

## روش جدید هایبرید برای حفاظت ضد جزیره‌ای با استفاده از نرخ تغییرات ولتاژ و تغییر تپ

### بانک خازنی

مهدی گرمودی<sup>۱</sup> حسین عسکریان ایبانه<sup>۱</sup> سید حمید فتحی<sup>۱</sup> کاظم مظلومی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

واژه‌های کلیدی: حفاظت ضد جزیره‌ای، منبع تولید پراکنده، بانک خازنی

### چکیده

استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع روزبروز در حال افزایش است. اتصال این منابع به شبکه‌های توزیع همواره با مشکلاتی روبرو بوده است که یکی از این مشکلات مساله حفاظت ضد جزیره‌ای می‌باشد. بروز حالت جزیره‌ای برای منبع تولید پراکنده به حالتی گفته می‌شود که در آن این منبع از فیدر اصلی توزیع جدا شده و بطور مجزا بارهای اطراف خود را تغذیه کند. عملکرد جزیره‌ای برای منابع تولید پراکنده باعث ایجاد خطراتی برای افراد و شبکه می‌شود و بنابراین اینگونه عملکرد برای منابع تولید پراکنده مطلوب نیست در صورت بروز آنها بایستی این منابع از شبکه جدا گردند. در این مقاله روشی جدید برای تشخیص حالت جزیره‌ای با استفاده از اندازه‌گیری نرخ تغییرات ولتاژ و تغییر تپ بانک خازنی ارائه شده است. روش ارائه شده قادر به تشخیص حالت جزیره‌ای

حتی در مواقعی که اختلاف توان تولیدی و مصرفی در بخش جزیره شده بسیار اندک است نیز می‌باشد. شبیه‌سازیهای انجام شده کارایی روش پیشنهادی را تأیید میکنند.

### ۱- مقدمه

حفاظت ضد جزیره‌ای از مهمترین مسائل پس از اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع می‌باشد. خروج ولتاژ و فرکانس از محدوده‌ی مجاز (که باعث آسیب رساندن به منابع تولید پراکنده و تجهیزات مصرف‌کنندگان می‌گردد)، به خطر افتادن امنیت پرسنل تعمیرات و بازبست غیرسنکرون از جمله مشکلاتی هستند که در عملکرد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده ایجاد می‌شوند. بنابراین بر اساس استاندارد IEEE1547-2003 بایستی حداکثر ظرف مدت ۲ ثانیه حالت جزیره‌ای تشخیص داده شده و منبع تولید پراکنده از شبکه جدا گردد [۱].

تاکنون روشهای متعددی برای حفاظت ضد جزیره‌ای پیشنهاد شده است که میتوان آنها را به سه دسته روشهای اکتیو پسیو و هایبرید تقسیم بندی نمود. در روشهای اکتیو دائماً اختلالاتی توسط منبع تولید پراکنده به شبکه وارد می‌شود. هنگامیکه منبع تولید پراکنده به شبکه اصلی متصل است این اختلالات میرا شده و تاثیر قابل توجهی بر روی عملکرد شبکه ندارد. اما برای یک منبع تولید پراکنده جزیره شده، این اختلالات باعث خروج برخی پارامترها مانند ولتاژ و یا فرکانس از محدوده‌ی مجاز شده و توسط رله‌ها تشخیص داده می‌شوند. روش اندازه‌گیری امپدانس [۲]، دریافت فرکانسی اکتیو [۳] و تغییر در توان راکتیو خروجی [۴] از جمله این روشها هستند. اشکال عمده این روشها اینست که با تحمیل مداوم اغتشاشات به شبکه خود عاملی برای برهم زدن کیفیت توان در شبکه می‌باشند.

در روشهای پسیو با اندازه‌گیری پارامترهایی از شبکه مانند ولتاژ و یا فرکانس، جزیره‌ای شدن منبع تولید پراکنده تشخیص داده می‌شود. در این روشها از این واقعیت استفاده می‌شود که بهنگام جزیره‌ای شدن منبع تولید پراکنده، توان تولیدی و مصرفی در بخش جزیره شده لزوماً با هم برابر نیستند و این باعث خروج ولتاژ و یا فرکانس از محدوده‌ی مجاز می‌شود. روش اندازه‌گیری نرخ تغییرات فرکانس [۴]، نامتعادلی ولتاژ [۵]، اعوجاج هارمونیک [۶] و تغییرات امپدانس شبکه [۲] از جمله این روشها هستند. اشکال این روشها اینست که در حالاتی از جزیره‌ای شدن که در آنها اختلاف بین تولید و مصرف در بخش جزیره شده کم باشد قادر به تشخیص حالت جزیره‌ای در زمان مناسب نمی‌باشند.

