره مشاهده و شروع پنجره تشخیص صورت می‌گیرد. حداکثر زمان پنجره تشخیص برابر ۸ سیکل است. در صورتی که مقدار مشخصه افقی لحظه‌ای  $k_p^{Ins}$  در ۷ نمونه متوالی از حد آستانه تطبیق‌پذیر  $k_p^{th}$  بیشتر شود پدیده جزیره رخ داده است. بدیهی است در صورت حصول



(الف)



(ب)

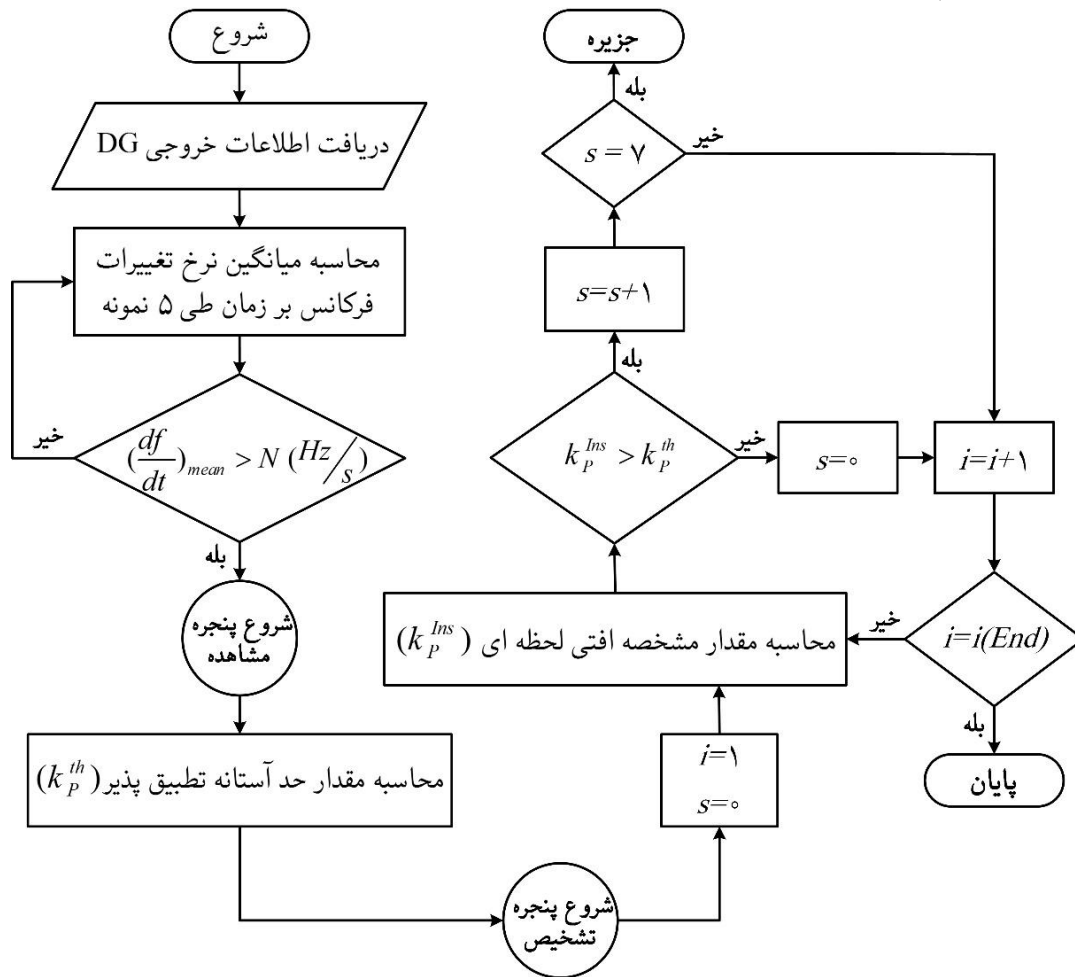


(ج)

شکل (۴): مقدار مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای (الف) پس از وقوع جزیره در صورت پایداری فرکانس ریزش‌بکه؛ (ب) پس از وقوع جزیره در صورت ناپایداری فرکانس ریزش‌بکه؛ (ج) پس از رخداد غیرجزیره‌ای

براساس شکل (۱)، لختی شبکه سراسری قدرت از تغییرات کلی فرکانس جلوگیری می‌نماید؛ درحالی‌که در هنگام جزیره، بسته به مقدار عدم تطابق توان و ظرفیت‌های تولیدات پراکنده شبکه، این احتمال وجود دارد که فرکانس مقدار جدیدی به خود گرفته و یا تا رسیدن فرکانس به مقدار نامی شبکه مدت زمان زیادی طول بکشد. براساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته بر روی دو شبکه مورد مطالعه، شکل خروجی  $k_p^{Ins}$  در هنگام وقوع جزیره به دو صورت است. در صورت بازگشت شرایط نامی شبکه از جمله فرکانس و ولتاژ پس از وقوع جزیره فرم  $k_p^{Ins}$  به‌صورت شکل (۴) -الف خواهد بود؛ اما اگر فرکانس و

شرایط جزیره در کم‌تر از ۸ سیکل پنجره تشخیص بسته خواهد شد.



شکل (۵): روندنمای روش پیشنهادی تشخیص جزیره

راه‌اندازی موتور آسنکرون، شروع راه‌اندازی موتور در زمان ۱/۵ ثانیه و مدت زمان شبیه‌سازی برابر ۵ ثانیه است.

