A new multi-objective load shedding method to reduce power outages and frequency stability in the islanded microgrid

Reza Eslami1

1- Department of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran Email: eslami@sut.ac.ir (Corresponding author)

Abstract:

Power systems are complex systems that are not easy to understand and analyze. Also, many faults and incidents occur in these systems, many of which are mended without human interference. Meanwhile, electricity companies are responsible for the security of power systems and operators because if any part of the power system acts as an unwanted island, it may be unsafe for grid personnel and may result in serious damages to grid equipment. Therefore, it is important and necessary to identify the parts of the grid, which have become islands, and apply load shedding to abolish these islands. This paper proposes a new approach for load shedding in the islanded microgrid in the presence of distributed generations. Features of the proposed method include high flexibility, speed, and accuracy. The proposed method is simulated by powerful DIgSILENT software, and the simulation results support the capability of the proposed method.

Keywords: Load shedding, Frequency stability, Islanded microgrid, Multi-objective optimization

Submit date: 2021/05/03 Accepted date: 2021/09/18

Corresponding author Name: Reza Eslami Corresponding author address: Department of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

روش جدید بار زدایی چندهدفه برای کاهش قطعی برق و پایداری فرکانس در ریزشبکه جزیرهای

رضا اسلامی ا

۱- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سهند تبریز- تبریز- ایران eslami@sut.ac.ir

چکیده: سیستم قدرت یک سیستم پیچیده است که درک و تحلیل آن آسان نیست. همچنین خطاها و اتفاقات زیادی در سیستم مذکور رخ میدهد که بسیاری از آنها بدون دخالت انسان اصلاح میشود. در این میان شرکتهای برق مسئولیت امنیت سیستمها و اپراتورهای برق را بر عهدهدارند، زیرا اگر هر قسمت از سیستم قدرت بهعنوان جزیره ناخواسته عمل کند، ممکن است برای پرسنل شبکه ناامن باشد و همچنین ممکن است آسیبهای جدی به تجهیزات شبکه وارد کند. بنابراین، شناسایی بخشهایی از شبکه که به جزیره تبدیلشدهاند، مهم و ضروری است و برای از بین بردن این جزایر، کاهش بار اعمال میشود. در این مقاله، رویکرد جدیدی برای کاهش بار در ریز شبکه جزیرهای با حضور تولیدات پراکنده پیشنهادشده است. از ویژگیهای روش پیشنهادی میتوان به انعطاف پذیری، سرعت و دقت بالا اشاره کرد. روش پیشنهادی توسط نرمافزار قدرتمند DigSilent شبیهسازی شنامان شیه و نی بازی شیه و نازی است شبیهسازی باقابلیت روش پیشنهادی مطابقت دارد.

واژههای کلیدی: بار زدایی- پایداری فرکانس- ریزشبکه جزیرهای- بهینهسازی چندهدفه

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۰/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

نام نویسندهی مسئول : رضا اسلامی

نشانی نویسنده ی مسئول : دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سهند تبریز- تبریز- ایران

٧.

۱ ـ مقدمه

درزمینهی صنعت برق، تحول عظیمی در سیستمهای تولید و انت قال انرژی در اکثر کشورهای تو سعهیافته رخداده است که دارای مزایای متعددی در موارد فنی و اقتصادی شبکههای تولید و انتقال هست. این سیستم جدید تولید انرژی، تولیدات پراکنده (DG) نامیده میشود.

علیرغم تمام مزایای DG ها، وجود DG ممکن است ا ثرات من فی بر پروفیلهای ولتاژ و هماهنگی حفاظت در شبکههای توزیع داشته باشد، بنابراین بهرهبرداری و کنترل شبکه پیچیدهتر می شود (Cosovic et al., 2021 های اتصال DG ها به شبکه باعث ایجاد هارمون یک و کاهش امپدانس اتصال کوتاه میشود. علاوه بر این، ا گر DG های مت صل به شبکه در هنگام قطعی برق بهعنوان جزیره کار کن ند، میتوا ند برای پرسنل شبکه خطرناک باشد. جزیرهای به معنای قطع برق خواسته یا ناخواسته بخشی از سیستم توزیع از منبع اصلی برق است. شکل (۱) تغییرات ولتاژ را در طول جزیرهای نشان میدهد.

کنترل فرکانس و ولتاژ شبکه یکی از موارد مهم در یک پارچگی شبکه است. بنابراین فرکانس و ولتاژ و بهطورکلی تمامی پارامتر های اسا سی شبکه باید در بازه زمانی معین (پس از و قوع شرایط ا ضطراری) به حالت قابلقبول خود برگردند. کاهش بار یکی از روشهای را یج برای کنترل وضعیتهای اضطراری شبکه است. در سالهای اخیر مطالا ات زیادی درزمینه کاهش بار انجامشده است.



شکل (۱): تغییرات ولتاژ در طول تشکیل ریزشبکه جزیرهای

طرح ارائه شده در (2021, Sun et al., 2021) برای حفا ظت از سی ستم مناسب نبود. در این مطالعه استراتژی کاهش بار بر اساس شاخصهای ولتاژ و فرکانس در نظر گرفته شد. در این استراتژی، کاهش بار خارج از محدوده ولتاژ و فرکانس موردنظر، با تو جه به منح نی V-V توان راکتیو انجام شد. علاوه بر این، تابع هدف این مقا له، سی ستم را در شرایط اضطراری شدید ترکیبی قرار می داد که در آن میزان کاهش بار را بهعنوان مبنایی برای کاهش بار اعلام کرد و مدل دقیق بار را برای نتایج بهتر توصیه کرد. در این مقا له، ریز شبکه به جزا یر کو چکتر تقسیم شده و کاهش بار بر اساس نرخ اغتشاش انجام شد. در این روش زمان تأخیر هر مرحله مقدار بیشتری در نظر گرفته شد، ب نابراین این

روش کنترلی در ریزشبکه های کم توان که باید در کم ترین ز مان ممکن پایدار شوند، نامناسب بوده و باعث ازهم پاشیدگی این ریز شبکه ها می شود. در (Kabir et al., 2020)، یک مکانیسم جدید کاهش بار تطبیقی پویا در صورت از دست دادن تصادفی تولید در شبکه ارائهشده است. در این روش باس های مختلف بر ا ساس شاخص ول تاژ برای شرکت در برنامه کاهش بار اولویت؛ خدی می شوند. در (Parniani et al., 2006) سرعت و د قت بهعنوان عوا مل اسا سي در كاهش بار فرکانس برای حفظ پا یداری ریز شبکه معر فی و ا ستفاده از سی ستم SCADA برای بهبود کاستیهای مدل حفا ظت تطبیقی ارائه شد. اگرچه در این روش از دقت بالایی استفاده شده است، ا ما در صورت بروز مشکل در سیستم اسکادا قابل اجرا نبوده و به دل یل هزینه بالای آن در ریزشبکه های کوچک از این روش استفاده نمی شود. همچ نین، یک استراتژی کاهش بار ا ستاتیکی در (Yan et al., 2020) پی شنهاد شد که در آن مقدار ثابتی از بار با کاهش فر کانس قطع می شد. در (Wang et al., 2019)، روشی در سیستم کنترل مرکزی برای ان جام تخلیه سریع بار ارائه شد که در ریزشبکه های کمتوان قا بل اجرا نا بود. در (Hirodontis et al., 2009)، مشکلات کاهش بار تطبی قی مانند تخمین دامنه اختلال، موقعیت های برش و ا قدامات کنتر لی تو سط رلهها معرفی شد. مرجع (Santos et al., 2019) دارای یک سیاستم چندعاملی سلسله مراتبی مرکزی است که مراحل مختلف نظارت و فرآیندهای تصمیم گیری را هماهنگ می کند. این مقاله با عث کاهش اختلالات فرکانس در شبکه با حداقل میزان خاموشی در کمترین زمان ممكن مىشود.