روشهای هایبرید سعی در برطرف کردن نقیصه‌های روشهای اکتیو و پسیو را دارند. اصول عملکرد این روشها اینگونه است که تنها هنگامیکه تغییرات پارامترهای شبکه (بعلت کم بودن اختلاف میان توان تولیدی و مصرفی در بخش جزیره شده) کم است، اختلالاتی توسط منبع تولید پراکنده به شبکه وارد می‌گردد تا بروز حالت جزیره‌ای از سایر عواملی که موجب تغییر پارامترها می‌شود تشخیص داده شود. استفاده از نرخ تغییرات ولتاژ و تغییر توان حقیقی خروجی [۷]، استفاده از نامتعادلی ولتاژ و تغییر فرکانس همراه با فیدبک مثبت [۸]، استفاده از

نرخ تغییرات فرکانس و تغییر توان اکتیو [۹]، از جمله این روشها هستند.

در این مقاله نیز روش جدید هایبرید که از اندازه‌گیری نرخ تغییرات ولتاژ و تغییر تپ بانک خازنی برای تشخیص حالت جزیره‌ای استفاده می‌کند، پیشنهاد شده است. روش ارائه شده قادر به تشخیص حالت جزیره‌ای حتی در مواقعی که اختلاف بین تولید و مصرف در بخش جزیره شده بسیار کم است، می‌باشد. در شبیه‌سازیهای انجام شده اثر مدل‌های مختلف بار بر روی عملکرد روش پیشنهادی بررسی شده است. همچنین با بررسی اتفاقات دیگری غیر از جزیره‌ای شدن، نشان داده شده است که این اتفاقات بدرستی بعنوان حالت جزیره‌ای تشخیص داده نمی‌شوند.

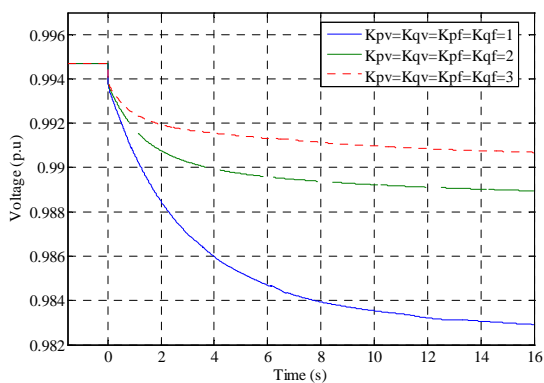
## ۲- مدل بار

در مطالعات حالت گذرای شبکه‌های توزیع در نظر گرفتن مدل بار و روابط مربوط به وابستگی آنها به ولتاژ و فرکانس از اهمیت بالایی برخوردار است. وابستگی بارها به ولتاژ و فرکانس تاثیر مستقیم بر روی ولتاژها و فرکانس شبکه هنگام بروز حالت جزیره‌ای دارد و نحوه‌ی تغییرات آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اینگونه رفتارهای متفاوت در تغییرات ولتاژها و فرکانس شبکه بر روی عملکرد رله‌های ولتاژی و فرکانسی که برای تشخیص حالت جزیره‌ای استفاده می‌شوند، تاثیر می‌گذارد و باعث عملکرد نامناسب آنها می‌شود. در [۱۰] از روابط زیر برای بیان وابستگی توانهای اکتیو و راکتیو بارها به ولتاژ و فرکانس پیشنهاد شده است:

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{k_{pv}} \left( 1 + k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \right) \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{k_{qv}} \left( 1 + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right) \quad (2)$$

در این روابط  $P_0$  و  $Q_0$  توان اکتیو و راکتیو مصرفی بارها در ولتاژ و فرکانس نامی،  $k_{pf}$  و  $k_{pv}$  ضریب وابستگی توان اکتیو و راکتیو بارها به فرکانس، و  $k_{qf}$  و  $k_{qv}$  ضریب وابستگی توان اکتیو و راکتیو بارها به ولتاژ می‌باشد. مقدار این ضرایب به نوع بار (از نظر تجاری، خانگی و یا صنعتی)، فصل و همچنین



شکل ۱: نقطه کار جدید برای ولتاژ با بروز حالت جزیره‌ای و بارهای با ضریب وابستگی مختلف به ولتاژ و فرکانس