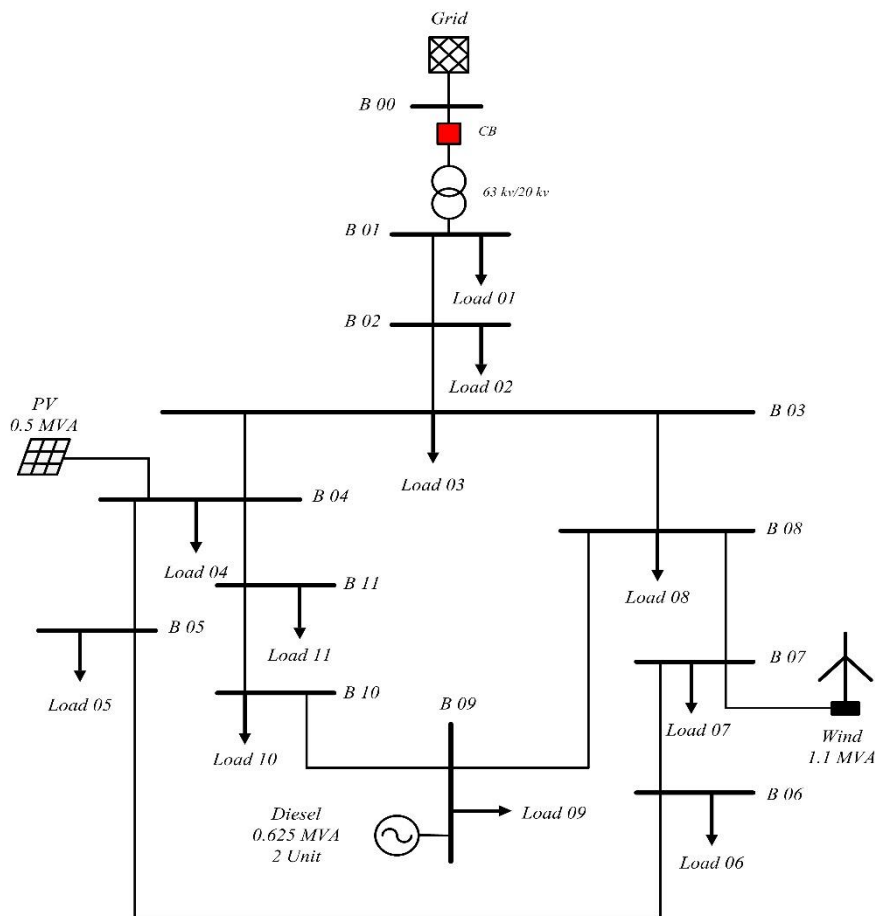
#### ۴-۱- شبکه فشار متوسط Cigre

شبکه فشار متوسط Cigre مورد نظر یک شبکه محلی است که توانایی تأمین توان یک روستا یا یک شهر کوچک را دارد. ولتاژ این شبکه ۲۰ کیلوولت بوده که توسط یک پست با ولتاژ نامی ۱۱۰/۲۰ کیلوولت به شبکه اصلی متصل می‌گردد [۲۴]. منابع تولید پراکنده این شبکه شامل نیروگاه خورشیدی دارای مبدل اینورتری، نیروگاه بادی دارای ژنراتور آسنکرون و نیروگاه دیزلی با ژنراتور سنکرون هستند. نمودار شبکه شبکه شبیه‌سازی شده در شکل (۶) نشان داده شده است.

#### ۴- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

برای ارزیابی روش پیشنهادی، از دو شبکه استاندارد شامل شبکه فشار متوسط ۱۱ شین Cigre و شبکه فشار متوسط ۳۴ شین IEEE با در نظر گرفتن نیروگاه‌های بادی و خورشیدی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها با سناریوهای مختلف در نرم‌افزار دیگسایلنت انجام می‌شود و پیاده‌سازی روش پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گیرد. سناریوهای وقوع جزیره، تغییرات ناگهانی بار، کلیدزنی بانک خازنی، خطای اتصال کوتاه، راه‌اندازی موتور و خارج شدن منابع تولید پراکنده از مدار بر روی شبکه‌های نمونه بررسی شده است. در تمامی سناریوها به جز راه‌اندازی موتور آسنکرون، وقوع خطا در زمان ۰/۴ ثانیه بوده و شبیه‌سازی در طول ۱ ثانیه انجام می‌شود. در سناریوهای





شکل (۶): شبکه ولتاژ متوسط Cigre اصلاح شده [۲۴]

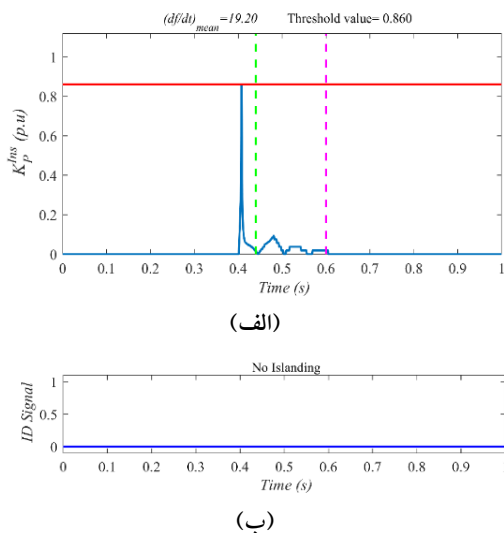
#### ۴-۱-۱- وقوع جزیره‌ای شدن

به منظور بررسی روش پیشنهادی در تشخیص جزیره، ۶۴ سناریو با در نظر گرفتن عدم تطابق توان‌های متفاوت، از صفر تا حداکثر ۲۰۰ کیلووات و ۲۰۰ کیلووار و نیز تغییر میزان توان خروجی منابع تولید پراکنده، مورد بررسی قرار گرفته است. جهت نمایش عملکرد روش پیشنهادی، شرایط جزیره برای عدم تطابق توان با مقدار ۱۰۰ کیلووات و ۱۰۰ کیلووار، در شکل (۷) مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل، جزیره در زمان  $0/4$  ثانیه رخ داده است و پس از وقوع جزیره، در دیزل ژنراتور مقدار متوسط نرخ تغییرات فرکانس بر زمان به ۸ هرتز بر ثانیه رسیده است و بنابراین پنجره مشاهده روش پیشنهادی شروع می‌شود. پس از ۲ سیکل مقدار  $0/155$  پرونیوت را به عنوان مقدار حد آستانه

تطبیق‌پذیر برای منبع تولید پراکنده دیزل ژنراتور متصل به شین ۹ تعیین می‌شود. مقادیر  $k_p^{ms}$  در پنجره تشخیص از حد آستانه بالاتر بوده و جزیره ۴۷ میلی‌ثانیه بعد از وقوع تشخیص داده می‌شود. همچنین نتایج روش پیشنهادی در تشخیص تعدادی از سناریوهای مربوط به جزیره در جدول (۱) ارائه شده است. طبق جدول (۱) در سناریو اول مقدار توان اکتیو و راکتیو مبادله شده بین ریزشکبه و شبکه اصلی برابر صفر است؛ با این حال به دلیل ساختار شبکه‌ها و منابع تولید پراکنده، فرکانس و ولتاژ در شین خروجی DG ها تغییرات جزئی خواهد داشت؛ این تغییرات موجب تغییر توان خروجی تولیدات پراکنده بعد از رخداد جزیره‌ای شدن خواهد شد. با توجه به نتایج این جدول، روش پیشنهادی جزیره را برای منابع تولید پراکنده دیزلی، بادی و خورشیدی به ترتیب در زمان‌های ۵۰، ۴۸ و ۴۸ میلی‌ثانیه برای عدم