در مقالهای دیگر، نویسنده ادعا کرد که اگر چندین منبع در ریز شبکه ها وجود داشته باشد، بهتر است نتیجه نمودارهای نرخ تغییر فر کانس را در نظر بگیریم. در استاندارد کاهش بار اسلوونی، چهار مقدار فرکانس آستانه تعریف شده است که در آن درصد بار قطع شده از کل ریز شبکه برای هر فرکانس آستانه با در نظر گرفتن نرخ اختلال تعریفشده است. مقاله مذکور بیشتر بر اصلاح ضرایب درصد بار قطعشده تمرکز دا شت. این مقاله شامل نتایج مطلوب برای ریزشبکه های توان بالا ه ست. ا ما برای ریزشبکه های کم توان مفید نبود (Rudez et al., 2011). در (Rudez et al., 2021)، نویسندگان نشان دادند که در یک مورد از پنج مورد کاهش بار، می توان پاسخ مناسبی به کمبود برق به د ست آورد. همچنین با توجه به اینکه شیب (نرخ تغییر فر کانس) به تنهایی قادر به پاسخ قانع کند نده نیاست، نویا سندگان خرخ تغییر فر کانس را برحسب ولتاژ پیشنهاد کردند. مرجع (Sapari et al., 2017) فرکانس شبکه را با بیرون انداختن بارهای اضافی ثابت کرد و با حذف باس های حساس، شبکه را تثبیت کرد. بااین حال، این روش را تنها برای شبکههای حاوی دو ژنراتور آبی کوچک تجزیهوتحلیل کرد. علاوه بر این، (Rudez et al., 2011) نشان داد که تقعر در فرکانس ریزش جار قابل تعیین است. اما اختلالات بزرگ منجر به کاهش فرکانس ریز شبکه شد و ولتاژ باس ها به کمبود توانهای اکتیو و راکتیو یا به اطلا عات

عدم تعادل بین بار و تولید وابسته بود. در (Girgis et al., 2010)، نرخ تغییر فرکانس برای تخمین دامنه اغتشاش و نرخ تغییر ولتاژ مربوط به توان راکتیو برای شناسایی باسها استفاده شد که نیاز به کاهش بار داشتند. برای محا سبه غرخ تغییر فر کانس و ولتاژ، با استفاده از دستگاههایی مانند پایداری عددی یا وا حدهای اندازه گیری فاز یا روشهایی مانند فیلتر کالمن برای تخمین پارامترها پیشنهاد شد. این روش نتایج خوبی به همراه داشت. بااین حال، در ریز شبکههای مدرن، حداقل در ریزشبکههای کمتوان، بارها غال جاً اولویت؛ خدی می شوند و نمى توان گفت كه كاهش بار بايد طبق شرايط اولويت ريز شبكه ان جام شود (Girgis et al., 2010). در (Ford et al., 2009)، یک کاهش بار تطبیقی جدید ارائهشده است که از کاهش زیاد فرکانس در شرایط اضطراری جلوگیری میکند و اضافهبار خط را به حداقل می ساند. اندازه و موقع یت اغت شاش در مدلهای غیرمتمر کز م شخص ن بود، بنابراین نرخ اغتشاش وابسته به نرخ تغییر فر کانس و ثابت اینر سی و تغییر موضعی فرکانس اغتشاش بود. درنتی جه، تلاش شد تا مقدار فرکانس آستانه با استفاده از این موارد در این مطالعه بهینه شود. سپس با م یانگین گیری نه ودار فر کانس ریز شبکه (کل م ناطق در ریزشبکه)، اگر میانگین فر کانس ریز شبکه کم تر از مقدار فر کانس آستانه بود، کاهش بار ان جام شود. . در (Hirodontis et al., 2009) علاوه بر پایداری فرکانس، پایداری ولتاژ نیز در نظر گرفته شد و معادله نوسان و سیستمهای مخابراتی به ترتیب برای محاسبه دامنه اختلال و انتقال اطلاعات استفاده شدند. در این روش، انتخاب زمان نمونهبرداری کوچک (زمان نمونه برداری اطلاعات برای ار سال) م شکلاتی از جمله انحراف در نوسانات طبیعی فرکانس ایجاد کرد. همچ خین سی ستمهای مخابراتی قادر به انتقال اطلاعات در مدت کوتاهی نبودند. در این روش برای هر ایستگاه یک رله پیشنهاد شد. این رلهها برنامه کاهش بار را بر اساس سطح ولتاژ باس های خاص در صورت تغییر فر کانس ا جرا می کردند و آن باسها به زیر مقدار آستانه رسیدند. هزینه در این مقاله ملاک ن جود و ف قط جن جه ف نی مورد بحث قرار گر فت. ط جق (Arulampalam et al., 2010)، زمانی که فرکانس ریزشبکه به مقدار کمتر از فرکانس آستانه کاهش یافت، کاهش بار بر ا ساس غرخ تغییر فركانس انجام شد. در این مقاله سعی شد فركانس آستانه اصلاح شود. اما با مشکل نوسانات فرکانس نرمال در فرکانس های نزدیک به فرکانس نرمال مواجه شد. بنابراین در مقاله مذکور از حلقه کنترل فاز برای حل این مشکل و انتخاب فرکانس دقیق استفاده شده است. علاوه بر این، شش مرحله با شش فرکانس آستانه متفاوت برای کاهش بار در نظر گرفته شد. یکی دیگر از استراتژیهای کاهش بار مبتنی بر اندازهگیری بار آنلاین و منحنی فرکانس بار بود. اما اطلا عات بار در ز مان واقعی همیشه در دسترس نبود و اندازه گیری بار آنلاین برای سی ستمهای توزيع كوچك گران بود. علاوه بر اين، تعيين وابستگي فر كانس بار ریزشبکه اغلب دشوار است. در استراتژی کاهش بار تطبیقی، تنظیم رله

با منحني فروپاشي فركانس تغيير يافت (Zhang et al., 2006)، كه بر اساس اطلاعات فرکانس، مقدار بار خارجشده تعیین شد (Kolluri et al., 2015). استراتژی کاهش بار تطبیقی به دادههای زمان واقعی بارها و تولیدات نیاز داشت و همچنین تعیین اینرسی ریزشبکه د شوار بود. مسائل ذکرشده در بالا برای ریزشبکه حاوی منابع تولید در مقیاس نیروگاههای بزرگ بود. در (Mahat et al., 2010)، کاهش بار ریزشبکه جزیرهای، که توسط DG های کمتوان تأمین می شود، مورد ، حث قرار گرفت. کاهش بار سیستم توزیع جزیرهای به دلیل مشخ صات مت فاوت باید با سیستمهای قدرت بالا متفاوت با شد. اکثر ژنراتور ها دارای اینرسی کوچک در سیستم توزیع جزیرهای هستند، بنابراین فر کانس تمايل به فروپاشى سريعتر دارد. در مر جع (Shekari et al., 2018) یک روش کاهش بار تو سط کنترل کننده مرکزی در سه مرحله پیشنهادشده ا ست. در مرح له اول الزا مات روش پی شنهادی تع یین می شود. مقدار بهینه و مکان بهینه کاهش بار مورد: یاز در مرحله دوم تعیین می شود و درنهایت در مرحله سوم نوع رویداد رخداده در فرآیند بلادرنگ تعیین میشود که بر ا ساس آن برنا مه کاهش جار از چیش تعیین شده بر روی شبکه اعمال می شود.

