

نشریه علمی پدافند غیر عال

سال چهاردهم، شماره ۲، ایستان ۱۴۰۲ (پیاپی ۵۴)؛ صص ۱۴-۱

علمی-پژوهشی

یافتن مکان و اندازه بینه منابع تولید پراکنده و خازن در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی با تقسیم‌بندی ریزشبکه‌ای با رویکرد پدافند

غیرعامل

محمود زاده‌باقری^{۱*}، علی‌رضا عباسی^۲، محمدجواد کیانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

چکیده

پدافند غیرعامل مسئله‌ای است که در سالیان اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و دارای این مفهوم که در برخی زمان‌ها جوامع بشری با مشکلات طبیعی و غیر طبیعی مواجه می‌شوند. در صورتی که برای این حوادث از قبل برنامه‌های مناسبی در نظر گرفته شده باشد مشکلاتی که در جوامع در اثر این حوادث به وجود می‌آید بسیار کمتر بوده و شکی نیست که با توجه به وجود برخی مراکز در شهرها برخی نقاط از اهمیت بالایی برخوردار بوده و سعی شده که این نقاط تحت هر شرایطی خودکفا بوده و در نتیجه بتوان از تمامیت این نقاط در مقابل قطعی انرژی الکتریکی محافظت کرد. در این مقاله، شبکه سراسری برق را به ۸ ریز شبکه تقسیم بندی می‌کنیم و به هر کدام از این ریزشبکه‌ها منابع تولید پراکنده شامل توان اکتیو و راکتیو تخصیص داده شده است و سپس به‌گونه‌ای با این ۸ ریز شبکه که می‌توانند به صورت پیوسته و نیز جزیره‌ای کار کنند رفتار شود که در صورتی که اتفاقی برای هر کدام از این شبکه‌ها در زمان حوادث رخ دهد و به هر دلیلی از شبکه اصلی قطع شوند این شبکه‌ها بتوانند به صورت جزیره‌ای کار کرده و پاسخگوی نیاز بارهای هر قسمت باشند. در ادامه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی وال یا نهنگ به جایابی مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و نیز بانک‌های خازنی پرداخته می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان نیاز شبکه را به صورت محلی پاسخ داده و به همین دلیل از تلفات زیاد توان و در نتیجه افت ولتاژ جلوگیری کرد. برای بررسی نقش بهینه‌سازی در سناریو اول تعداد واحدهای منابع تولید پراکنده برابر ۴۷ واحد و حداقل تعداد بانک خازنی برابر با ۳۸ واحد در نظر گرفته شده است. در اثر جایگذاری بهینه این واحدهای تولید توان در جاهای مناسب تلفاتی که قبل از بهینه‌سازی برابر با ۲۲۷ کیلووات بوده بعد از بهینه‌سازی کاهش قابل توجهی داشته و به ۱۲۲ کیلووات کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: منابع تولید پراکنده، شبکه ۶۹ باسه استاندارد، پدافند غیرعامل، بهینه‌سازی، بانک خازنی، ریز شبکه

^۱ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران - (ma.zadehbagheri@iau.ac.ir) - نویسنده مسئول

^۲ استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه فسا، فارس، ایران

^۳ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

۱ - مقدمه

فسیلی است. با این حال، معایب اصلی راندمان نسبی کم، هزینه های بالا و گاهی در دسترس نبودن از خصوصیات این منابع است. روز به روز DG های مورد استفاده در سیستم توزیع در سراسر دنیا رو به افزایش است. از طرفی باید تمامی این منابع به صورت مناسب و بهینه جایابی شوند. جاهایی که به روش مطلوب به این منابع تخصیص داده می شود باعث افزایش قابلیت اطمینان، کاهش خسارات سیستم و مسطح کردن پروفایل ولتاژ و بار می شود. بنابراین جایابی این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش تلاش خواهد شد که به صورت بهینه با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری هوشمند به یافتن مکان بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع پرداخته می شود. با توجه به اهمیت و مزایای مطرح شده از بازاری شبکه های توزیع، مطالعات مختلفی بر روی روش های بازاری شبکه های بهینه صورت پذیرفته است. در این بخش سعی بر آن است با مروری بر مطالعات صورت گرفته در این زمینه، ابعاد تحقیقاتی و فرآیند پیشرفت مطالعات مورد بررسی قرار گیرد. الگوریتم ارائه شده در [۴]، کار خود را از یک آرایش شعاعی شبکه شروع می نماید. بدین ترتیب که یکی از کلیدهای در حالت معمولی باز حلقه ایجاد شده را انتخاب نموده و باز می نماید. بدین ترتیب شبکه مجدداً ساختار شعاعی خود را بازمی یابد. در حلقه ایجاد شده در اثر بستن یک کلید N.O با استفاده از روش های تجربی میزان تلفات در اثر بازنمودن هر یک از کلیدهای حلقة N.C محاسبه می شود و کلیدی که بیشترین کاهش تلفات را در برداشته باشد به عنوان کلید مناسب انتخاب می شود و این عمل برای تمامی کلیدهای N.O شبکه انجام می گردد و بدین ترتیب ضمن حفظ آرایش شعاعی شبکه و تعذیب بارها، تلفات توان در شبکه کاهش داده می شود. قبل از انجام تعویضی شاخه می بایست حلقة مربوطه را از نظر تلفات برآورد کنیم. تابع هدف در نظر گرفته شده برای این روش تنها شامل تلفات هست اما اثر قیودی چون حد مجاز ولتاژ شین ها و جریان خطوط بر تابع هدف و پاسخ نهایی اعمال شده است. ضمن اینکه این روش هر دو نوع یکنواخت و گستته بار را مدل می کند. ولی الگوریتم روش سیوانلار که در مرجع [۵] مطرح شده با الگوریتم مرجع [۶] فرق دارد و این فرق بدین گونه است که وقتی یک کلید N.O را بسته و کلید N.C متناظر را باز می کنیم کلید N.C باز شده به عنوان کلید N.O فرض می شود و با شبکه جدید حاصل شده مانند شبکه اولیه برخورد می شود. مجدداً مناسب ترین کلید N.O انتخاب و بسته می شود و متناظر با آن یک کلید N.C باز می شود و این کار آنقدر ادامه می باید تا دیگر با بستن کلیدهای N.O کلید N.C ای پیدا نشود که باز کردن آن باعث کاهش تلفات گردد. با توجه به دو الگوریتم