یکدیگر برابر نمی‌باشد که این مساله موجب تغییر فرکانس و ولتاژ می‌شود. کمبود و یا بیشبود توان راکتیو موجب کاهش و یا افزایش ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده می‌گردد که رله‌های ولتاژی نیز از همین تغییرات برای تشخیص حالت جزیره‌ای استفاده می‌کنند. مشکل این نوع تشخیص حالت جزیره‌ای اینست که بهنگام بروز حالت جزیره‌ای که در آن اختلاف بین توان تولیدی و مصرفی در بخش جزیره شده بسیار کم باشد تشخیص حالت جزیره‌ای بسیار مشکل خواهد بود. بعلاوه اثر وابستگی بارها به ولتاژ و فرکانس باعث می‌شود که مثلاً با کمبود توان اکتیو و راکتیو در شبکه، توان مصرفی بارها بگونه‌ای تغییر کند که امکان حصول نقطه کار جدیدی در شبکه که در آن نقطه نیز ولتاژها و فرکانسها در محدوده‌ی مجاز خود هستند وجود دارد. در شکل (۱) نمونه‌ای از تغییرات ولتاژ و حصول نقطه کار جدید برای یک شبکه جزیره شده با ضرایب وابستگی مختلف به ولتاژ و فرکانس برای بارها نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود هر قدر ضریب وابستگی بیشتر باشد انحراف ولتاژ از ولتاژ اولیه کمتر خواهد بود.

### ۳- روش پیشنهادی

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است. در این روش ولتاژ ترمینالهای منبع تولید پراکنده در هر نیم سیکل اندازه‌گیری شده و  $\frac{dv}{dt}$  محاسبه می‌گردد. پارامتر  $avg$  بصورت میانگین تغییرات ولتاژ در ۵ سیکل متوالی

آب و هوا بستگی دارد [۱۱]. مقدار ضرایب  $k_{pv}$  و  $k_{qv}$  برای چند نوع بار در فصل تابستان و همچنین ضرایب وابستگی چند نوع بار نمونه به فرکانس ( $k_{pf}$  و  $k_{qf}$ ) در جداول (۱) و (۲) آمده است [۱۲]. نکته قابل توجه اینست که تغییرات فرکانس در شبکه بعلت اینرسی موجود در سیستم بطور پیوسته و به کندی تغییر می‌کند. این در حالست که تغییرات ولتاژ با سرعت بیشتر و بصورت لحظه‌ای می‌باشد. بنابراین از آنجاکه ولتاژها میتوانند تغییرات بیشتری در مدت زمان کوتاهی داشته باشند، در روابط فوق اثر وابستگی بارها به ولتاژ نسبت به وابستگی آنها به فرکانس بیشتر حائز اهمیت است و عامل غالب در تغییر توانهای مصرفی بارها می‌باشد. در این مقاله ضرایب وابستگی مختلف برای بارها در نظر گرفته شده است:

$$\begin{aligned} \text{بار نوع اول} & k_{pf} = k_{qf} = k_{pv} = k_{qv} = 0 \\ \text{بار نوع دوم} & k_{pf} = k_{qf} = k_{pv} = k_{qv} = 1 \\ \text{بار نوع سوم} & k_{pf} = k_{qf} = k_{pv} = k_{qv} = 2 \end{aligned}$$

جدول ۱: ضرایب وابستگی توانهای چند نوع بار مختلف به ولتاژ

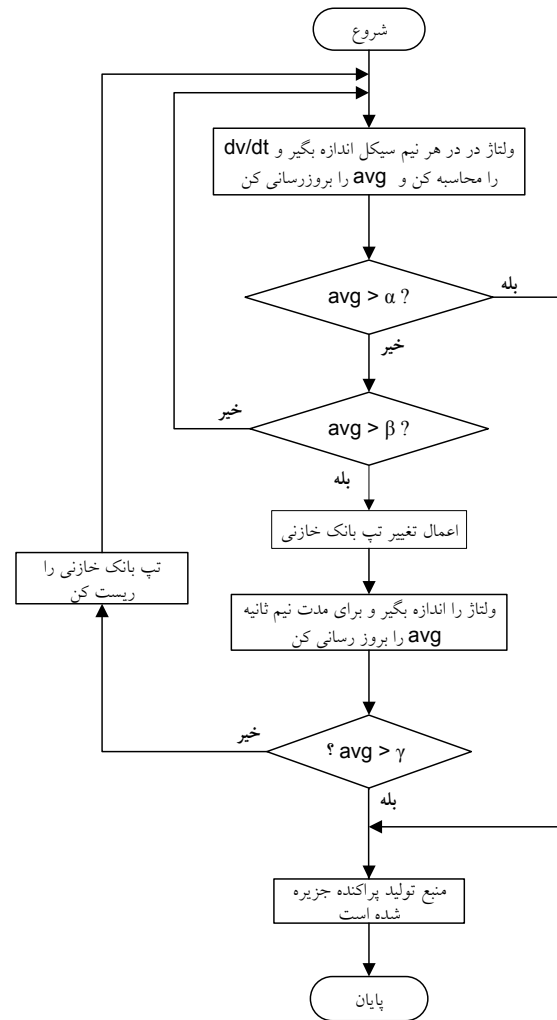
نوع بار	$k_{pv}$	$k_{qv}$
صنعتی	۰/۱۸	۶
تجاری	۰/۹۹	۳/۵۰
خانگی	۱/۲	۲/۹
توان ثابت	۰	۰
جریان ثابت	۱	۱
امپدانس ثابت	۲	۲