۲- روش پیشنهادی کاهش بار در ریزشبکه جزیرهای در حضور منابع تولید پراکنده

۲-۱- معرفی تابع هدف مقاله

کاهش بار با حضور DG ها یک فرآی ند بهینه سازی ا ست که برای اهداف مختلفی انجام میشود. این ا هداف در قا لب پارامتر های تابع هدف وارد مسئله بار زدایی میشوند. از آنجایی که مسئله بهینه سازی در نظر گرفته شده در این مقاله کاهش بار با حضور DG ها بر ا ساس عوامل پایداری و قابلیت اطمینان در پستهای فرعی انتقال است، این عوامل وارد تابع هدف خواهند شد. سپس با تجز یه و تحلیل هر یک از توابع هدف و نقاط ضعف و قوت آنها، تابع هدفی که می تواند نایج بهتری داشته باشد انتخاب شده و جداول ارائه شده برای هر یک از این ۸ تابع هدف مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۲- عوامل مؤثر بر کاهش بار در حضور منابع تولید پراکنده

روش جدید ارائهشده در این مقاله دارای مراحل زیر برای دستیابی به پایداری ریزشبکه جزیرهای در کوتاهترین زمان ممکن است: • ایجاد جدول انتخاب بر اساس ضریب تمایل به پرداخت هر م شترک (تشکیل این جدول بر اساس روش ارائه شده در مطالعه (Alhat et et) (al., 2010) انجامشده است).

Downloaded from ieijqp.ir on 2025-06-28

• پس از ارائه جدول انتخاب و اولویت خروج بار، با ایجاد ۸ تابع هدف که در ادامه معرفی می شوند، یک پروژه ا صلی و ۳ پروژه فر عی در نرمافزار DIgSILENT به منظور کاهش افت فر کانس شبکه، کاهش اور شوت فرکانس ریز شبکه و تعیین زمان هایی که این فرکانس ها رخ خواهند داد، نوشته می شود. توابع هدف تحلیل شده و بهترین تابع برای دستیابی به کوتاه ترین زمان ممکن برای دستیابی به پایداری انت خاب می شود. این کار با پیوند دادن دو نرما فزار DIgSILENT و Matlab انجام می شود که در آن الگوریتم بهینه سازی ژنتیک نوشته شده است. در ادامه، استراتژی کاهش بار پیشنهادی تحلیل می شود که متغیرهای شبکه را در قالب ۸ تابع هدف پوشش می دهد.

لا تابع هدف اول:

بهعنوان اولین گام، فر مول زیر جرای کاهش ا ختلاف بین حداکثر فرکانس ایجادشده و فرکانس پایه معرفیشده است:

$$\Delta f = a \, b \, s \left| 50 - f_{Overshot} \right| \tag{1}$$

f_{overshoot} در رابطه (۱) حداکثر فرکانس تولیدشده در شبکه به دلیل ایجاد حالت جزیرهای است.

لا تابع هدف دوم:

با کمک این تابع هدف می توان تفاوت بین فرکانس و فر کانس پا یه را به حداقل رساند. به منظور بررسی میزان تأثیر این پارامتر در د ستیابی به اهداف فوق، رابطه (۲) به طور جداگانه تعریف و تحلیل خواهد شد. $\Delta f = a b s | 50 - f_{Min} |$ (۲)

ابع هدف سوم:

یکی از عوامل در نظر گرفته شده برای د ستیابی به پا سخ منا سب، تحلیل حداکثر فرکانس ایجادشده در شبکه و همچنین حداقل فرکانس ایجادشده در ریزشبکه بهطور همزمان ا ست. بنابراین در این مرحله بهترین حالتی که در آن با قطع بار حداقلی، حداقل ا فت فر کانس و حداقل افت فرکانس به دست میآید، تحلیل می شود. بنابراین، تابع هدف برای این منظور در رابطه (۳) نوشتهشده است.

$$\Delta f = abs \left| 50 - f_{\min} \right| + abs \left| 50 - f_{Overshot} \right| \tag{7}$$

ابع هدف چهارم:

تابع هدف دادهشده در رابطه (۴) برای برر سی ز مان و قوع حداکثر فرکانس شبکه و حداکثر افت فرکانس استفاده می شود.

$$\Delta f = Time_{f_{min}} + Time_{f_{max}}$$

در تابع هدف (۴)، *Time_{f س} و Time* زمان هایی ه ستند که به ترتیب حداقل و حداکثر فرکانس شبکه رخ میدهد.

🛠 تابع هدف پنجم:

یکی از عوامل مهم در نظر گرفته شده در این مقاله، ز مان رخ دادن حداکثر افت فرکانس در شبکه است. برای این منظور، در تابع هدف

دادهشده در رابطه (۵)، زمان افت فرکانس بهینه معرفیشده است. ا ین زمان بهینه زمانی است که افت فرکانس در حداقل مقدار خود باشد. $\Delta f = Time_{f_{min}}$ (۵)

🛠 تابع هدف ششم:

در نظر گرفتن همز مان حداکثر فر کانس رخداده در شبکه ه مراه بازمانی که در آن این فرکانس ایجاد می شود، در تابع هدف دیگری که توسط رابطه (۶) مشخص شده است، ارائه شده است. در این تابع هدف، برای نرمالایز کردن عوا مل مختلف، عوا مل در ضریب وزنی ضرب می شوند. این ضریب وزنی اهمیت عوامل را نشان می دهد.

$$\Delta f = \lambda \times Time_{f_{\min}} + \lambda \times abs |50 - f_{\min}|$$
(۶) ر رابطه (۶)، λ برابر با ۰.۱ است.

لا تابع هدف هفتم:

بهمنظور تجزیهوتحلیل جداگانه زمانی که حداکثر فرکانس در شبکه رخ میدهد، تابع هدف دیگری با در نظر گرفتن نکات بیانشده در مرح له قبل تعریف میشود.

$$\Delta f = \lambda \times Time_{f_{\max}} + abs \left| 50 - f_{\max} \right| \tag{Y}$$

لا تابع هدف هشتم:

به منظور بررسی جامع و مقایسه سناریوهای مختلف م هم، یک روش کاهش بار جدید در این مقاله ارائه شده است که تمام اهداف کاهش بار ذکر شده در روابط (۱) تا (۲) را پوشش می دهد. این تابع هدف کلی در رابطه (۸) معرفی شده است. همان طور که در نتایج شبیه سازی نشان داده خواهد شد، مطمئناً این روش انعطاف پذیری، سرعت و دقت بالاتری دارد.

$$\Delta f = \lambda \times Time_{f_{max}} + ab \, s \, \left| 50 - f_{max} \right| \\ +\lambda \times Time_{f_{min}} + \lambda \times ab \, s \, \left| 50 - f_{min} \right|$$
(A)