امروزه با وابستگی شدید به انرژی الکتریکی، نقش حیاتی این انرژی در زندگی بر کسی پوشیده نیست. با رشد روزافزون مصرف، احداث سیستم های جدید و توسعه ظرفیت سیستم های موجود یک نیاز اساسی محسوب می شود. این در حالی است که با پیشرفت تکنولوژی و تغییرات اخیر در منطق راهبری حاکم بر سیستم های قدرت، ضمن ایجاد گزینه های جدید در تأمین ظرفیت مورد نیاز سیستم، بهره گیری از روش های مرسوم در طراحی سیستم را با مشکل مواجه ساخته و تصمیم گیری در این خصوص را سخت کرده است. بنابراین تدوین روش های جدید طراحی بخش های مختلف سیستم قدرت، یکی از نیازمندی های قابل توجه به شمار می آید استفاده از ریز شبکه ها در سیستم قدرت مرسوم امروزی یک موضوع جاذبی برای محققین می باشد چرا که به هنگام قطع شدن سیستم قدرت اصلی در اثر حملات در موقع جنگ، ریز شبکه ها قادر هستند تا بارهای خود را تأمین نمایند که در این صورت قابلیت اطمینان سیستم و ریز شبکه افزایش میابد و در نتیجه در صورت رخدان حملات نظامی سیستم کماکان می تواند به کار خود بی وقفه ادامه دهد. در این پژوهش از الگوریتم هوشمندی که دارای مشخصه همگرایی بسیار مناسبی است و بر مبنای حرکت موجودات برای غذا است و با نام الگوریتم وال از آن یاد می شود استفاده خواهد شد. در ادامه، پس از بررسی این الگوریتم هوشمند به تبدیل یک شبکه توزیع به چند ریز شبکه پرداخته می شود تا در صورت قطع احتمالی شبکه توزیع در اثر حملات پدافندی، ریز شبکه ها بتوانند بارهای خود را تأمین کنند. در سالیان اخیر استفاده از منابع تولید پراکنده به شدت رشد کرده است و در گوشه گوشه دنیا در قسمت های مختلف شبکه از این رویکرد تولید انرژی استفاده می شود. دلایل اصلی افزایش استفاده از این منابع عبارتند از آزاد سازی بازارهای برق، محدودیت در ساخت خطوط انتقال و توزیع جدید و نگرانی های زیست محیطی، پیشرفت های تکنولوژیکی در ژنراتورهای کوچک، الکترونیک قدرت و دستگاه های ذخیره انرژی برای پشتیبانی گذرا، باعث افزایش نفوذ DG به نیروگاه های برق شده است [۳]. در حال حاضر، تکنولوژی های متعددی که برای کاربرد DG استفاده می شود که از تکنولوژی های سنتی و غیر سنتی استفاده می کنند. فناوری های سابق غیر قابل تجدید پذیر مانند موتورهای احتراق داخلی، چرخه های ترکیبی، توربین های احتراق و میکرو توربین ها است. از طرفی فناوری های تجدید پذیر مانند فتوولتائیک، باد، زمین گرمایشی، اقیانوس و سلول سوختی است. مزایای اصلی استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر، از بین بدن انتشارات مضر و منابع مصرف کننده سوخت های

ریزشبكه است به طوری که هر کدام از ریزشبكه ها داری حداقل یک منبع تولید پراکنده باشند. حال با این شرایط، در صورت قطعی برق، بارهای محلی با استفاده از منبع تولید پراکنده موجود تغذیه می‌شوند. در نتیجه یافتن مکان و مقدار منابع تولید پراکنده برای هر ریزشبكه حائز اهمیت می‌باشد.