جدول ۲: جدول وابستگی توانهای چند نوع بار مختلف به فرکانس

نوع بار	$k_{pf}$	$k_{qf}$
تهویه هوای سه فاز	۰/۹۸	-۱/۳
آبگرمکن برقی	۰	۰
ماشین لباسشویی	۳	۱/۸
لامپهای فلورسنت	۱	-۲/۸
یخچال	۰/۵۳	-۱/۵
موتورهای صنعتی	۲/۵	۱/۲

در شبکه های جزیره شده بهنگام بروز حالت جزیره‌ای لزوماً توان اکتیو و راکتیو مصرفی و تولیدی در بخش جزیره شده با

تعریف می‌گردد. استفاده از میانگین تغییرات ولتاژ باعث کاهش اثر خطا در محاسبات و اندازه‌گیری می‌شود. اندازه پارامتر  $avg$  با حد تنظیمی  $\alpha$  مقایسه می‌شود و اگر از آن بزرگتر باشد (در نتیجه‌ی اختلاف زیاد بین توانهای تولیدی و مصرفی در بخش جزیره شده) حالت جزیره سریعاً تشخیص داده شده و منبع تولید پراکنده از شبکه جدا می‌گردد. میزان افت ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده با اختلاف بین تولید و مصرف در بخش جزیره شده رابطه مستقیم دارد. بنابراین برای تشخیص حالت جزیره‌ای که در آن اختلاف تولید و مصرف در بخش جزیره شده مقدار کمی داشته باشد بایستی پارامتر  $avg$  بر روی مقادیر کوچکی تنظیم گردد. از طرفی دیگر، در نظر گرفتن مقادیر تنظیمی کوچک برای  $avg$  باعث می‌شود که



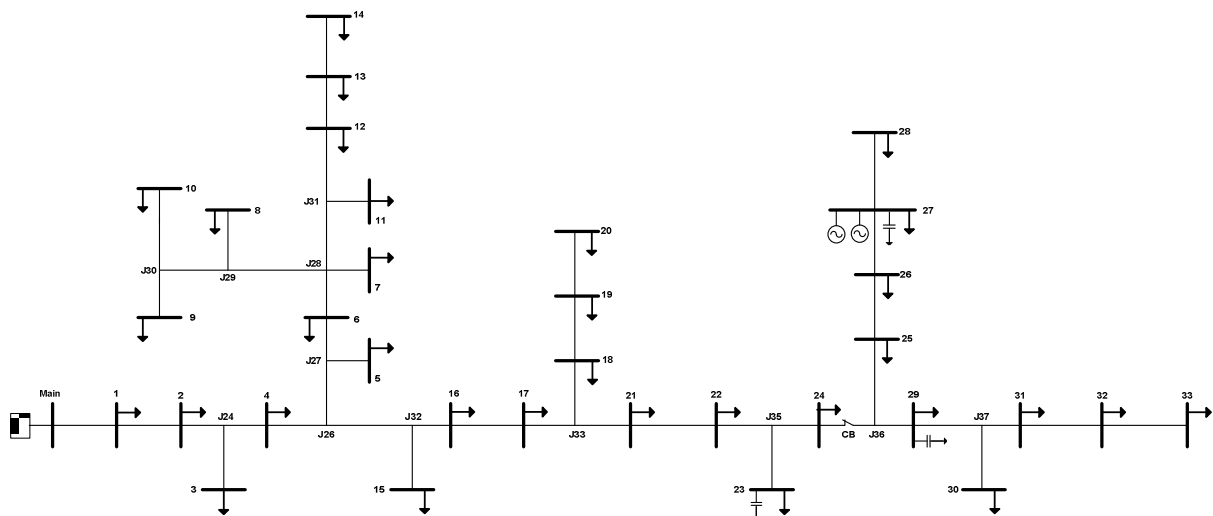
برای اتفاقات دیگری در شبکه غیر از جزیره‌ای شدن منبع تولید پراکنده تشخیص اشتباه داده شود. حد تنظیمی  $\alpha$  مقدار بزرگی دارد تا تنها در اثر بروز حالت جزیره‌ای با اختلاف زیاد بین تولید و مصرف، حالت جزیره‌ای تشخیص داده شود. در جدول (۳) مقادیر مختلف برای  $avg$  با بروز حالت جزیره‌ای برای اختلاف توانهای مختلف آمده است.