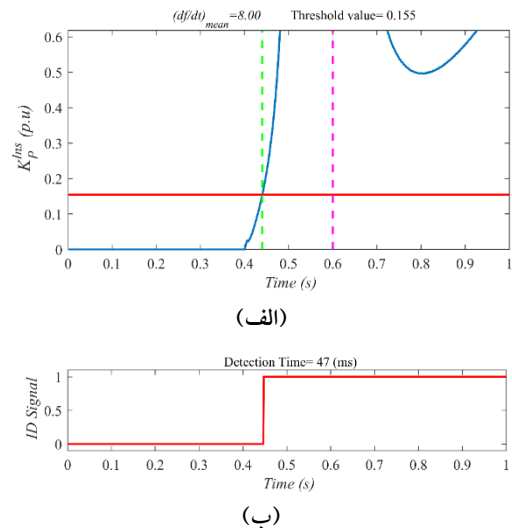
به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی در شرایط تغییرات ناگهانی بار، تمامی بارها به میزان ۲۵ درصد در زمان ۰/۴ ثانیه به صورت ناگهانی افزایش می‌یابد؛ به عنوان مثال مشخصه افتی فرکانسی و عملکرد روش پیشنهادی برای نیروگاه بادی در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مقدار مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای در دو سیکل ابتدایی حداکثر مقدار خود که برابر ۰/۸۶ است را دارد و پس از طی شدن دو سیکل این مقدار کاهش می‌یابد. دلیل افت سریع مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای، اتصال ریزش‌بکه به شبکه اصلی است؛ بنابراین پس از تعیین مقدار حد آستانه در پنجره مشاهده، در پنجره تشخیص مقادیر از حد آستانه مشخص شده کم‌تر خواهد بود.

جدول (۲) عملکرد روش پیشنهادی را برای تعدادی از حالت‌های تغییرات بار نشان می‌دهد. مقادیر مثبت تغییرات بار به معنی افزایش بار و مقادیر منفی به معنی کاهش بار می‌باشد. همچنین در این مطالعه، ۱۰۵ حالت تغییرات بار (۳۵ حالت برای هر کدام از منابع تولید پراکنده) به کمک روش پیشنهادی به طور کامل تشخیص داده شده‌اند.



شکل (۸): (الف) مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال تشخیص برای نیروگاه بادی در حالت افزایش ۲۵ درصدی بار

تطابق توان ۲۰۰ کیلووات و ۲۰۰ کیلووار تشخیص می‌دهد. همچنین لازم به ذکر است که روش پیشنهادی ۱۹۲ حالت جزیره‌ای شدن (۶۴ حالت برای هر کدام از منابع تولید پراکنده) را با دقت ۹۷/۹ درصد با میانگین زمان تشخیص ۵۰ میلی‌ثانیه تشخیص داده است.



شکل (۷): (الف) مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال تشخیص برای نیروگاه دیزل ژنراتور در حالت وقوع جزیره با عدم تطابق توان ۱۰۰ کیلووات و ۱۰۰ کیلووار

جدول (۱): عملکرد روش پیشنهادی در تشخیص جزیره در

شبکه Cigre

زمان تشخیص (ms)	عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	$\Delta Q$ (kvar)	$\Delta P$ (kW)
۴۷	✓	۰/۰۹	دیزلی	۰	۰
۴۷	✓	۰/۳۹	بادی		
۴۷	✓	۰/۲۱	خورشیدی		
۴۷	✓	۰/۱۵	دیزلی	۵۰	۵۰
۴۸	✓	۱/۵۷	بادی		
۴۸	✓	۰/۸۴	خورشیدی	۲۰۰	۲۰۰
۵۰	✓	۰/۱۸	دیزلی		
۴۸	✓	۰/۵۵	بادی		
۴۸	✓	۰/۳۹	خورشیدی		

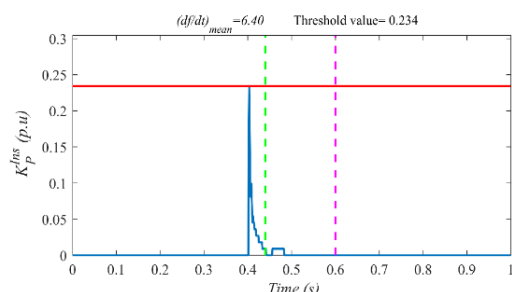
تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر

(۲۰) حالت برای هر کدام از منابع تولید پراکنده) را در این مطالعه به طور کامل از جزیره تفکیک نموده است.

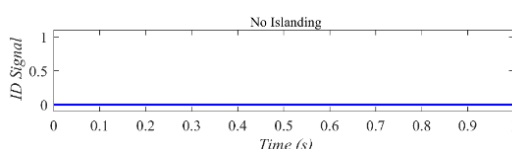
جدول (۲): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط تغییرات

#### ناگهانی بار در شبکه Cigre

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	درصد تغییرات بار
✓	۰/۹۵	دیزلی	۲۰
✓	۱/۱۲	بادی	
✓	۰/۰۳۷	خورشیدی	
✓	۰/۷	دیزلی	-۴۰
✓	۲	بادی	
✓	۰/۰۴۶	خورشیدی	
✓	۰/۵۲	دیزلی	۶۰
✓	۱/۶	بادی	
✓	۰/۰۳۵	خورشیدی	



(الف)



(ب)

شکل (۹): (الف) مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال

تشخیص وقوع جزیره برای نیروگاه خورشیدی در حالت

کلیدزنی بانک خازنی ۲۰۰ کیلوواری

جدول (۳): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط مختلف

#### کلیدزنی بانک خازنی در شبکه Cigre

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	شین اتصال	ظرفیت خازن
✓	۰/۰۳۸	دیزلی	۳	۵۰ کیلووار
✓	۰/۱۲۳	بادی		
✓	۰/۰۶۳	خورشیدی		
✓	۰/۰۷۶	دیزلی	۳	۱۰۰ کیلووار
✓	۰/۱۹۳	بادی		
✓	۰/۱۱۷	خورشیدی		
✓	۰/۰۹۵	دیزلی	۳	۱۵۰ کیلووار
✓	۰/۲۱۱	بادی		
✓	۰/۱۸	خورشیدی		