۲- پدافند غیرعامل در سیستم‌های توزیع

صنعت برق یکی از حیاتی تری زیرساختهای هر کشور است. هرگونه اختلال در این صنعت علاوه بر اینکه به اقتصاد کشورها لطمہ می‌زند، سلامت روانی جامعه را نیز به شرایط بحرانی سوق خواهد داد، بنابراین کاهش آسیب پذیری این صنعت در برابر بلایای طبیعی و غیرطبیعی بسیار حائز اهمیت است. در این راستا پدافند غیرعامل نقش مهم و حیاتی ایفا می‌کند. و عدم توجه به این مقوله می‌تواند هزینه های سنگینی در زمان جنگ و صلح بر سرمایه های ملی تحمل نماید و ضایعات جبران ناپذیری به بار آورد. در این میان سیستم های توزیع نیروی برق به عنوان آخرين زیرسیستم در سیستم قدرت که وظیفه نهایی این سیستم یعنی همان توزیع انرژی به مشترکین را ایفا می‌کنند، دارای اهمیت و جایگاه بسیار مهمی هستند. از این رو در نظر گرفتن ضوابط و معیارهای پدافند غیرعامل در مباحث مربوط به مطالعات طراحی، توسعه و بهره برداری این سیستمها امری ضروری است [۱]. اهداف پدافند غیرعامل در شبکه های انرژی برق را می‌توان به شرح ذیل بیان داشت: حفاظت از دارایی های توزیع در هر سه بخش فشار متوسط، پست ها و فشار ضعیف - افزایش قابلیت اطمینان برق رسانی به ویژه برای بارهای حساس و مهم - افزایش کیفیت توان بهویژه برای مصارف حساس. با توجه به اهداف و مطالب بیان شده در زمینه پدافند غیرعامل، اهمیت شبکه های توزیع از نگاه پدافند غیرعامل بهمنظور حفظ تداوم انرژی برق بارهای حساس در موقع بحران و عملکرد خرابکارانه گروه های متخصص و ترویجیت انکارناپذیر می‌باشد [۲].

۳- روش انجام کار

در این مقاله یک شبکه ۶۹ باسه استاندارد ۱۱ کیلو ولت با توان نامی MVA ۶ برای این تحقیق در نظر گرفته شده است. در این تحقیق با رویکرد پدافند غیر عامل به بررسی حل مسئله پرداخته خواهد شد. در این بخش ابتدا پس از ارائه الگوریتم بهینه‌سازی پخش بار و تابع هزینه مورد نیاز برای شبیه‌سازی این مقاله فرموله می‌شود و در ادامه با ارائه مقدمه‌ای در مورد پدافند غیر عامل در این پژوهش به سراغ تقسیم‌بندی شبکه خواهیم رفت که در این پژوهش یک شبکه ۶۹ باسه در نظر گرفته شده است که

متفاوت فوق می‌بینیم که الگوریتم مرجع [۷] حتماً به اتمام می‌رسد ولی ممکن است نقطه بهینه را محاسبه ننماید و بر عکس الگوریتم مرجع [۸] ممکن است همگرا نشده و به اتمام نرسد ولی در صورت همگرا شدن نسبت به الگوریتم مرجع [۹] بهینه‌تر خواهد بود. بر اساس روش ارائه شده در [۱۰] ابتدا کلیه کلیدهای N.O شبکه بسته می‌شوند. با انجام این کار شبکه شعاعی به یک شبکه غربالی تبدیل می‌شود. سپس کلیدهای شبکه یکی‌یکی باز می‌شوند تا مجدداً شبکه به حالت شعاعی بازگردد. در فرآیند باز کردن کلیدهایی انتخاب می‌شوند که تلفات اهمی خطوط شبکه منتجه را کاهش دهند. در این روش تابع هدف بازآرایی، تلفات شبکه می‌باشد ضمن اینکه محدودیت‌های ولتاژ و جریان نیز به عنوان قید در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در این روش زاویه ولتاژ نیز در محاسبات دخالت داده شده است. در [۱۱] مسئله بازارآرایی شبکه توزیع بهصورت یک مسئله حمل و نقل با هزینه‌های مرربعی فرموله شده است. لذا تابع غیرخطی تلفات بهصورت هزینه حمل و نقل خطی تقریب زده می‌شود و برای این عمل تلفات توان (J^L) را بهطور تقریبی می‌توان بهصورت هزینه حمل و نقل جریان J در نظر گرفت. در روش ارائه شده در [۱۲] نیز مانند روش گلاسوكائین ابتدا همه کلیدها را باز می‌کنند. سپس در هر مرحله کلیدی که کمترین افزایش در تابع هدف ایجاد کند، بسته می‌شود. تابع هدف بهصورت نسبت افزایش تلفات به بار اضافه شده به سیستم می‌باشد. در این روش از ضریبی به نام ضریب شایستگی استفاده شده است. پخش بار استفاده شده در این روش شعاعی بوده و تابع هدف آن‌ها تنها شامل تلفات می‌باشد. قیود و محدودیت‌های اعمال شده شامل قیود ولتاژ شین‌ها جریان خطوط و همچنین قفل کلیدی باشد. منظور از قفل کلید این است که آرایش‌هایی که منجر به برق دار شدن محل خطا می‌شود انتخاب نمی‌شوند. مرجع [۱۳] یک روش تجربی و فازی برای بازارآرایی سیستم توزیع که در آن هیچ کلید کنترل از راه دوری موجود نمی‌باشد ارائه کرده است. این روش بهطور همزمان چندین مورد را بهینه‌سازی می‌کند. کاری که در این مقاله از دیگر کارهای انجام شده در این زمینه متفاوت است پرداختن به اندازه و مکان‌یابی منابع تولید پراکنده با رویکرد پدافند غیر عامل است. نوآوری این مقاله جایابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن پدافند غیر عامل می‌باشد. در موقع حمله نظامی ممکن است خط یا دکلی از کار بیافتند و در نتیجه آن بارهای زیادی از شبکه جدا شوند. حال اگر جایابی منابع تولید پراکنده در یک شبکه توزیع را طوری انجام دهیم که قطع شدن یک خط باعث خارج شدن بارها نشود توانسته ایم با این خطر مقابله کنیم. نوآوری پژوهش، تبدیل یک شبکه توزیع به چند