سپس  $avg$  با حد تنظیمی  $\beta$  مقایسه می‌گردد. مقدار در نظر گرفته شده برای  $\beta$  بایستی بگونه‌ای باشد تا بروز حالت جزیره‌ای با اختلاف توان کوچک نیز توسط پارامتر  $avg$  تشخیص داده شود. حد تنظیمی کوچک برای  $\beta$  باعث می‌شود تا تغییرات ولتاژ ناشی از بروز اتفاقات دیگری غیر از جزیره‌ای شدن نیز از حد تنظیمی  $\beta$  فراتر روند. بنابراین تغییرات ولتاژ ایجاد شده می‌تواند در اثر بروز حالت جزیره‌ای و یا اتفاقات دیگری در شبکه باشد. در صورتیکه  $avg$  از حد  $\beta$  بزرگتر بود، فرمان  $TSE^1$  برای بانک خازنی ارسال می‌گردد. این فرمان با توجه به نحوه تغییرات ولتاژ، تپ بانک خازنی یک پله افزایش و یا کاهش می‌دهد و تغییر ولتاژی در ترمینالهای منبع تولید پراکنده ایجاد می‌شود. مساله قابل توجه که در شبیه‌سازیها نیز مشاهده خواهد شد اینست که در صورتیکه تغییرات ولتاژ ایجاد شده اولیه ناشی از عوامل دیگری غیر از بروز حالت جزیره‌ای باشد، یک پله تغییر در تپ بانک خازنی باعث ایجاد تغییرات زیادی در ولتاژ ترمینالهای منبع تولید پراکنده نمی‌شود. درحالیکه اگر تغییرات ولتاژ ناشی از جزیره‌ای شدن باشد، این تغییرات قابل توجه خواهد بود. از آنجاکه تغییر تپ بانکهای خازنی بصورت مکانیکی انجام می‌شود لذا پروسه تغییر تپ در بانک خازنی فرآیندی با تاخیر می‌باشد. بنابراین از لحظه‌ی صدور فرمان تا تغییر تپ بانک خازنی نیاز به مدت زمان مشخصی می‌باشد.

پس از صدور فرمان تغییر تپ، تغییرات ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده دائماً اندازه‌گیری شده و میانگین آنها برای هر پنج سیکل متوالی محاسبه می‌شود و پارامتر  $avg$  بروزرسانی می‌گردد. محاسبه  $avg$  برای مدت نیم ثانیه ادامه

شکل ۲ فلوجارت روش پیشنهادی

<sup>1</sup> Tap Switch Event



شکل ۳: نمودار تک خطی شبکه مورد مطالعه

#### ۴- شبکه مورد مطالعه و نتایج شبیه‌سازی

روش پیشنهادی بر روی یکی از فیدرهای سیستم توزیع شهر سیرجان پیاده‌سازی شده است. نمودار تک خطی این شبکه که دارای ۳۴ باس می‌باشد در شکل (۳) آمده است. در این شبکه دو واحد تست منبع تولید پراکنده در باس شماره ۲۷ قرار گرفته شده است که روش پیشنهادی بر روی یکی از این منابع تولید پراکنده اعمال شده است. میزان تولید توان اکتیو و راکتیو منابع تولید پراکنده و بانکهای خازنی و پارامترهای منبع تولید پراکنده در جداول (۴) و (۵) آمده‌اند. توان مصرفی بارها و امپدانس خطوط در [۱۳] آمده است. برای بانک خازنی موجود در باس شماره ۲۷ تغییر تپ در گامهای یکسان ۰/۱ مگاوار در نظر گرفته شده است. بروز حالت جزیره‌ای با باز شدن *CB* و در زمان  $t=0$  شبیه‌سازی شده است و سناریوهای مختلفی با توجه به بارگذاریهای مختلف برای بار موجود در باس شماره ۲۷ در نظر گرفته شده است. طی این سناریوها با بروز حالت جزیره‌ای، کمبود و یا بیشبود توانهای مختلف در بخش جزیره شده ایجاد می‌شود و کارایی روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین اتفاقات دیگری از جمله خروج بانکهای خازنی مجاور و یا خروج و یا تغییر توان بارها موجب تغییرات ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده می‌شود. بنابراین، افزایش توان مصرفی بار موجود در باس شماره ۲۶ به دو برابر و سوئیچینگ بانک خازنی موجود در باس شماره ۲۳ نیز شبیه-