#### ۴-۱-۴- خطای اتصال کوتاه

برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی در تشخیص خطای اتصال کوتاه از جزیره، حالت‌های مختلفی با وقوع انواع اتصال کوتاه شامل خطاهای تکفاز به زمین، دو فاز به زمین، دو فاز، سه فاز و سه فاز به زمین با مقاومت خطا صفر تا ۲ اهم با گام ۰/۵ اهم شبیه‌سازی شده‌اند؛ برای مثال

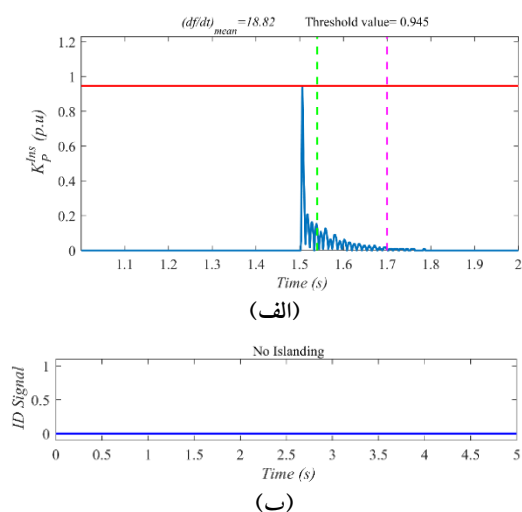
#### ۴-۱-۳- کلیدزنی بانک خازنی

جهت تصحیح ضریب توان و تنظیم ولتاژ استفاده از بانک خازنی در شبکه‌های قدرت متداول است. جهت بررسی رفتار روش پیشنهادی در شرایط خازن‌گذاری، خازن‌ها با پله‌های ۵۰ کیلوواری در نقاط مختلف شبکه قرار داده می‌شود؛ برای مثال با توجه به شکل (۶)، یک خازن ۲۰۰ کیلوواری متصل به شین B03 در زمان ۰/۴ ثانیه وارد مدار می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد مقدار مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای در ابتدای کلیدزنی دارای مقدار بزرگی است و سپس به سرعت کم می‌شود. حد آستانه تطبیق‌پذیر در زمان شناسایی بزرگ‌تر از  $k_p^{abs}$  بوده و این حالت به عنوان یک حادثه غیرجزیره‌ای تشخیص داده می‌شود. طبق شکل (۹) مقدار حد آستانه به دست آمده برابر ۰/۲۴۳ است که مقدار مشخصه افقی فرکانسی لحظه‌ای در پنجره تشخیص به آن نزدیک نشده است؛ لذا روش پیشنهادی به خوبی توانسته کلیدزنی بانک خازنی را از جزیره جدا نماید. در جدول (۳) خازن‌گذاری در شبکه با سه خازن متفاوت آورده شده است. در تمامی حالت‌ها، روش پیشنهادی عملکرد صحیحی نسبت به کلیدزنی بانک خازنی داشته و خروجی سیگنال تشخیص برابر صفر می‌باشد. همچنین روش پیشنهادی، ۶۰ حالت کلیدزنی بانک خازنی

اتصال کوتاه دو فاز، دو فاز به زمین و تکفاز به زمین و محل وقوع خطا نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که روش پیشنهادی این خطاها را به درستی از جزیره تشخیص می‌دهد. همچنین در این مطالعه، ۷۲ حالت خطای اتصال کوتاه (۲۴ حالت خطا در حضور هر کدام از منابع تولید پراکنده) به کمک روش پیشنهادی با دقت ۹۸/۶۱ درصد از جزیره تشخیص داده شده‌اند.

#### ۴-۱-۵- راه‌اندازی موتور آسنکرون

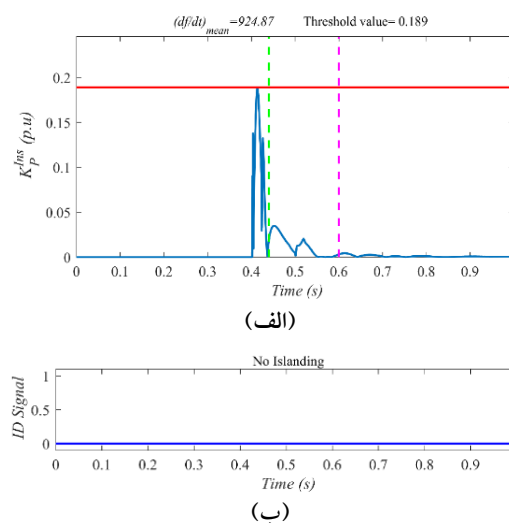
راه‌اندازی موتور آسنکرون یک چالش برای روش‌های تشخیص جزیره بوده، لذا برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، شرایط مختلفی از راه‌اندازی موتور در شبکه‌های تحت مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است؛ برای مثال یک موتور آسنکرون با قدرت ۲۰۰ کیلووات که به وسیله یک ترانسفورماتور ۲۵۰ کیلوولت آمپری به شین B03 شبکه Cigre متصل است در لحظه ۱/۵ ثانیه راه‌اندازی می‌شود. طبق شکل (۱۱) مقدار حد آستانه برای نیروگاه خورشیدی برابر ۰/۹۴۵ پریونیت است. در پنجره تشخیص مقدار  $k_p^{ins}$  همواره کوچک‌تر از  $k_p^{th}$  است؛ بنابراین، روش پیشنهادی به درستی راه‌اندازی موتور را از وقوع جزیره تشخیص می‌دهد.



شکل (۱۱): (الف) مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال تشخیص برای نیروگاه خورشیدی در حالت راه‌اندازی موتور ۲۰۰ کیلوواتی

جدول (۵) عملکرد روش را در سه حالت دیگر نشان

در شین B07 نزدیک به نیروگاه بادی در زمان ۰/۴ ثانیه، اتصال کوتاه سه فاز با مقاومت ۰/۵ اهم رخ می‌دهد. این خطا برای مدت ۱۰۰ میلی‌ثانیه اتفاق افتاده و در زمان ۰/۵ ثانیه رفع می‌شود. مطابق با شکل (۱۰)، مقدار حد آستانه در این حالت برابر با ۰/۱۸۹ است که مقدار مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای در پنجره تشخیص پس از ۸ سیکل از حد آستانه عبور نمی‌کند و خطا به درستی از جزیره تفکیک می‌شود.