$$OF = \min \left\{ W_1 * \left(\sum_{i=1}^3 |P_{LossMGi}| + \sum_{i=4}^6 |P_{LossMGi}| + \sum_{i=7}^8 |P_{LossMGi}| \right) + W_2 * PassiveDefence \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^3 |Q_{LossMGi}| + \sum_{i=4}^6 |Q_{LossMGi}| + \sum_{i=7}^8 |Q_{LossMGi}| \right) \right\} \\ Constraint: \\ V_i^{\min} < V_i < V_i^{\max} \\ P_y < P_y^{\max} \\ (1)$$

همانطور که ذکر شده است در این قسمت تابع هدف در حقیقت تابع هزینه بوده و تابع سودآوری نیست از این رو مطلوب مسئله کم کردن مقدار آن است. مطلوب این تحقیق کم کردن این تابع تا اندازه ممکن است. در این تابع هزینه همانطور که دیده می‌شود W_1 مربوط به سه ناحیه حیاتی، حساس و مهم مشخص شده به منظور تقسیمات پدافند غیر عامل بوده و در این قسمت از ریز شبکه‌های در نظر گرفته شده در شکل (۱) سه ریز شبکه اول به عنوان ناحیه حیاتی در نظر گرفته شده است و سه ریز شبکه دوم به عنوان ناحیه حساس و دو ریز شبکه آخر به عنوان ناحیه مهم در نظر گرفته شده است. در توضیح ضرایب این تابع می‌توان گفت که W_1 و W_2 دو ضریب جرمیه بوده که باعث می‌شوند با استفاده از این دو ضریب بتوان جرمیه را کم و زیاد کرده تا در صورت نیاز تلفات را کم کرده و یا به تقسیمات پدافندی درجه اهمیت بالاتری تخصیص داد. در زیر پارامترهای مهم تابع هزینه تشریح خواهد شد:

P_{MGi} : توان اکتیو ریز شبکه i ام. Q_{MGi} : توان راکتیو ریز شبکه i ام.

W_i : پنالتی فرضی به منظور اهمیت دادن به پارامترهای تابع هزینه.

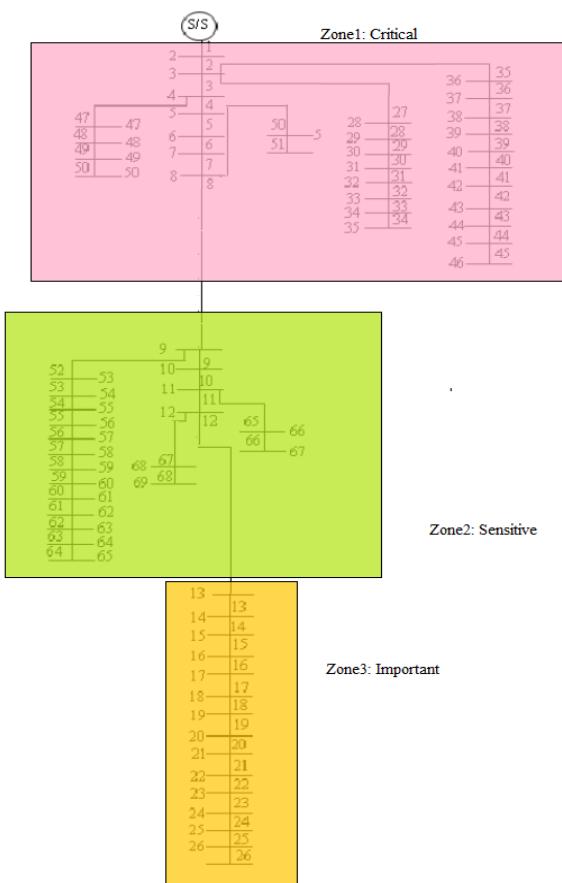
عبارت مربوط به پدافند غیرعامل که باید بیشینه شود و چون تابع از جنس هزینه است در مخرج کسر قرار می‌گیرد.

این پارامتر به نواحی سه گانه و به صورت ریزتر به ریز شبکه‌های ۸ گانه این پژوهش اولویت در تخصیص منابع می‌دهد. در حقیقت زیر تابع پدافند غیر عامل جهت کم کردن هزینه است و علت آن است که از دست رفت توان برای ریز شبکه‌های مختلف در این پژوهش با توجه به اهمیتی که دارند هزینه‌های مختلفی بر متولیان تامین توان تحمیل می‌کند و به جهت اینکه ممکن است در چند ریز شبکه که قبلاً هم اشاره شد به عنوان ریز شبکه‌های پدافند غیر عامل در نظر گرفته شده است مراکز استراتژیک و یا بیمارستان و از این قسم مراکز وجود داشته باشد این ریز شبکه‌ها هزینه‌های سنگینی بر هزینه کل اضافه می‌کنند. بنابراین زیر تابع پدافند غیر عامل در تابع هزینه در جهت کم کردن هزینه است. تابع هدف از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به کاهش تلفات و در نتیجه بهبود پروفیل ولتاژ است. زمانی که