۲-۳- مدلسازی سیستم توزیع موردمطالعه

یک ریزشبکه واقعی ۲۰ کیلووات متع لق به کارخانه Dai et Dai et در دانمارک برای این مطالعه انتخاب شده است (Dai et al., 2010 در دانمارک برای این مطالعه انتخاب شده است (Al., 2010 بال 2010). داده شده است. در این ریزشبکه، ۱۱ فیدر شعاعی به نام های JUEL SORP STCE ، MAST ، REBD ، FLOE ، HJOR ، STK1 SORP ، STKV ، STNO ، FLOE ، HJOR ، STK1 و جود دارد. یک نیرو گاه CHP (ترک یب حرارت و برق) با ۳ ژنراتور توربین گازی در فیدر SORP و جود دارد. ممچنین ۳ توربین بادی با سرعت ثابت در فیدر SORP و جود دارد. برای آزمایش روش پیشنهادی از فیدرهای SORP ، STKV ، SORP برای آزمایش روش پیشنهادی از فیدرهای SORP استفاده شد. کل سی ستم توزیع موردمطالعه در مدل های ا ستاندارد نرما فزار SISILENT I

v.14.1.3 مدلسازی شد. در این مطالعه توربینهای بادی بهعنوان یک سیستم دو جرمی مدل سازی شدند که برای مطالعه حالت گذرا سیستم قدرت منا سب ا ست (Singh et al., 2019). ضریب قدرت تمامی توربینها ۱ فرض شد.

در هشت تابع هدف که در بالا معرفی شدند، ضریب بارهای توان ثا بت • و ضریب بارهایی که شدیداً به فر کانس و ول تاژ واب سته ه ستند، ۱ است. بنابراین بهمنظور متعادل کردن نرخ تغییر فر کانس، برای این خواب مقدا ۵۰۰ در نظر گفته میشند



در جدول انتخاب، که در آن اولویت قطع بارها تعریف شده است، خرخ تغییر هر پارامتر (یعنی نرخ تغییر فرکانس، نرخ تغییر فرکانس واب سته به ولتاژ، کمبود توان) موجود است. این جدول جرای این است که ببینید چند بار باید حذف شود تا کمبود توان اکتیو ریز شبکه ج جران شود. در این راستا ۳ سناریو در نظر گرفته شده به شرح زیر است:

سناریوی اول (جدول (۱)): فرض بر این است که بارهای با توان کم تر هزینه کمتری به شرکتهای توزیع میدهند. بر این ا ساس، چیدمان بارها بر اساس هزینه برابر است با چیدمان بارها به ترتیب حداقل تا حداکثر توان الکتریکی.

سناریوی دوم (جدول (۲)): فرض بر این است که هزینه بار ها هیچ ارتباطی با توان آنها ندارد. بنابراین، چیدمان بارها بر ا ساس هزینه، تابعی تصادفی ازنظر توان آنهاست.

سناریوی سوم (جدول (۳)): مانند سناریوی دوم، بار ها به صورت تصادفی مرتب می شوند، با این تفاوت که حداکثر توان الکتریکی در اولویت اول است.

ازآنجایی که تغییرات فرکانس می تواند در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی به دلیل رخدادهای گذرا مختلف رخ دهد، دوره زمانی تغییرات فرکانس مهم است. بنابراین نرخ تغییرات فرکانس در طول زمان برای تشخیص حالت جزیرهای استفاده می شود. رابطه (۹) نحوه محا سبه نرخ تغییر فرکانس را نشان می دهد.

$$R_o C_o F = \frac{df}{dt} = \frac{f_2 - f_1}{t_2 - t_1} \tag{9}$$

در معادله (۹)، *dt* برای هر بار در جدول انتخاب ۱۰ میلی ثانیه قرار داده شده است. علاوه جر این، *df* اختلاف فر کانس در ریز شبکه جزیره ای است که برابر با نیم سیکل است (فرکانس ریز شبکه ۵۰ هر تز است).

حدول (۱): حدول انتخاب مرتب شده بر اساس کمت بن تا بیشت بن تمان الکت بکی بارها

سناريو اول								
جمع کمبود توان (dp)	كمبود توان (dp)	جمع نرخ تغيير فركانس برحسب ولتاژ	نرخ تغيير فركانس برحسب ولتاژ	جمع نرخ تغییر فرکانس	نرخ تغيير فركانس	تمایل به پرداخت هر بار	نام بار	مرتبه بار (LN)
-۸۳.۵۰۹۹	-83.99	- 1.7 • 77	-1.7•77	-71.7	-71.7	۰۸.۰	Load 09	١
-184.•199	-۸۳.۵۰۹۹	-۳.۴۰۵۴	-1.7•77	-47.4	-71.7	۳۸. ۰	Load 10	٢
-70.0799	-83.94	-0.1•11	-1.7•77	-80.1	-71.7	۰.۸۶	Load 11	٣
-829.1580	-88.093	-8.787	-۱.۷۹۰۸	-9.7	-20.1	۰.۸۷	Load 07	۴
-422.0221	-93.4018	-8.7728	-1.8788	-118.4	۵.۸۲–	۰.۸۹	Load 08	۵
-۵۲۷.۳۲۶۶	-94.7444	-10.8727	-1.9.1.	-148.3	-79.8	۰.۹۱	JUEL	۶
-878.8714	-99.4941	-17.8081	-1.9874	۸. ۰ ۸ ۱ –	۵.۲۳-	۰.۹۲	STCE	۷
۸۴۰۸.۸۳۷ –	-111.9888	-14.1848	-7.7•84	-771.7	-4.9	۰.۹۳	FLOE	٨
-801.0981	-117.7888	-14.•444	-7.7121	-797.8	-41.1	۰.۹۵	STSY	٩
-969.7749	-1•1.9810	-19.7788	-7.1489	-3.1.0	۲.۸۳-	۰.٩۶	STNO	١٠
-1•14.9194	-120.1918	-71.8871	-7.44.4	۴. • ۵۵–	-۴۸.۹	١	MAST	۱۱

سناريو دوم								
جمع کمبود توان(dp)	كمبود توان (dp)	جمع نرخ تغيير فركانس برحسب ولتاژ	نرخ تغيير فركانس برحسب ولتاژ	جمع نرخ تغییر فرکانس	نرخ تغيير فركانس	تمایل به پرداخت هر بار	نام بار	مرتبه بار (NL)
-117.7888	-117.7888	-2.2121	-2.2121	-41.1	-41.1	۰.٧٩	STSY	١
-192.7922	-۸۳.۵۰۹۹	-۳.۹۱۷۸	-1.7•77	-87.8	-71.7	۰.۸۴	Load 10	٢
-2062	-1•1.8810	-9.•947	-7.1489	-1.1.0	-۳۸.۷	۵۸. ۰	STNO	٣
-777.9747	-۸۳.۵·۹۹	-7.7874	- 1.4 • 74	- 1 7 . 7	-71.7	۰.۷۶	Load 09	۴
-411.4295	-99.494	-9.7498	-1.9874	-100.V	-87.0	۰.۸۹	STCE	۵
-275.• 222	-٨٨.۵٩٣۵	-11.54.4	۸ • ۱.۷۹ –	۸. ۰ ۸۱ –	-70.1	۰.۹	Load 07	۶
-999.4111	-93.4018	-17.4144	-1.8788	-7•9.7	-77.0	٠.٩١	Load 08	۷
-741.44.4	-111.988%	-10.8779	-7.7•84	-20.2	-4.9	0.95	FLOE	٨
-884.98+2	-۸۳.۵·۹۹	-17.3708	- 1.4 • 74	-771.9	-71.7	۰.۹۸	Load 11	٩
-929.7748	-94.7444	-19.7788	-1.9 • 1 •	۵.۱۰۳۰	-79.8	٠.٩٩	JUEL	١٠
-1•14.9194	-120.1918	-71.8871	-7.44.4	۴. ۵۰ ۳۵-	-۴۸.۹	١	MAST	11

جدول (۲): جدول انتخابی مرتبشده بر اساس تابع تصادفی توان بارها

$$P_{def} = \frac{2H_{COI}}{f_N} \cdot 100 \cdot \frac{df_{COI}}{dt} + \sum_{i=1}^m P_{L0,i} \cdot \left[\left(\frac{U_i}{U_{0,i}} \right) - 1 \right] \cdot \frac{100}{P_{L0}}$$
(1.)