محاسبه *avg* برای مدت نیم ثانیه ادامه می‌یابد تا از تغییر تپ بانک خازنی در این بازه اطمینان حاصل گردد. در مدت نیم ثانیه محاسبه پارامتر *avg*، اگر اندازه این پارامتر از حد تنظیمی  $\gamma$  فراتر رود، حالت جزیره تشخیص داده می‌شود و در غیر اینصورت تپ بانک خازنی به حالت اولیه باز می‌گردد. حد تنظیمی  $\gamma$  بر روی مقادیر بزرگتری از  $\beta$  تنظیم می‌گردد تا بروز حالت جزیره‌ای از سایر اتفاقات ایجاد شده در شبکه تشخیص داده شود. مقدار حد تنظیمی برای  $\gamma$  به حد تنظیمی  $\beta$  و همچنین تغییر توان راکتیو بانک خازنی در اثر تغییر تپ پارامترهای شبکه بستگی دارد.

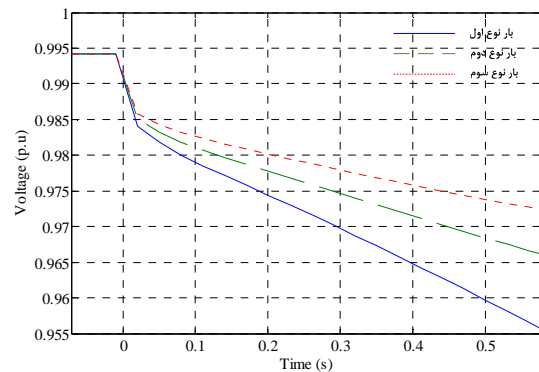
جدول ۳: مقادیر *avg* حاصل شده برای کمبود توانهای مختلف

کمبود توان ( $MW + jMVar$ )	<i>avg</i>
$0.001 + j0.001$	-۲/۹۸
$0.005 + j0.005$	-۱۵/۲۷
$0.01 + j0.01$	-۳۰/۴۰
$0.05 + j0.05$	-۱۵۱/۹۷
$0.1 + j0.1$	-۳۰۲/۱۱
$0.5 + j0.5$	-۱۴۷۲/۴۹

سازی شده است و در مورد آنها نیز کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار حدود تنظیمی برای  $\alpha$  و  $\beta$  بترتیب ۱۵- و ۱۵۰- (برابر با  $avg$  برای کمبود توانهای  $5kW + j5kVar$  و  $50kW + j50kVar$ ) در نظر گرفته شده است. فرض شده است که تغییر تپ بانک خازنی در زمان  $t = 0.4s$  پس از صدور فرمان TSE انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مذکور در ادامه آمده است.

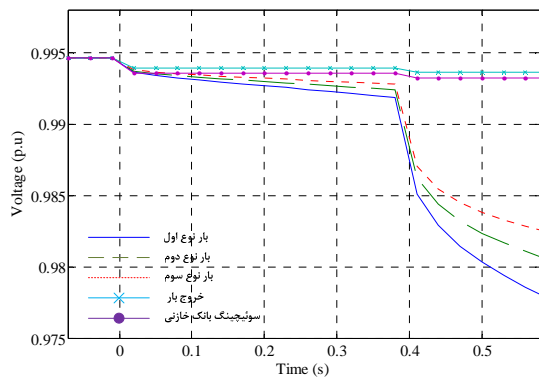
### سناریو ۱:

در این سناریو توان مصرفی بار موجود در باس شماره ۲۶ برابر با  $150kW + j13.6kVar$  می‌باشد. بروز حالت جزیره‌ای باعث کمبود توان  $0.1MW + 0.1MVar$  در بخش جزیره شده می‌گردد.  $avg$  محاسبه شده پس از بروز حالت جزیره‌ای برای بارهای نوع اول تا سوم بترتیب برابر با  $367V/s$ ،  $302V/s$  و  $287V/s$  می‌باشد که در همه موارد بیشتر از حد تنظیمی  $\alpha$  می‌باشد. بنابراین حالت جزیره‌ای سریعاً تشخیص داده شده و منبع تولید پراکنده از شبکه جدا می‌گردد. نمودار تغییرات ولتاژ با بروز حالت جزیره برای مدلهای مختلف بار با ضرایب وابستگی مختلف در شکل (۴) آمده است.