با تقسیم بندی این شبکه به ۸ ریز شبکه سعی می‌شود تا با قرار دادن منابع اکتیو و راکتیو به اندازه کافی و حداقل یکی در هر ریز شبکه به ریز شبکه‌های ۸ گانه قابلیت جزیره‌ای عمل کردن داده شود. دو ریز شبکه ۴ و ۵ بیشتر از سایر شبکه‌ها در این شبکه کلی حائز اهمیت هستند که در این تحقیق این دو ریز شبکه مدنظر قرار گرفته‌اند. استفاده از ریز شبکه‌ها در سیستم قدرت مرسوم امروزی یک موضوع جاذی برای محققین می‌باشد چراکه به هنگام قطع شدن سیستم قدرت اصلی در اثر حملات در موقع جنگ، ریز شبکه‌ها قادر هستند تا بارهای خود را تأمین نمایند که در این صورت قابلیت اطمینان سیستم و ریز شبکه افزایش می‌یابد و در نتیجه در صورت رخ دادن حملات نظامی سیستم کماکان می‌تواند به کار خود بی وقفه ادامه دهد. در پژوهشی که در این مقاله صورت گرفته است از الگوریتم هوشمندی که دارای مشخصه همگرایی بسیار مناسبی است و بر مبنای حرکت موجودات برای غذا است و با نام الگوریتم وال از آن یاد می‌شود استفاده خواهد شد. در این بخش پس از بررسی این الگوریتم هوشمند به تبدیل یک شبکه توزیع به چند ریز شبکه پرداخته می‌شود تا در صورت قطع احتمالی شبکه توزیع در اثر حملات پدافندی، ریز شبکه‌ها بتوانند بارهای خود را تأمین کنند.

۳-۱- تابع هدف و قیود مسئله

تابع هزینه همانطور که از نامش پیداست با توجه به اینکه از جنس هزینه بوده و در هر کاری هدف کم کردن هزینه است این تابع نیز باید تا جایی که می‌تواند کم شود. رفرانس اصلی این تابع [۱۴] است و در این مقاله به خوبی مشخصات شبکه تفسیر شده است. ریز شبکه‌ها تقسیم بندی شده است و هدف پدافند غیر عامل با توجه به نوآوری مورد نظر این پژوهش به مقاله اضافه شده است. تابع هزینه مورد نظر که فرمولاسیون آن به صورت معادله ۱ است به صورتی است که در صورت وقوع بروز خطا برای یک یا چند ریز شبکه انتخاب شده در صورت بروز هر گونه حمله نظامی بتواند در صورت بروز قطعی برق منابع تولید پراکنده که برای شبکه در نظر گرفته شده است بتوانند پاسخگوی نیاز آن قسمت از شبکه بوده و در نتیجه تغذیه آن منطقه بی وقفه صورت پذیرد. در زیر تابع هدف مورد نظر نمایش داده شده است. بعد از بهینه‌سازی به هر کدام از ریز شبکه‌ها می‌توان اکتیو تخصیص داده می‌شود تا به صورت کامل نیاز سیستم به پدافند غیر عامل برطرف شده و در نتیجه بتوان انتظار داشت تا در صورت بروز خطا ریز شبکه‌ها به صورت مستقل به کار خود ادامه دهند این توان اکتیو است که بعد از بهینه‌سازی دیده می‌شود [۱۴، ۱۵].

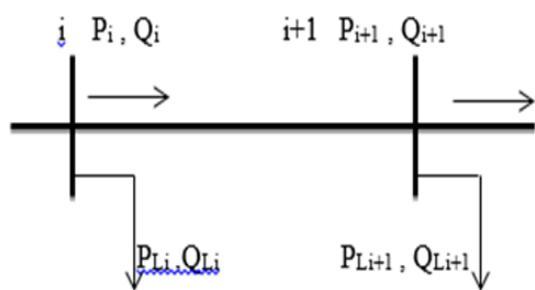


شکل (۲): دیاگرام شبکه با مشخص کردن سه ناحیه به عنوان ناحیه‌بندی پدافند غیر عامل

شبکه توزیع مطابق مرجع [۱۶] به هشت ریزشبكه تقسیم شده است که در شکل (۱) نمایش داده شده است. در شکل (۲) دیاگرام شبکه با مشخص کردن سه ناحیه به عنوان ناحیه‌بندی پدافند غیر عامل با زنگ‌های قرمز و سبز و نارنجی مشخص شده است.

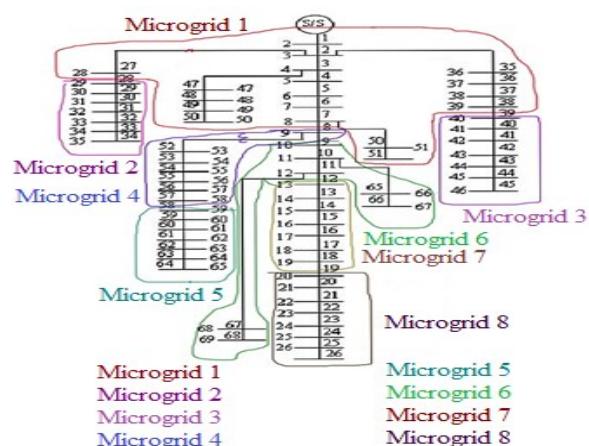
۲-۳- فرمولاسیون پخش بار

برای دیاگرام تک خطی شکل (۳) فرمولاسیون پخش بار به صورت زیر است:



شکل (۳): دیاگرام تک خطی مورد استفاده در پخش بار این مقاله

حمله‌ای در شبکه رخ دهد و باعث قطع شدن قسمتی از شبکه شود اولین چیزی که از این حمله اثر می‌پذیرد پروفیل ولتاژ است که به شدت افت می‌کند. قسمت دوم این تابع هزینه مربوط به پدافند غیر عامل است. در این قسمت با کاری که در کد نویسی انجام می‌شود باعث خواهد شد که اهمیت منبع گذاری در دو قسمت حساس شبکه بیشتر باشد و اولویت منع گذاری در این دو قسمت رعایت شود. این بدان معنی است که ابتدا دو قسمتی که از نظر پدافند غیر عامل حساسیت زیادی دارند منابع توان اکتیو جایابی شده و در ادامه مابقی شبکه نیز برای بهبود پروفیل ولتاژ شامل منابعی شوند. این ریز شبکه به سه قسمت اساسی تقسیم شده و این سه قسمت عبارتند از ناحیه یک که به نام ناحیه حیاتی شناخته می‌شود، ناحیه ۲ که به نام ناحیه حساس شناخته می‌شود، ناحیه ۳ که به نام ناحیه مهم شناخته می‌شود و اولویت‌بندی این نواحی بر اساس نامی است که برای آنها انتخاب شده است. قسمت اول که برای تابع هدف کاهش تلفات خطوط است به طوری که مکان و مقدار منبع تولید پراکنده به گونه‌ای تعیین شود که تلفات هر ریزشبكه کاهش یابد. در اثر کاهش تلفات در قسمت اول که عبارت است از کم کردن جریان اکتیو کشیده شده از پست اصلی در اثر کمتر کشیده شدن جریان اکتیو است که در نتیجه تلفات توان اکتیو کاهش یافته و در نتیجه اندازه توان تلفاتی را کاهش می‌دهیم. در نتیجه این کاهش جریان ولتاژی که در اثر عبور جریان از خطوط افت خواهد کرد کمتر شده و در نتیجه پروفیل ولتاژ اصلاح خواهد شد. از این رو در این تابع هزینه که به صورت نمادین در نظر گرفته شده است پروفیل ولتاژ در قسمت کاهش تلفات در نظر گرفته شده است و به صورت بسیار مناسبی نیز اصلاح خواهد شد. در نمودارهای مقایسه‌ای که در بخش بعدی نمایش داده خواهد شد به خوبی پروفیل ولتاژ قبل و بعد از اقدامات جبرانسازی در شبکه مقایسه و نمایش داده خواهد شد.

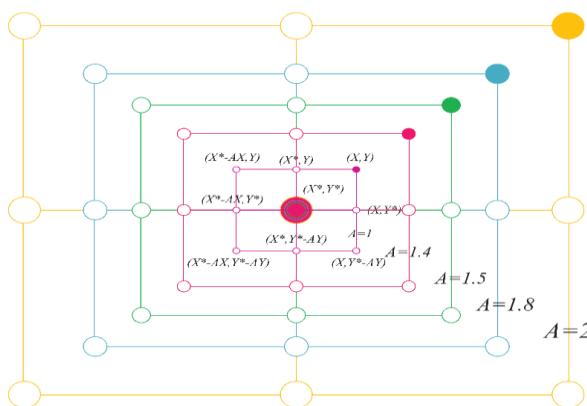


شکل (۱): تقسیم‌بندی ریز شبکه های سیستم توزیع شده مورد بررسی

الهام گرفته شده است. این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری جدیدی (به نام الگوریتم بهینه سازی نهنگ، (WOA) را توصیف می کند که رفتار شکار نهنگ های گوژ پشت را تقلید می کند. برای دانش افزایی نویسندها این مقاله در منابع بهینه‌سازی، هیچ مطالعه ای قبلاً روی این موضوع انجام نگرفته است. تفاوت اصلی بین کار فعلی و مقالات منتشر شده اخیر توسط نویسندها (به ویژه GWO) رفتار شکار شبیه سازی شده با عامل جستجوی تصادفی یا بهترین عامل جستجو برای تعقیب شکار و همچنین استفاده از یک مارپیچ برای شبیه سازی مکانیسم حمله حبابی نهنگ گوژ پشت می باشد. کارایی الگوریتم WOA در این مقاله با حل ۲۹ مسئله ی بهینه سازی ریاضیاتی و ۶ مسئله ی بهینه سازی ساختاری ارزیابی شده است. نتایج بهینه سازی نشان می دهد که WOA رقابت تنگاتنگی را با روش های بهینه سازی پیشترفته دارد [۱۸]. نهنگ گوژ پشت طعمه را به روش دام حبابی و روش تصادفی جستجو می کند. مدل ریاضی جستجو به شرح زیر است. در حقیقت، نهنگ های گوژ پشت بر اساس موقعیت یکدیگر جستجو را به صورت تصادفی انجام می دهند. بنابراین، \vec{A} را با مقادیر تصادفی بزرگتر از ۱ یا کمتر از -۱ به کار می بینیم تا عامل جستجو را وادار به دور شدن از یک نهنگ مرتع کنیم. در مقایسه با مرحله بهره برداری، برای به روز رسانی موقعیت یک عامل جستجو در مرحله ی اکتشافی، به جای یافتن بهترین عامل جستجو تا کنون، از یک عامل جستجوی انتخاب شده به صورت تصادفی استفاده می کنیم. این مکانیزم $|A| > 1$ بر اکتشاف تأکید دارد و به الگوریتم WOA اجازه می دهد یک جستجوی سراسری را انجام دهد. مدل ریاضی آن به شرح زیر است:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{X}| \quad (9)$$

$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{X} \cdot \vec{D}$$



شکل (۴): مکانیسم پیاده سازی شده در الگوریتم وال (WOA) انتخاب تصادفی عامل جستجو کننده می باشد [۱۹].