ریزشبکه جزیرهای در ثانیه صفر ایجاد شد. ز مان ۸۰ میلیثان یه برای عملکرد بریکر و فرمان رلهها در نظر گرفتهشده است.

در جداول از نرخ تغییر فرکانس، نرخ تغییر فرکانس وابسته به ول تاژ و کمبود برق ریزشبکه استفادهشده است. اما در قطع تعدادی از بار ها درمرحله اول تفاوت معنی داری بین این روش و روش پیشنهادی در (Mahat et al., 2010) مشاهده نشد. روابط ریاضی این دو تابع (نرخ تغییر فر کانس بستگی به ول تاژ و کم بود توان ریز شبکه دارد) در (Sapari et al., 2017) مو جود است که در رابطه (۱۰) نامایش دادهشده است.

سناريو سوم								
جمع کمبود توان (dp)	كمبود توان (dp)	جمع نرخ تغییر فرکانس برحسب ولتاژ	نرخ تغيير فركانس برحسب ولتاژ	جمع نرخ تغییر فرکانس	نرخ تغيير فركانس	تمایل به پرداخت هر بار	نام بار	مرتبه بار (NL)
-180.1918	-120.1918	-7.44.4	-7.44.4	-۴۸.۹	-۴۸.۹	۰.۸۹	MAST	١
-212.7802	-88.242	-4.2212	-۱.۷۹۰۸	-74	-20.1	۰.٩	Load 07	٢
-297.2952	-83.99	-0.986.	-1.7•77	-۹۵.۲	-71.7	٠.٩١	Load 09	٣
۳۵۰۸.۰۸۳	-83.99	-7.9397	-1.7•77	-117.4	-71.7	۰.۹۲	Load 10	۴
-41	-99.4941	-9.8191	-1.9874	-149.9	-۳۲.۵	۰.۹۳	STCE	۵
-۵۸۸.9۳1۶	-108.8810	-11.788.	-7.1489	-188.8	-٣٨.٧	۰.۹۴	STNO	۶
-842.4618	-83.99	-13.4881	-1.7•77	- ۲۱۰.۳	-71.7	۰.۹۵	Load 11	٧
-787.1880	-94.7444	-10.3891	-1.9 • 1 •	-779.9	-79.5	۰.۹۶	JUEL	٨
-879.1744	-111.9888	-17.0788	-7.7•84	٨. • ٨٢ –	-4.9	۰.۹۷	FLOE	٩
-977.9771	-93.4076	-19.4220	-1.8788	- 3. 9. 7	-۲۸.۵	٠.٩٩	Load 08	١٠
-1•84.9184	-117.7888	-71.8871	-7.7181	-۳۵•.۴	-41.1	١	STSY	11

۳- نتایج شبیه سازی

شبکه نمونه معرفیشده برای شبیهسازی با استفاده از روش پیشنهادی در دو حالت تحلیل میشود:

 حا لت overshoot، که در آن حداکثر م قدار فر کانس ریز شبکه جزیرهای در طول پایداری فرکانس بیش از ۱ پریونیت شد. و ضعیت بهینه برای این حالت زمانی رخ میدهد که این ضریب دارای حداقل مقدار باشد، زیرا ریزشبکه جزیرهای سریعتر تثبیت میشود.

شبیهسازی دوم بر اساس حداکثر مقدار افت فرکانس در میکروگر ید
 جزیرهای انجام می شود. بدیهی ا ست که وق تی شبیه سازی ان جام
 می شود هر چه مقدار افت فرکانس کمتر باشد بهتر است.

برای شناسایی قابلیتهای مقاله حاضر در ایجاد پا یداری در ریز شبکه های جزیرهای، مقایسههایی با (Mahat et al., 2010) انجامشده است. زیرا هدف هر دو مقاله یک سان است. این مقایسهها در ۶ حالت انجامشده است که تهامی حالت های در گیر در حالت جزیرهای را پوشش می دهد. این ۶ حالت عبارتاند از:

- حداقل فركانس ريزشبكه
- حداکثر زمانی که در آن اورشوت فرکانس رخ میدهد.

حداکثر زمانی که در آن فرکانس ریزشبکه جزیرهای کاهش مییابد.
 حداکثر افت فرکانس در ریزشبکه جزیرهای نمونه همراه با حداکثر زمانی که این فرکانس در آن رخ میدهد.

 حداکثر فرکانس اورشوت به همراه حداکثر زمانی که در آن حداکثر افت فرکانس رخ میدهد.

 حداکثر فرکانس ریز شبکه، حداکثر ز مان اور شوت، حداکثر ا فت فرکانس و حداکثر زمان آن.
 در ادامه هر یک از جداول پیشنهادی با توابع هدف تعریف شده مورد

تجزيهوتحليل قرار گرفته است.

۱-۳- جدول انتخاب که بر اساس سناریوی اول مرتبشده است

هدف از مقایسه انجام شده در این حالت، ارزیابی قابلیت روش پیشنهادی در زمان ماکزیمم اور شوت در ریز شبکه جزیرهای است. جدول (۴) زمان قطع بارها را با توجه به اولویت آن ها با توابع هدف اول، پنجم و هشتم نشان می دهد. درواقع، این جدول ز مانی را نشان می دهد که پس از وقوع حالت جزیرهای، بارها باید از شبکه جدا شوند. بر این ا ساس، بار ۹ که کو تاهترین ز مان عملیاتی را دارد، کم اهمیت ترین بار در بین بارهای شبکه است و باید سریع تر از بار های دیگر متصل به شبکه، از برق خارج شود. از سوی دیگر، نتیجه جدول (۴) اشاره می کند که بار است.

جدول (۴): زمان وقفه بارها برای توابع هدف اول، پنجم و هشتم در

سناریوی اول						
تابع هدف هشتم	تابع هدف پنجم	تابع هدف اول	بريكر بار			
0.0869	0.1025	0.0809	Load 09			
0.133594	0.604287	0.095859	Load 10			
0.143394	0.924487	0.096759	Load 11			
0.16479	1.303721	0.100484	Load 07			
0.16559	2.343321	0.116384	Load 08			
0.200397	2.758584	0.137028	Load JUEL			
0.226897	3.193084	3.288928	Load STCE			
0.454497	3.537994	3.794485	Load FLOE			
0.535197	3.974594	4.384085	Load STSY			
1.189543	4.484685	6.350155	Load STNO			
2.034243	4.663485	7.233555	Load MAST			

تابع هدف این حالت در بخش ۲ ارائه شده که تو سط ال گوریتم بهینهسازی ژنتیک بهینهشده و نتایج آن در جدول (۵) ارائهشده است. بعلاوه، شکل (۳) (الف، ب و ج) نمودار تغییرات فر کانس شبکه در ریزشبکه جزیرهای و کاهش بار را به ترتیب برای توابع هدف اول، پنجم و هشتم نشان میدهد.