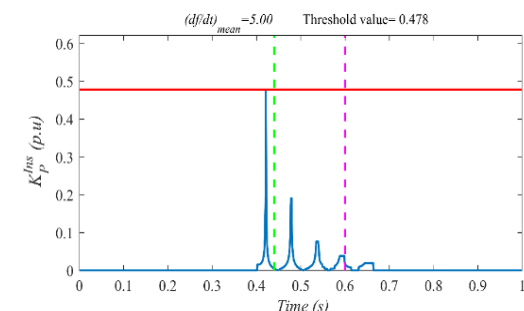
شکل (۱۰): (الف) مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال تشخیص برای نیروگاه بادی در حالت اتصال کوتاه سه فاز

جدول (۴): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط اتصال کوتاه در شبکه Cigre

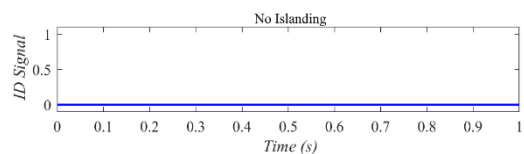
نوع خطا	امپدانس خطا ( $\Omega$ )	محل خطا	تولید پراکنده	حد آستانه	عملکرد
دو فاز به زمین	۰/۵	شین ۳	دیزلی	۰/۰۸۳	✓
			بادی	۰/۱۳	✓
			خورشیدی	۰/۸۵	✓
دو فاز	۰/۵	شین ۳	دیزلی	۰/۰۸۳	✓
			بادی	۰/۱۳	✓
			خورشیدی	۰/۸۵	✓
تکفاز به زمین	۰/۵	شین ۳	دیزلی	۰/۰۸۸	✓
			بادی	۰/۱۳۵	✓
			خورشیدی	۰/۹	✓

در جدول (۴) عملکرد روش پیشنهادی برای خطاهای

تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر



(الف)



(ب)

شکل (۱۲): (الف) مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای (ب) سیگنال تشخیص برای دیزل ژنراتور در حالت خارج شدن نیروگاه خورشیدی از مدار

جدول (۶): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط خروج منابع

تولید پراکنده از مدار در شبکه Cigre

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	تولید پراکنده خارج از مدار
✓	۰/۹۸	بادی	دیزلی
✓	۰/۲۲۵	خورشیدی	
✓	۰/۷۴۴	دیزلی	بادی
✓	۰/۲۱۶	خورشیدی	

#### ۴-۲- شبکه ۳۴ شین IEEE

برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی در شبکه بزرگتر و عدم وابستگی به شبکه مورد مطالعه، شبکه ۳۴ شین IEEE نیز در این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودار شبکه در شکل (۱۳) نشان داده است. این شبکه، یک شبکه توزیع نامتعادل است که به صورت شعاعی توسعه یافته است. فرکانس شبکه برابر ۶۰ هرتز و ولتاژ آن برابر ۲۴/۹ کیلوولت است که ولتاژ در شین‌های ۸۸۸ و ۸۹۰ برابر ۴/۱۶ کیلوولت می‌باشد [۲۵]. منابع تولید پراکنده این شبکه شامل نیروگاه خورشیدی با مبدل اینورتری، نیروگاه بادی با ژنراتور آسنکرون و نیروگاه دیزلی با ژنراتور سنکرون می‌باشند.

می‌دهد؛ که روش پیشنهادی به خوبی توانسته است این حالت‌ها را از وقوع جزیره تفکیک نماید. همچنین در این مطالعه، ۸۱ حالت راه‌اندازی موتور (۲۷ حالت در حضور هر کدام از منابع تولید پراکنده) بررسی شد که روش پیشنهادی دارای دقت تشخیص ۹۸/۷۷ درصدی است.

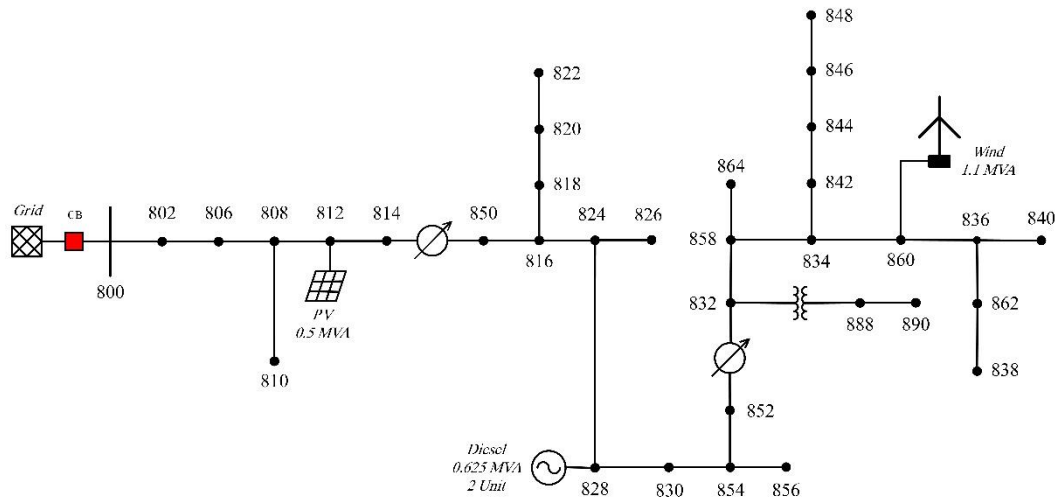
جدول (۵): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط راه‌اندازی

موتور در شبکه Cigre

توان موتور	شین اتصال	تولید پراکنده	حد آستانه	عملکرد
۱۶۰ کیلووات	۳	دیزلی	۰/۸۹	✓
		بادی	۰/۹۳	✓
		خورشیدی	۰/۷۹	✓
۲۵۰ کیلووات	۳	دیزلی	۱/۴۱	✓
		بادی	۱/۱۹	✓
		خورشیدی	۱/۲۹	✓
۴۰۰ کیلووات	۳	دیزلی	۱/۲	✓
		بادی	۱/۷	✓
		خورشیدی	۱/۹۹	✓