شکل ۴: نمودار تغییرات ولتاژ با بروز حالت جزیره‌ای در سناریو ۱

$avg$  محاسبه شده برای بارها نوع اول تا سوم بترتیب برابر با مقادیر  $367V/s$ ،  $302V/s$  و  $287V/s$  می‌شود. تمامی مقادیر فوق بیشتر از حد تنظیمی برای  $\alpha$  می‌باشند و بنابراین فرمان TSE صادر می‌گردد. پس از سوئیچینگ بانک خازنی  $avg$  برای بارهای نوع اول تا سوم بترتیب برابر با  $287V/s$ ،  $259V/s$  و  $214V/s$  می‌شود که همگی بزرگتر از حد  $\gamma = 210$  می‌باشند و حالت جزیره‌ای بدرستی تشخیص داده می‌شود. خروج بانک خازنی موجود در باس شماره ۲۴ و افزایش بار موجود در باس شماره ۲۷ نیز باعث ایجاد  $avg$  برابر با  $383V/s$  و  $244V/s$  می‌شوند. بنابراین فرمان TSE صادر می‌گردد و با تغییر تپ بانک خازنی حداکثر مقدار  $avg$  به مقادیر  $11/4V/s$  و  $11/3V/s$  برای خروج بانک خازنی و افزایش بار می‌رسد. این مقادیر کمتر از حد تنظیمی برای  $\delta$  می‌باشند و بدرستی حالت جزیره‌ای تشخیص داده نمی‌شوند. نمودار تغییرات ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده با بروز حالت جزیره‌ای برای بارهای نوع اول تا سوم، افزایش بار و سوئیچینگ بانک خازنی در شکل (۵) آمده است.



شکل ۵: نمودار تغییرات ولتاژ با بروز حالت جزیره‌ای در سناریو ۲

### سناریو ۳:

در این سناریو توان مصرفی بار موجود در باس شماره ۲۸ برابر با  $40kW + j26kVar$  می‌باشد. بروز حالت جزیره‌ای باعث ازدیاد توان  $0.01MW$  و  $0.01MVar$  در بخش جزیره شده می‌شود. با باز شدن CB و بروز حالت جزیره‌ای،  $avg$  محاسبه شده برای بارهای نوع اول تا سوم بترتیب به مقادیر  $31/3V/s$ ،  $28/7V/s$  و  $26/4V/s$  می‌رسد که همگی بالاتر از

### سناریو ۲:

توان مصرفی بار موجود در باس شماره ۲۶ در این سناریو برابر با  $60kW + j46kVar$  می‌باشد. بروز حالت جزیره‌ای در این حالت باعث کمبود توان  $0.01MW$  و  $0.01MVar$  در بخش جزیره شده می‌باشد. پس از بروز حالت جزیره‌ای

دائم در شبکه وجود ندارد. روش ارائه شده قادر به تشخیص حالت جزیره‌ای حتی در مواقعی که اختلاف بین تولید و مصرف در بخش جزیره شده بسیار کم است نیز می‌باشد. دو نمونه از سایر اتفاقات غیر از بروز حالت جزیره‌ای در شبکه که منجر به تغییرات ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده می‌گردند نیز بررسی شده است و نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی این وقایع را بدرستی بروز حالت جزیره‌ای منبع تولید پراکنده تشخیص نمی‌دهد.

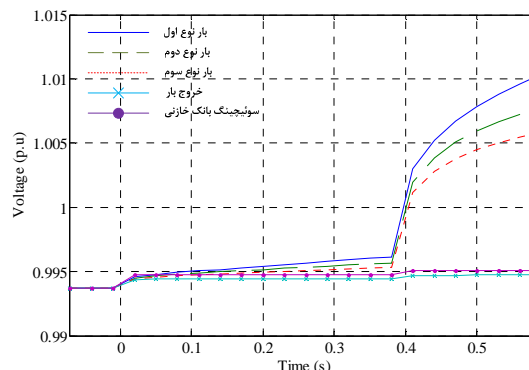
جدول ۴: توانهای تولیدی منابع تولید پراکنده و بانکهای خازنی

نام منبع	$P_G(MW)$	$Q_G(MVar)$
DG <sub>1</sub>	0.5	0
DG <sub>2</sub>	0.5	0
C <sub>1</sub>	0	0.9
C <sub>2</sub>	0	0.4

جدول ۵: اطلاعات پارامترهای میکروتوربین سنکرون

پارامتر	مقدار
Rated power	1.2 MW
Rated voltage	6.3 kV
Stator resistance	0.0504 p.u.
Stator reactance	0.1 p.u.
Synchronous reactance d-axis	1.5 p.u.
Synchronous reactance q-axis	0.75 p.u.
Transient reactance d-axis	0.256 p.u.
Sub-transient reactance d-axis	0.168 p.u.
Sub-transient reactance q-axis	0.184 p.u.
Transient time constant d-axis	0.53 p.u.
Sub-transient time constant d-axis	0.03 p.u.
Sub-transient time constant q-axis	0.03 p.u.
Inertia time constant	1 s