شکل (۳): اجرای کاهش بار در سناریوی اول الف: با تابع هدف اول ب: با تابع هدف پنجم ج: با تابع هدف هشتم

جدول (۵) حالت بهینه بهدستآمده از روش پیشنهادی را با استفاده از توابع هدف اول، پنجم و هشتم نشان میدهد. همان طور که در ستون تابع هدف اول نشان داده شده است، حالت بهینه و پایداری ریز شبکه با کنار گذاشتن ۶ بار به دست میآید. زمان تحدب و تقعر در این حالت در جدول مشخص شده است. از حداقل و حداکثر ز مان فر کانس ارائه شده در این جدول مشخص است که پایداری ریز شبکه با روش ارائه شده به دست آمده است.

جدول (۵): نتایج الگوریتم بهینهسازی ژنتیک برای بررسی توانایی روش پیشنهادی در زمان رخ دادن ماکزیمم اورشوت در ریزشبکه جزیرهای برای توابع هدف اول، پنجم و هشتم در سناریوی اول

تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	
هشتم	پنجم	اول	
0.51	1.09	0.8353	اختلاف حداکثر فرکانس با فرکانس مبنا
50.51	51.09	50.8353	حداکثر فرکانس
1200	4.96	2530	زمان تقعر
1.64	12.25	1.18	اختلاف حداقل فركانس با فركانس مبنا
48.35	37.75	48.8196	حداقل فركانس
212	616	458	زمان تحدب
7	2	6	تعداد بار خروجي

با توجه به مقادیر نشان دادهشده در جدول (۵)، تابع هدف مذکور در مقایسه با روش (Mahat et al., 2010) دارای سه مزیت اصلی است: • افت فرکانس درروش پی شنهادی بسیار کم تر از روش ارائه شده در (Mahat et al., 2010) است. این مزیت منجر به قطع بار های کم تر درروش ارائهشده در این مقاله می شود.

• حداکثر فرکانس ریزشبکه جزیرهای درروش پیشنهادی در مقایسه با (Mahat et al., 2010) به فر کانس ا ستاندارد نزد یک تر ا ست که پایداری فرکانس را نشان میدهد.

• زمان دستیابی به ثبات در این روش بسیار کوتاهتر از روش ارائه شده در (Mahat et al., 2010) است.

کنار گذاشتن تنها ۲ بار در ابتدا مناسب به نظر می سید. ا ما نتایج حاصل از تابع هدف پنجم نشان داد که این تابع نمی تواند اهداف ما را برآورده کند. با توجه به اینکه حداکثر بار خرو جی ریز شبکه کم تر از مرحله قبل بود، اما این میزان بار خروجی قادر به بازگرداندن و ضعیت پایداری شبکه نبود و ادامه این روند قطعاً منجر به حذف تمامی بارهای موجود در ریزشبکه جزیرهای می شود. بنابراین صرف حذف بار های

کمتر نمی تواند دلیلی بر بر تری این تابع هدف نسبت به تواجع هدف قبلی باشد.

تابع هدف هشتم برای کاهش فر کانس ماکزیمم ریز شبکه، ماکزیمم زمان اورشوت و حداکثر افت فرکانس در نظر گرفته شده است. بنابراین واضح است که حداکثر و حداقل فر کانس درروش پی شنهادی در این بخش به طور قابل توجهی بهبودیافته است که می تواند پایداری ریز شبکه را بهبود بخشد و مزایای فنی و اقتصادی قابل توجهی را به همراه داشته باشد. با توجه به مقایسه های انجام شده در توابع هدف بیان شده و با در نظر گرفتن تمامی اهداف این مقاله که حداقل افت فر کانس در ز مان بهینه و همچنین کاهش افت فرکانس ریز شبکه در زمان بهینه به منظور داشتن حداقل بار خروجی و پایداری سریعتر ریز شبکه، تابع هدف هشتم می تواند در این مورد مناسب باشد.

۲-۲- جدول انتخاب که بر اساس سناریوی دوم

مر تبشده است

نتایج حاصل از پیادهسازی الگوریتم ژنتیک برای ز مان قطع بار تابع هدف دوم، ششم و هشتم بر اساس تابع تصادفی توان بار ها در جدول (۶) ارائهشده است.

تابع هدف این سناریو توسط الگوریتم بهینه سازی ژنت یک بهینه شده است که نتایج آن در جدول (۲) ارائهشده است.

نتایج شبیه سازی ریز شبکه پس از ریزش بار در تابع هدف دوم در ستون دوم جدول (۷) آورده شده است که هدف آن کاهش حداکثر افت فرکانس ریز شبکه جزیره ای است. نتایج به دست آمده از این تابع هدف نشان می دهد که این تابع نمی تواند اهداف ما را در کاهش بار بر آورده کند.

جدول (۶): زمان وقفه بارها برای توابع هدف دوم، ششم و هشتم در

سناریوی دوم						
تابع هدف هشتم	تابع هدف ششم	تابع هدف دوم	بريكر بار			
0.0935	0.098	0.0997	Load STSY			
0.102941	0.101209	0.7315	Load 10			
0.119241	0.132609	0.8259	Load STNO			
0.559156	0.973655	1.94401	Load 09			
0.736256	1.137755	3.96241	Load STCE			
0.83812	2.850715	4.753467	Load 07			
1.52432	3.343215	4.767467	Load 08			
1.689759	4.186286	5.900207	Load FLOE			
2.272759	5.348086	6.090407	Load 11			
2.52469	6.002209	7.420477	Load JUEL			
3.43919	6.588609	9.340277	Load MAST			

با توجه به اینکه حداکثر بار خروجی ریزشبکه کم تر از مرا حل قبلی است، این مقدار بار خروجی نتوانست شبکه را به حالت پایدار بازگرداند و ادامه این روند بهطور مطلق تمامی بارهای موجود در جزیره را قطع خواهد کرد. بنابراین خروج تنها دو بار در مرحله اول نمیتواند تضمینی برای موفقیت این روش باشد.

vv

فرمول پیشنهادی در تابع هدف ش شم با هدف کاهش حداکثر ا فت فرکانس در ریزشبکه جزیرهای نمونه همراه بازمان وقوع ا ین فر کانس ارائهشده است.

فرکانس درروش پیشنهادی در مقایسه با روش مطالعه (,Mahat et al.) فرکانس درروش پیشنهادی (2010) به فرکانس اصلی نزدیکتر است. همچنین درروش پیشنهادی (Mahat et al.) زمان رسیدن به ۵۰ هرتز پس از افت فرکانس کمتر از (,2010 Mahat et al.) است. بنابراین این تابع هدف برای کاهش جار منا سب ا ست و میتواند زمانهای به دست آمده از مطالعه (Mahat et al.) را تا حد قابل قبولی کاهش دهد.