#### ۴-۱-۶- خارج شدن منبع تولید پراکنده از مدار

در شرایط بهره‌برداری، در مواقعی منابع تولید پراکنده به دلایل مختلفی از جمله وقوع خطا از مدار خارج می‌گردند. برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی در حالت خارج شدن منبع تولید پراکنده از مدار، نیروگاه خورشیدی در زمان ۰/۴ ثانیه از مدار خارج می‌گردد. مطابق شکل (۱۲) مقدار حد آستانه برای نیروگاه دیزل ژنراتور برابر ۰/۴۷۸ پریونیت به دست می‌آید که در بازه زمانی پنجره تشخیص، این مقدار همواره بزرگتر از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای است؛ بنابراین روش پیشنهادی در حالت خارج شدن منبع تولید پراکنده از مدار مانند دیگر حالت‌های غیرجزیره‌ای، عملکرد مناسبی داشته است. در جدول (۶) دو حالت دیگر خروج منبع تولید پراکنده از مدار نشان داده شده است که مطابق نتایج این جدول، روش پیشنهادی دارای عملکرد مطلوب می‌باشد. همچنین در این مطالعه، ۲۴ حالت خروج منبع تولید پراکنده از مدار (۸ حالت در حضور هر کدام از منابع تولید پراکنده) به کمک روش پیشنهادی به طور کامل تشخیص داده شده‌اند.



شکل (۱۳): شبکه ولتاژ متوسط ۳۴ شین IEEE [۲۵]

جدول (۸): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط مختلف

تغییرات ناگهانی بار در شبکه ۳۴ شین IEEE

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	درصد تغییرات بار
✓	۰/۰۷	دیزلی	۲۰
✓	۰/۱۵	بادی	
✓	۰/۴۲	خورشیدی	
✓	۰/۱۵	دیزلی	-۴۰
✓	۰/۳۳	بادی	
✓	۰/۷۵	خورشیدی	
✓	۰/۱۸	دیزلی	۶۰
✓	۰/۱۷	بادی	
✓	۰/۹	خورشیدی	

تمامی حالت‌های وقوع جزیره، تغییرات ناگهانی بار، کلیدزنی بانک خازنی، انواع خطاهای اتصال کوتاه، راه‌اندازی موتور و خارج شدن تولید پراکنده از مدار که در بخش ۴-۱ بر روی شبکه Cigre شبیه‌سازی شده‌اند بر روی شبکه ۳۴ شین IEEE نیز شبیه‌سازی می‌شوند. نتایج بعضی از این حالت‌ها در جدول‌های (۷) تا (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده، روش پیشنهادی علاوه بر تشخیص مناسب وقوع جزیره‌ای شدن در شبکه ۳۴ شین IEEE، توانسته عملکرد خوبی در تفکیک حوادث دیگر از جزیره داشته باشد.

جدول (۹): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط مختلف

کلیدزنی بانک خازنی در شبکه ۳۴ شین IEEE

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	شین اتصال	ظرفیت خازن
✓	۰/۰۶۴	دیزلی	۸۲۴	۵۰ کیلووار
✓	۰/۰۴	بادی		
✓	۰/۰۱۵	خورشیدی		
✓	۰/۱۲۹	دیزلی	۸۲۴	۱۰۰ کیلووار
✓	۰/۰۸	بادی		
✓	۰/۰۳	خورشیدی		
✓	۰/۳۴۲	دیزلی	۸۹۰	۱۵۰ کیلووار
✓	۰/۴۲۴	بادی		
✓	۰/۲۵۵	خورشیدی		

جدول (۷): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط وقوع جزیره‌ای شدن در شبکه ۳۴ شین IEEE

شدن در شبکه ۳۴ شین IEEE

زمان تشخیص (ms)	عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	$\Delta Q$ (kvar)	$\Delta P$ (kW)
۴۲	✓	۰/۱۱۴	دیزلی	۰	۰
۴۳	✓	۰/۱۱۴	بادی		
۴۱	✓	۰/۰۸۵	خورشیدی		
۴۱	✓	۰/۱۲	دیزلی	۵۰	۵۰
۴۱	✓	۰/۴۸	بادی		
۴۱	✓	۰/۴۱	خورشیدی		
۱۶۰	✓	۰/۸۰	دیزلی	۲۰۰	۲۰۰
۱۵۵	✓	۰/۳۷	بادی		
۹۸	✓	۰/۸۵	خورشیدی		

تشخیص جزیره به روش غیرفعال با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر

جدول (۱۰): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط اتصال کوتاه

در شبکه ۳۴ شین IEEE

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	محل خطا	امپدانس خطا ( $\Omega$ )	نوع خطا
✓	۰/۰۴۵	دیزلی	شین ۸۱۶	۰/۵	دو فاز به زمین
✓	۰/۰۹	بادی			
✓	۰/۰۵۳	خورشیدی			
✓	۰/۱۳	دیزلی	شین ۸۳۰	۰/۵	دو فاز
✓	۰/۱۰۹	بادی			
✓	۰/۰۵۶	خورشیدی			
✓	۰/۱۶	دیزلی	شین ۸۲۶	۰/۵	تکفاز به زمین
✓	۰/۰۶۷	بادی			
✓	۰/۰۷	خورشیدی			

جدول (۱۱): عملکرد روش پیشنهادی در شرایط راه‌اندازی

موتور در شبکه ۳۴ شین IEEE

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	شین اتصال	توان موتور
✓	۰/۳۳	دیزلی	۸۵۸	۱۶۰ کیلووات
✓	۲/۵۸	بادی		
✓	۲/۶۳	خورشیدی		
✓	۰/۳۰۵	دیزلی	۸۱۶	۲۵۰ کیلووات
✓	۱/۳۴	بادی		
✓	۱/۵۸	خورشیدی		
✓	۰/۱۸	دیزلی	۸۴۰	۴۰۰ کیلووات
✓	۰/۲	بادی		
✓	۲/۰۹	خورشیدی		

جدول (۱۲): عملکرد روش در شرایط خروج منبع تولید

پراکنده از مدار در شبکه ۳۴ شین IEEE

عملکرد	حد آستانه	تولید پراکنده	تولید پراکنده خارج از مدار
✓	۰/۱۶۵	بادی	دیزلی
✓	۰/۴۳۵	خورشیدی	
✓	۰/۶۶	دیزلی	بادی
✓	۰/۲۱	خورشیدی	

### ۴-۳- تحلیل نتایج

جزیره، تغییرات ناگهانی بار، کلیدزنی خازنی، خطای اتصال کوتاه، راه‌اندازی موتور و خارج شدن منبع تولید پراکنده از مدار، مطابق جدول (۱۳) و **Error! Reference source not found.** می‌باشد. روش پیشنهادی طبق سناریوهای صورت گرفته در حادثه جزیره‌ای شدن، برای دو شبکه مورد بررسی به طور میانگین دارای ۹۷/۴ درصد صحت تشخیص می‌باشد، همچنین در خصوص دیگر حوادث شبکه می‌تواند عملکرد قابل قبولی داشته باشد.