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (2)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (3)$$

که در این معادلات P_i, Q_i توان اکتیو و توان راکتیو هستند که از طریق بس شماره i_{th} برای بس داریم P_{Li}, Q_{Li} توان اکتیو و راکتیوی هستند که به بس نم داریم $R_{i,j+1}, X_{i,j+1}$ عبارتند از مقاومت و راکتانس بس های نم $i+1$ ، m دامنه ولتاژ موجود بر روی بس شماره $i+1$ عبارت است از:

$$|V_{i+1}|^2 = |V_i|^2 - 2(R_{i,i+1}P_i + X_{i,i+1}Q_i) + (R_{i,i+1}^2 + X_{i,i+1}^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (4)$$

تلفات توان بین بس شماره $i+1$ ، i عبارت است از:

$$P_{loss}(i, i+1) = R_{i,i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (5)$$

مجموع تلفات فیدر از مجموع تلفات تک تک خطوط به دست می آید: [۲۱].

$$P_{T,loss} = \sum_{i=1}^n P_{loss}(i, i+1) \quad (6)$$

اگر ظرفیت خازنی استاندارد Q_0^C نامیده شود ظرفیت خازنی خط عبارت است از ضرب یک عدد صحیح در ظرفیت این خازن:

$$Q_{max}^C = LQ_0^C \quad (7)$$

در معادلات بالا یک عدد صحیح است.

و نیز شرایط زیر برای جلوگیری از ایجاد ولتاژ مازاد اعمال می شود(قیود مورد استفاده):

$$Q_C^i < \sum_{j=i}^n Q_{Lj} \quad (8)$$

۳-۳- الگوریتم بهینه سازی نهنگ (WOA)

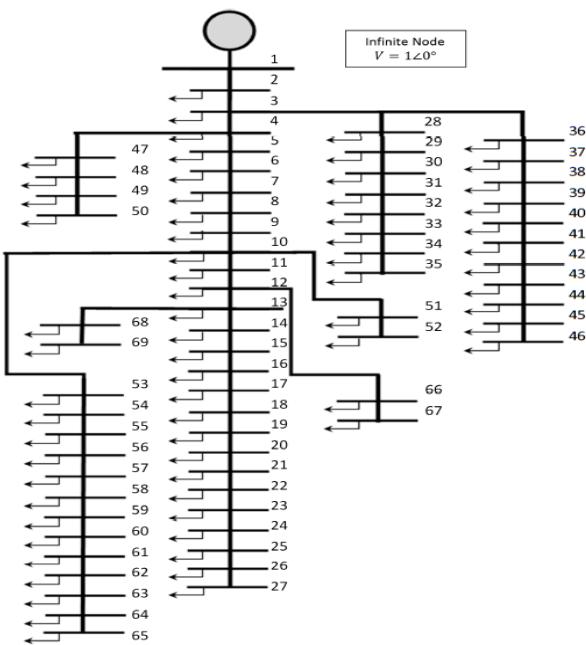
الگوریتم جدیدی از مجموعه الگوریتم های بهینه سازی فرا ابتکاری که از طبیعت الهام گرفته، به نام الگوریتم بهینه سازی نهنگ (WOA)، ارائه می شود. این الگوریتم با الهام از یک نمونه واقعی در طبیعت رفتار اجتماعی نهنگ های گوژ پشت را شبیه سازی می کند. این الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر ازدحام را با الهام از رفتار شکار نهنگ گوژ پشت ارائه می دهد. روش ارائه شده (با نام WOA، الگوریتم بهینه سازی نهنگ) شامل سه عملگر برای شبیه سازی جستجوی طعمه، محاصره ی طعمه و رفتار تغذیه ای دام حبابی نهنگ های گوژ پشت می شود. الگوریتم مورد نظر در مقاله مرجع [۱۶، ۱۷] از استراتژی شکار دام حبابی

این شد تا میزان ابتکارها و تعداد پارامترهای داخلی را به حداقل برسانیم، بنابراین نسخه پایه ای از الگوریتم WOA پیاده‌سازی شد. اما، پیوند زدن این طرح با طرح‌های جستجوی تکاملی ممکن است موضوع مطالعات آینده باشد [۱۹ و ۲۰].