حد تنظیمی برای  $\beta$  می‌باشند. پس از اعمال افزایش تپ بانک خازنی، مقدار  $avg$  محاسبه شده برای بارهای نوع اول تا سوم بترتیب برابر با  $291 V/s$ ،  $263 V/s$  و  $241 V/s$  می‌باشد که تمامی آنها بالاتر از حد تنظیمی برای  $\gamma$  می‌باشند و حالت جزیره‌ای بدرستی تشخیص داده می‌شود. خروج بار موجود در باس شماره ۲۸ و اتصال بانک خازنی به باس شماره ۲۴ باعث ایجاد  $avg$  برابر با  $37/6 V/s$  و  $24 V/s$  می‌شود و فرمان تغییر تپ برای بانک خازنی ارسال می‌گردد. با افزایش تپ بانک خازنی حداکثر مقدار  $avg$  برای خروج بار اتصال بانک خازنی به مقادیر  $11/3 V/s$  و  $11/2 V/s$  می‌رسد و بنابراین این اتفاقات بدرستی بعنوان بروز حالت جزیره‌ای تشخیص داده نمی‌شوند. شکل (۶) تغییرات ولتاژ در ترمینالهای منبع تولید پراکنده بهنگام بروز حالت جزیره‌ای برای بارهای نوع اول تا سوم و سایر اتفاقات مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۶: نمودار تغییرات ولتاژ با بروز حالت جزیره‌ای در سناریو ۳

## ۵- نتیجه‌گیری

از آنجاکه روشهای پسیو در تشخیص حالت جزیره‌ای دارای محدودی غیرقابل تشخیص زیادی هستند و روشهای اکتیو بدلیل اینکه دائماً اختلال وارد شبکه می‌کنند همواره مناسب نیستند، روشهای هایبرید می‌توانند این دو نقیصه را برطرف کرده و راه‌حل مناسبی برای تشخیص حالت جزیره‌ای باشند. در این مقاله روش جدید هایبرید برای تشخیص حالت جزیره‌ای ارائه شده است که با استفاده از اندازه‌گیری نرخ تغییرات ولتاژ و تغییر تپ بانک خازنی استفاده می‌کند. تغییر تپ بانک خازنی هنگامی صورت می‌گیرد که عدم قطعیت در تشخیص حالت جزیره‌ای وجود دارد و بنابراین مشکل ایجاد اختلال

## ۶- مراجع

- [۱] "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources into Electric Power Systems," in *IEEE Standard 1547TM*, ed.
- [۲] P. O'Kane and B. Fox, "Loss of mains detection for embedded generation by system impedance monitoring," in *Developments in Power System Protection, Sixth International Conference on (Conf. Publ. No. 434)*, 1997, pp. 95-98.
- [۳] M. E. Ropp, et al., "Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 14, pp. 810-816, 1999.
- [۴] J. W. a. W. H. Allen, "Loss of mains protection," in *Circuit Protection for industrial and Commercial Installation*, London, U.K., 1990 pp. 4.3.1-4.3.12.

- [۵] S. I. Jang and K. H. Kim, "A new islanding detection algorithm for distributed generations interconnected with utility networks," in *Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International Conference on*, 2004, pp. 571-574 Vol.2.
- [۶] J. Sung-II and K. Kwang-Ho, "An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion of current," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 745-752, 2004.
- [۷] P. Mahat, *et al.*, "A Hybrid Islanding Detection Technique Using Average Rate of Voltage Change and Real Power Shift," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 764-771, 2009.
- [۸] V. Menon and M. H. Nehrir, "A Hybrid Islanding Detection Technique Using Voltage Unbalance and Frequency Set Point," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 22, pp. 442-448, 2007.
- [۹] مهدی گرمودی حسین عسکریان ایبانه، "روش جدید هایبرید برای حفاظت ضدجزیره ای با استفاده از رله های فرکانسی و تغییر توان اکتیو"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۹.
- [۱۰] "Load representation for dynamic performance analysis [of power systems]," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 8, pp. 472-482, 1993.
- [۱۱] H. H. Zeineldin and M. M. A. Salama, "Impact of Load Frequency Dependence on the NDZ and Performance of the SFS Islanding Detection Method," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 139-146, 2011.
- [۱۲] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. New York: McGrawHill, 1994.
- [۱۳] V. Farahani, *et al.*, "An improved reconfiguration method for maximum loss reduction using Discrete Genetic algorithm," in *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International*, 2010, pp. 178-183.