تابع هدف هشتم باهدف کاهش ماکزیمم فر کانس ریز شبکه، حداکثر زمان اورشوت، حداکثر افت فرکانس در نظر گرفته شده است. تعداد خروجیهای پیشنهادی این تابع هدف سه عدد هست. ز مان افت فرکانس حداکثر ریز شبکه و ز مان حداکثر فر کانس شبکه درروش پیشنهادی در مقایسه با (Mahat et al., 2010) بهبودیاف ته است. همچنین درروش پیشنهادی زمان رسیدن به ۵۰ هر تز پس از افت فر کانس ۲۰۲ میلی ثانیه و درروش (Mahat et al., 2010) ۸۶۰ میلی ثانیه است.

جدول (۷): نتایج الگوریتم بهینهسازی ژنتیک برای بررسی توانایی روش پیشنهادی در زمان رخ دادن ماکزیمم اورشوت در ریزشبکه جزیرهای برای توابع هدف دوم، ششم و هشتم در سناریوی دوم

تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	
هشتم	ششم	دوم	
1.55	1.47	-	اختلاف حداکثر فرکانس با فرکانس مبنا
51.471	51.47	-	حداكثر فركانس
941	954	-	زمان تقعر
1.14	1.11	5.47	اختلاف حداقل فركانس با فركانس مبنا
48.86	48.89	44.52	حداقل فركانس
105	144	743	زمان تحدب
4	3	2	تعداد بار خروجي

حداقل افت فرکانس و کاهش اورشوت ریزشبکه، هر دو در زمان بهینه، از اهداف این مقاله بهمنظور دا شتن حداقل بار خرو جی و پا یداری سریعتر ریزشبکه است. با توجه به مقایسهها، توابع هدف اول و ه شتم میتوانند برای دستیابی به این اهداف مناسب باشند.

۳-۳- جدول انتخاب که بر اساس سناریوی سوم

مر تبشده است

نتایج حاصل از پیادهسازی الگوریتم ژنتیک برای زمان قطع بار توا بع هدف سوم، هفتم و هشتم با توجه به اولویتهای آنها بر ۱ ساس تابع تصادفی توان بارها در جدول (۸) ارائه شده ۱ ست با ۱ ین تفاوت که حداکثر توان الکتریکی در وهله اول قرار دارد.

ارقام فرکانس نهایی برای توابع هدف سوم، هفتم و هشتم در شکل (۴) (الف، ب و ج) آورده شده است.

نتایج شبیه سازی پس از کاهش بار در جدول (۹) با استفاده از تابع هدف سوم آورده شده است. تعداد خروجی های پیشنهادی تابع هدف سوم ۱ است.

زمان قطع بارها با توجه به اولویتهای آن در جدول (۸) در تابع هدف هفتم ارائه شده است تا به ا هداف کاهش حداکثر ز مان اور شوت و حداکثر ز مان ا فت فر کانس بر سد. شکل فر کانس نهایی و نتایج شبیه سازی پس از ریزش بار در ستون سوم جدول (۹) آورده شده است.







ج شکل (۴): اجرای کاهش بار در سناریوی سوم الف: با تابع هدف هفتم ج: با تابع هدف هشتم

حداکثر افت فرکانس ریزشبکه در تابع هدف ه شتم ۰.۷۰۸ در ۱۰۳ میلی ثانیه است. میلی ثانیه است که درروش (Mahat et al., 2010) ۰.۹۰ است. حداکثر فرکانس شبکه ۵۱.۱۱۵۴ هرتز در ۱۰۸۳ میلی ثانیه است که درروش (Mahat et al., 2010) ۵۰.۹۲۶ هرتز است.

زمان رسیدن به ۵۰ هرتز پس از افت فرکانس درروش پیشنهادی ۴۶۳ میلیثانیه و درروش (Mahat et al., 2010) ۹۷۰ میلیثانیه است.

با توجه به مقایسههای انجامشده در توابع هدف بیان شده و اهداف این مقاله، تابع هدف هشتم می تواند گزینه مناسبی برای این مورد با شد. مقاله، تابع هدف هشتم می تواند گزینه مناسبی برای این مورد با شد. مقایسه این سه سناریو با تابع هدف انتخابی هر کدام در شکل (۵) آورده شده است.

جدول (۸): زمان وقفه بارها برای توابع هدف سوم، هفتم و هشتم در

ستاريوی سوم						
تابع هدف هشتم	تابع هدف هفتم	تابع هدف سوم	بریکر بار			
0.0814	0.0923	0.0801	Load MAST			
0.083267	0.100993	0.88581	Load 07			
1.307267	0.133293	1.00441	Load 09			
2.043744	1.212483	1.408599	Load 10			
3.144644	1.803783	1.786699	Load STCE			
3.295747	1.852836	1.970225	Load STNO			
3.314747	1.855336	2.409325	Load 11			
3.334513	2.899916	2.82646	Load JUEL			
3.588913	3.335916	3.10646	Load FLOE			
3.716606	4.2736	3.509112	Load 08			
3.959106	4.6577	4.199612	Load STSY			

با مقایسه توابع انتخاب شده برای هر یک از این سه سناریو، تابع هدف سوم بهترین پاسخ را برای تابع هدف پیشنهادی دارد. برای این سناریو، حداکثر ۲ بار قطع برای کاهش بار، حداکثر افت فرکانس ۲۵.۰ هر تز در بهترین زمان ۱۰۸۳ میلی ثانیه و حداکثر افزایش فرکانس ۵۹.۰ هر تز در زمان ۱۰۸۳ میلی ثانیه ثبت می شود. پس از آن، سناریوی دوم پا سخ مناسب پیشنهادی را با حداکثر ۳ بار برای کاهش بار، حداکثر ا فت فرکانس ۱۰۳۴ هرتز در ۱۰۲ میلی ثانیه و حداکثر ا فزایش فر کانس مام هر تز در ۱۰۴ میلی ثانیه و حداکثر ا فزایش فر کانس نابع هدف پیشنهادی را با حداکثر ۷ بار برای کاهش بار، حداکثر ا فت فرکانس ۱۰۶۴ هرتز در ۱۹۰ میلی ثانیه ارائه می دهد. درنها یت، سناریوی اول فرکانس ۱۰۶۴ هرتز در ۱۹۰۰ میلی ثانیه ارائه می دهد.

جدول (۹): نتایج الگوریتم بهینهسازی ژنتیک برای بررسی توانایی روش پیشنهادی در زمان رخ دادن ماکزیمم اورشوت در ریزشبکه جزیرهای برای توابع هدف سوم، هفتم و هشتم در سناریوی سوم

تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	
هشتم	هفتم	سوم	
1 154	1 1 57	0.91/	اختلاف حداکثر فرکانس با
1.1.04	1.157	0.914	فركانس مبنا
51.154	51.157	50.914	حداکثر فرکانس
1083	1093	1611	زمان تقعر
0.708	0.010	0.764	اختلاف حداقل فركانس با
0.708	0.919	0.704	فركانس مبنا
49.29	49.08	49.236	حداقل فركانس
103	113	91	زمان تحدب
3	2	1	تعداد بار خروجي



نتایج بهدستآمده نشاندهنده بر تری روش ارائه شده در این مقا له نسبت به مطالعه م شابه انجام شده در (Mahat et al., 2010) است، زیرا همان طور که نشان داده شد، زمان دستیابی به ثبات در این مقا له در همه حالات بسیار بهتر از مطالعه مذکور است. این موضوع علاوه بر بهبود پایداری شبکه و ای جاد مزا یای ف نی فراوان در شبکه، ک مک قابل توجهی به کاهش هزینههای شرکتهای توز یع می ک ند، زیرا با روش پیشنهادی در این مقاله، تعداد و مدت قطعیها کاهش می ابد. برای ارزیابی بهتر، روش کاهش بار پیشنهادی در این مقاله با روشهای ارائه شده در مطالعات قبلی مقایسه شده است. نتایج این مقای سه در جدول (۱۰) ارائه شده است.