در ادامه جهت نشان دادن کارایی روش پیشنهادی مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی با برخی روش‌های غیرفعال ارائه شده، صورت می‌گیرد. در [۱۶] روش تشخیص جزیره با وجود محاسبات بیش‌تر و پیچیده‌تر برای شبکه مورد مطالعه Cigre در بهینه‌ترین حالت دارای حداکثر دقت تشخیص ۹۷/۸ درصدی بوده در حالی که روش پیشنهادی با الگوریتم ساده‌تر دارای تشخیص ۹۸/۹ درصدی برای این شبکه می‌باشد. مرجع [۱۶] شرایط جزیره‌ای شدن، تغییرات بار، خطای اتصال کوتاه، کلیدزنی بانک خازنی و خارج شدن DG از سرویس مورد بررسی قرار گرفته که این مطالعه، علاوه بر آن‌ها شرایط راه‌اندازی موتور آسنکرون نیز بررسی شده است. همچنین تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر، ژنراتور سنکرون و ژنراتور آسنکرون در این مطالعه به کار گرفته شده در صورتی که [۱۶] تولید پراکنده اینورتری را بررسی نکرده است.

مطابق جدول (۱۵) خطای تشخیص، زمان تشخیص و ناحیه غیرقابل تشخیص روش پیشنهادی با روش‌های متداول غیرفعال نشان داده شده است. در روش پیشنهادی زمان تشخیص حدود ۵۰ میلی‌ثانیه بوده که این زمان نسبت به روش نرخ تغییر فرکانس بر تغییر توان اکتیو زمان کوتاه‌تری است. در خصوص خطای تشخیص این روش نسبت به دیگر روش‌های متداول غیرفعال در زمان اتفاقات شبکه از جمله اتصال کوتاه، راه‌اندازی موتور آسنکرون و کلیدزنی بانک خازنی خطای کم‌تری دارد. ناحیه غیرقابل تشخیص روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌های گفته شده در جدول (۱۵) کوچک‌تر می‌باشد که در **Error! Reference source not found.** برای ولتاژ یک پریونیت، فرکانس ۶۰ هرتز و ضریب کیفیت ۲/۵ نشان داده

در شبیه‌سازی‌ها از حضور سه DG خورشیدی، بادی و دیزل ژنراتور استفاده شده است. این تولیدات پراکنده از فناوری‌های مختلف اینورتری، سنکرون و آسنکرون هستند و در هر سه مورد عملکرد روش پیشنهادی مناسب بوده است. طبق نتایج شبیه‌سازی‌ها، جمع‌بندی سناریوهای وقوع

شده است. همچنین روش پیشنهادی هیچ گونه تأثیر منفی بر روی کیفیت توان شبکه نیز ندارد.

جدول (۱۳): عملکرد روش پیشنهادی در حالت‌های

بررسی شده در شبکه Cigre

درصد تشخیص	تعداد حالت‌ها	نوع حادثه
۹۷/۹۲	۱۹۲	جزیره‌ای شدن
۱۰۰	۱۰۵	تغییرات ناگهانی بار
۱۰۰	۶۰	کلیدزنی بانک خازنی
۹۸/۶۱	۷۲	اتصال کوتاه
۹۸/۷۷	۸۱	راه‌اندازی موتور آسنکرون
۱۰۰	۲۴	خارج شدن تولید پراکنده
۹۸/۸۸	۵۳۴	مجموع

جدول (۱۴): عملکرد روش پیشنهادی در حالت‌های

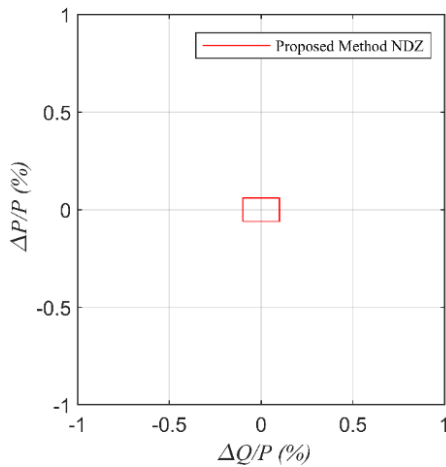
بررسی شده در شبکه ۳۴ شین IEEE

درصد تشخیص	تعداد حالت‌ها	نوع حادثه
۹۶/۸۸	۱۹۲	جزیره‌ای شدن
۹۸/۱۰	۱۰۵	تغییرات ناگهانی بار
۱۰۰	۶۰	کلیدزنی بانک خازنی
۹۵/۸۳	۷۲	اتصال کوتاه
۹۸/۷۷	۸۱	راه‌اندازی موتور آسنکرون
۱۰۰	۲۴	خارج شدن تولید پراکنده
۹۷/۷۵	۵۳۴	مجموع

جدول (۱۵): دقت روش‌های متداول غیرفعال و روش

پیشنهادی

عنوان روش	خطای تشخیص	زمان تشخیص	NDZ
اضافه/کاهش فرکانس [۲۲]	زیاد	بین ۴ میلی ثانیه تا ۱ ثانیه	بزرگ
اضافه/کاهش ولتاژ [۲۲]	زیاد	بین ۴ میلی ثانیه تا ۲ ثانیه	بزرگ
نرخ تغییر فرکانس [۵]	کم	کمتر از ۱ ثانیه	کوچک
نرخ تغییر فرکانس بر تغییر توان اکتیو [۵]	کم	حدود ۱۰۰ میلی ثانیه	کوچک
روش پیشنهادی	بسیار کم	کمتر از ۵۰ میلی ثانیه	ناچیز



شکل (۱۴): ناحیه غیرقابل تشخیص روش پیشنهادی

### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش غیرفعال برای تشخیص جزیره از دیگر اغتشاشات مانند تغییرات بار، کلیدزنی خازنی، انواع خطاهای اتصال کوتاه، راه‌اندازی موتور و خارج شدن DG با استفاده از مشخصه افتی فرکانسی لحظه‌ای که دارای آستانه تطبیق پذیر دینامیکی می‌باشد، پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی باعث حل مشکل انتخاب حد آستانه در روش‌های غیرفعال برای تشخیص جزیره می‌شود. این روش در دو شبکه Cigre و ۳۴ شین IEEE در سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده خورشیدی، بادی و دیزل ژنراتور مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی دارای ناحیه NDZ کوچک است و همچنین دارای سرعت و دقت تشخیص مناسب در حضور انواع منابع تولید پراکنده می‌باشد.