توجه به مسائل اقتصادی	کارایی در حالت جزیرہای	حساسیت به زمان اورشوت فرکانس	حساسیت به اورشوت فرکانس	حساسیت به زمان افت فرکانس	حساسیت به افت فرکانس	عدم وابستگی به زیرساختهای مخابراتی	شماره مرجع
خير	خير	خير	خير	بله	خير	خير	(Sun et al., 2021)
بله	خير	خير	خير	بله	خير	بله	(Kabir et al., 2020)
خير	بله	خير	خير	بله	بله	خير	(Santos et al., 2019)
خير	خير	خير	خير	بله	بله	خير	(Shekari et al., 2018)
بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	روش پیشنهادی این مقاله

جدول (۱۰): مقایسه روش پیشنهادی این مقاله با سایر مطالعات

Wang, J., Jie, F., Wang, L., Li, P., Ma, Y., Chen, Y. (2019). Strategy on Interruptible Load Selection for Precise Load Shedding System of Source-Grid-Load Friendly Interaction System. IEEE 3rd Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), pp. 1765-1769.

Hirodontis, S., Li, H. and Crossley, P. A. (2009). Load shedding in a distribution network.

Santos, A., Monaro, R., Coury, D. and Oleskovicz, M. (2019). A new real-time multi-agent system for under frequency load shedding in a smart grid context. Electric Power Systems Research, vol. 174, p. 10585.

Rudez, U., and Mihalic, R. (2011). Monitoring the First Frequency Derivative to Improve Adaptive Underfrequency Load-Shedding Schemes. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, pp. 839-846.

Rudez, U. and Mihalic, R. (2011). Analysis of Underfrequency Load Shedding Using a Frequency Gradient. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, pp. 565-575.

Sapari, N., Mokhlis, H., Laghari, J., Bakar, H., Mohamad, H. and Mohd Dahalan, M. R. (2017). Load shedding scheme based on frequency and voltage stability for an islanding operation of a distribution network connected to mini-hydro generation. Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Science, vol. 25, pp. 1852-1863.

Rudez, U. and Mihalic, R. (2011). A novel approach to underfrequency load shedding. Electric Power Systems Research, vol. 81, pp. 636-643.

Girgis, A. A. and Mathure, S. (2010). Application of active power sensitivity to frequency and voltage variations on load shedding. Electric Power Systems Research, vol. 80, pp. 306-310.

Ford, J. J., Bevrani, H. and Ledwich, G. (2009). Adaptive load shedding and regional protection. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 31, pp. 611-618.

Hirodontis, S. and Li, H. (2009). An adaptive load shedding method for intentional islanding. International Conference on Clean Electrical Power, pp. 300-303.

Arulampalam, A. and Saha, T. K. (2010). Fast and adaptive under Frequency Load Shedding and restoration technique using rate of change of frequency to prevent blackouts. IEEE PES General Meeting, pp. 1-8.

Zhang, L. and Zhong, J. (2006). UFLS Design by Using f and Integrating df/dt. IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, pp. 1840-1844.

Kolluri, S. V., Ramamurthy, J. R., Wong, S. M., Peterson, M., Yu, P. and Chander, M. R. (2015). Relay-based undervoltage load shedding scheme for Entergy's Western Region. IEEE Power & Energy Society General Meeting, pp. 1-5.

Mahat, P., Chen, Z. and Bak-Jensen, B. (2010). Underfrequency Load Shedding for an Islanded Distribution System With Distributed Generators. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, pp. 911-918.

Shekari, T., Gholami, A., Aminifar, F. and Sanaye-Pasand, M. (2018). An Adaptive Wide-Area Load Shedding Scheme

۴- نتیجه گیری

عملکرد DGها در حالت جزیرهای علیرغم مزایایی که دارد، ممکن است نگرانیهایی را ایجاد کند که مهم ترین آن ها پایداری فرکانس است.

با تو جه به نگرانی ها، در این مقاله راهکار هایی برای کاهش بار شبکههای کوچک باهدف تثبیت فرکانس این شبکهها تحلیل و ارائه شد. درروش مورداستفاده در این مقاله، اهداف فنی و اقتصادی مرتبط با استراتژی کاهش بار بهطور همزمان در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی به زیرساختهای مخابراتی برای برقراری ارتباط بین مؤل فه و دادههای ریزشبکه واقعی نیاز ندارد. قطع بار خودکار با توجه به ا فت فرکانس، زمان افت فرکانس، اورشوت و زمان آن انجام میشود. از دیگر مزایای روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به مطالعات قبلی، ا فت فرکانس پایین و دستیابی به پایداری در زمان کو تاهتر است. بابراین اهمیت نتایج حاصل از اجرای این روش را میتوان در موارد زیر خلاصه کرد:

 بهرهبرداری موفق یتآمیز از DG ها در حالت جزیرهای ه مراه با اطمینان از ثبات فرکانس شبکه
 افزایش میزان رضایت عمومی مصرفکنندگان از طریق ای جاد ثبات فرکانس و متعاقب آن کاهش قطعی بارهای حساس مشترکین.

مراجع

Cosovic, M., Rubanenko, O. and Gundebommu, S. L. (2021). Analysis of the distributed power generation with focus on power plant technical conditions. 20th International Symposium Infoteh-Jahorina (INFOTEH), pp. 1-6.

Sun, M., Liu, G., Popov, M., Terzija, V. and Azizi, S. (2021). Underfrequency Load Shedding using Locally Estimated RoCoF of the Center of Inertia. IEEE Transactions on Power Systems, pp. 1-1.

Azizi, S., Sun, M., Liu, G. and Terzija, V. (2020). Local Frequency-Based Estimation of the Rate of Change of Frequency of the Center of Inertia. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 35, pp. 4948-4951.

Kabir, M. A., Chowdhury, A. H., and Masood, N. A. (2020). A dynamic-adaptive load shedding methodology to improve frequency resilience of power systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 122, p. 106169.

Parniani, M. and Nasri, A. (2006). SCADA based under frequency load shedding integrated with rate of frequency decline. IEEE Power Engineering Society General Meeting, p. 6.

Yan, J., Guo, F. and Wen, C. (2020). Attack Detection and Isolation for Distributed Load Shedding Algorithm in Microgrid Systems. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol. 1, pp. 102-110.

Incorporating Power System Real-Time Limitations. IEEE Systems Journal, vol. 12, pp. 759-767.

Dai, F. T. (2010). Impacts of distributed generation on protection and autoreclosing of distribution networks. IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2010), pp. 1-5.

Singh, V. P., Kishor, N., Samuel, P. and Singh, N. (2019). Small-signal stability analysis for two-mass and three-mass shaft model of wind turbine integrated to thermal power system. Computers & Electrical Engineering, vol. 78, pp. 271-287.

۸١