### مراجع

- [1] Raza S, Mokhlis H, Arof H, Laghari JA, Wang L, "Application of Signal Processing Techniques for Islanding Detection of Distributed Generation in Distribution Network: A Review," Energy Conversion and Management, Vol. 96, pp. 613-624, 2015.
- [2] Pouryekt A, Ramachandramurthy VK, "A Hybrid Islanding Detection Method for Distribution Systems," Distributed Generation & Alternative Energy Journal, Vol. 33, No. 4, pp. 44-67, 2018.
- [3] Abd-Elkader AG, Saleh SM, Eiteba MM, "A Passive Islanding Detection Strategy for Multi-distributed Generations," International Journal of



- [15] Kamyab, E., Sadeh, J., Yaghoobi, H, "Artificial Neural Network Approach for Islanding Detection in Inverter Based Distributed Generator with a Forced Transient in System Frequency," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, 2015; 5(4): 103-114.
- [16] Heidari orejloo, M., Seifossadat, S., Gharibreza, E. "Design and Simulation of Intelligent based Relay for Power Islanding Detection," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, 2011; 2(3): 67-78.
- [17] Tayab UB, Roslan MA, Hwai LJ, Kashif M, "A Review of Droop Control Techniques for Microgrid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 76, pp. 717-727, 2017.
- [18] J Chapman S, *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill, 2004.
- [19] Moradi MH, Foroutan VB, Abedini M, "Power Flow Analysis in Islanded Micro-Grids via Modeling Different Operational Modes of DGs: A Review and a New Approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 248-262, 2017.
- [20] Mohamed YA, El-Saadany EF, "Adaptive Decentralized Droop Controller to Preserve Power Sharing Stability of Paralleled Inverters in Distributed Generation Microgrids," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 23, No. 6, pp. 2806-2816, 2008.
- [21] Guerrero JM, Vasquez JC, Matas J, De Vicuña LG, Castilla M, "Hierarchical Control of Droop-controlled AC and DC Microgrids- A General Approach Toward Standardization," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 1, pp. 158-172, 2010.
- [22] Freitas W, Xu W, Affonso CM, Huang Z, "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.
- [23] Zeineldin HH, El-Saadany EF, Salama MM, "Impact of DG Interface Control on Islanding Detection and Nondetection Zones," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 3, pp. 1515-1523, 2006.
- [24] Rudion K, Orths A, Styczynski ZA, Strunz K., "Design of Benchmark of Medium Voltage Distribution Network for Investigation of DG Integration," Presented at the 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [25] Dugan RC, Kersting WH, "Induction Machine Test Case for the 34-bus Test Feeder-Description," Presented at the 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [4] Khamis A, Shareef H, Bizkevelci E, Khatib T, "A Review of Islanding Detection Techniques for Renewable Distributed Generation Systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 28, pp. 483-493, 2013.
- [5] Vieira JC, Freitas W, Xu W, Morelato A, "Efficient Coordination of ROCOF and Frequency Relays for Distributed Generation Protection by Using the Application Region," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 4, pp. 1878-1884, 2006.
- [6] Khan MA, Haque A, Kurukuru VB, Saad M, "Islanding Detection Techniques for Grid-Connected Photovoltaic Systems-A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 154, p. 111854, 2022.
- [7] Islam MM, Nagrial M, Rizk J, Hellany A, "General Aspects, Islanding Detection, and Energy Management in Microgrids: A Review," *Sustainability*, Vol. 13, No. 16, p. 9301, 2021.
- [8] Bayrak G, Kabalci E, "Implementation of a New Remote Islanding Detection Method for Wind-solar Hybrid Power Plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 58, pp. 1-15, 2016/05/01/ 2016.
- [9] Emadi A, Afrakhte H, Sadeh J, "Fast Active Islanding Detection Method Based on Second Harmonic Drifting for Inverter-based Distributed Generation," *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 10, No. 14, pp. 3470-3480, 2016.
- [10] Gupta P, Bhatia RS, Jain DK, "Active ROCOF Relay for Islanding Detection," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, No. 1, pp. 420-429, 2017.
- [11] Bakhshi R, Sadeh J, "Voltage Positive Feedback Based Active Method for Islanding Detection of Photovoltaic System with String Inverter Using Sliding Mode Controller," *Solar Energy*, Vol. 137, pp. 564-577, 2016/11/01/ 2016.
- [12] Chen X, Li Y. Li, "An Islanding Detection Method for Inverter-Based Distributed Generators Based on the Reactive Power Disturbance," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 31, No. 5, pp. 3559-3574, 2016.
- [13] Pai FS, Huang SJ, "A Detection Algorithm for Islanding-prevention of Dispersed Consumer-owned Storage and Generating Units," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 16, No. 4, pp. 346-351, 2001.
- [14] Raza S, Mokhlis H, Arof H, Laghari JA, Mohamad H, "A Sensitivity Analysis of Different Power System Parameters on Islanding Detection," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 7, No. 2, pp. 461-470, 2016.

---

<sup>1</sup> Renewable energy sources (RESs)

- <sup>2</sup> Distributed generation (DG)
- <sup>3</sup> Wind Power Plant
- <sup>4</sup> Microturbine
- <sup>5</sup> Solar power plant
- <sup>6</sup> Combined heat and power (CHP)
- <sup>7</sup> Non detection zone (NDZ)
- <sup>8</sup> Islanding detection methods (IDMs)
- <sup>9</sup> Local methods
- <sup>10</sup> Remote methods
- <sup>11</sup> Active method
- <sup>12</sup> Passive method
- <sup>13</sup> Point of common coupling (PCC)
- <sup>14</sup> Droop control
- <sup>15</sup> Master-slave control
- <sup>16</sup> Average current-sharing control