۴- شبیه‌سازی و نتایج

۴-۱- مشخصات شبکه موجود

در این مقاله شبکه توزیع مورد مطالعه یک شبکه ۶۹ باسه بوده و ساختار آن به صورت شعاعی است. دیاگرام شبکه توزیع در شکل (۶) و مشخصات آن در مرجع [۸] نشان داده شده است. در این شبکه مینیمم ولتاژ ۰،۹۰۹۱۹ و پریونیت مربوط به گره ۶۵ می‌باشد و ماکریم جریان برابر ۴۹۰۳۱، پریونیت مربوط به شاخه یک می‌باشد. شکل‌های (۱۳) و (۱۴) در ضمیمه شبیه‌سازی‌های انجام شده با استفاده از نرم افزار متلب را نشان می‌دهد. مطالعه پخش بار با میزان دقت ۱۰-۹ و حداکثر تکرار ۳۰۰ انجام شده است. در این شبکه که قرار است ساختار پدافند غیرعامل پیاده‌سازی شود ابتدا به هشت ریز شبکه مجرزا تقسیم‌بندی شده و در ادامه با توجه به نیاز شبکه و تقسیم‌بندی مورد نظر برای این مقاله شبکه به صورت شکل (۱) مشخص شده است. در این بخش به پیاده‌سازی این شبکه پرداخته می‌شود.



شکل (۶): سیستم توزیع ۶۹ باسه مورد نظر برای این مقاله [۱۴]. در ادامه این مقاله هدف آن است که این شبکه توزیع به هشت ریز شبکه تقسیم‌بندی شود که شین‌های هر ریز شبکه با توجه به مقاله مرجع [۱۴] انتخاب شده است. هدف نهایی با توجه به ساختار تابع هزینه با توجه به پدافند غیرعامل ارائه شده در

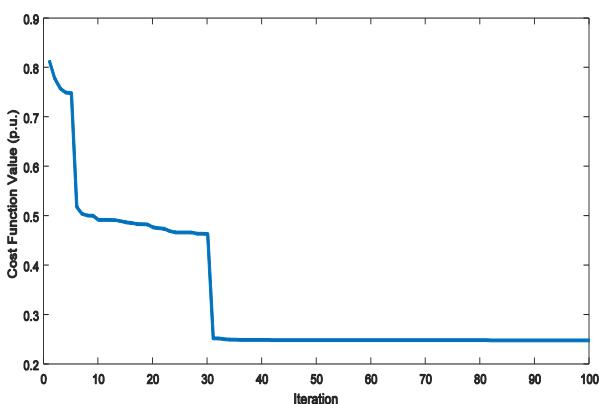
```

Initialize the whales population  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
Calculate the fitness of each search agent
 $X^*=\text{the best search agent}$ 
while ( $t < \text{maximum number of iterations}$ )
    for each search agent
        Update  $A$ ,  $C$ ,  $I$ , and  $p$ 
        if1 ( $p < 0.5$ )
            if2 ( $|A| < I$ )
                Update the position of the current search agent by the Eq. (2.1)
            else if2 ( $|A| \geq I$ )
                Select a random search agent ( $X_{\text{rand}}$ )
                Update the position of the current search agent by the Eq. (2.8)
            end if2
        else if1 ( $p \geq 0.5$ )
            Update the position of the current search by the Eq. (2.5)
        end if1
    end for
    Check if any search agent goes beyond the search space and amend it
    Calculate the fitness of each search agent
    Update  $X^*$  if there is a better solution
     $t=t+1$ 
end while
return  $X^*$ 

```

شکل (۵): شبکه کد الگوریتم بهینه سازی وال [۱۹]. که در آن \vec{X}_{rand} یک بردار موقعیت تصادفی (یک نهنگ تصادفی) است که از جمعیت فعلی انتخاب شده است. برخی از موقعیت های ممکن پرامون یک راه حل خاص با $> |A|$ در شکل (۴) نشان داده شده است. الگوریتم WOA با مجموعه ای از راه حل های تصادفی آغاز می‌شود. در هر تکرار، عوامل جستجو، موقعیت خود را با توجه به عامل جستجوی تصادفی یا بهترین راه حل که تاکنون به دست آمده است بهروز می‌کنند. پارامتر a از ۰ به ۰ کاهش می‌یابد تا به ترتیب اکتشاف و بهره‌برداری را فراهم کند. برای بهروز رسانی موقعیت عامل‌های جستجو، عامل جستجوی تصادفی زمانی انتخاب می‌شود که $> 1 < |A|$ باشد، در حالی که بهترین راه حل زمانی انتخاب شده است که $< 1 < |A|$ باشد. بسته به مقدار p WOA قادر به حرکت به صورت ماربیچی یا دایره‌ای است. در نهایت، الگوریتم WOA با فراهم کردن شرط خاتمه پایان می‌یابد. شبکه کد الگوریتم WOA در شکل (۵) ارائه شده است. از دیدگاه نظری، WOA می‌تواند یک بهینه ساز سراسری محسوب شود؛ زیرا قابلیت اکتشاف / بهره‌برداری را دارد. علاوه بر این مکانیسم ابر مکعب ارائه شده، یک فضای جستجو را در همسایگی بهترین راه حل تعريف می‌کند و به عامل‌های دیگر جستجو اجازه می‌دهد تا بهترین راه حل رکورد فعلی درون آن حوزه را به کار گیرند. تغییر پذیری بردار جستجوی A به الگوریتم WOA اجازه می‌دهد تا به سادگی بین اکتشاف و بهره‌برداری تغییر حالت دهد: با کاهش A ، برخی از تکرارها به اکتشاف اختصاص یافته اند ($1 \geq |A|$) و بقیه به بهره‌برداری اختصاص داده شده اند ($|A| < 1$). جالب توجه است که WOA تنها شامل دو پارامتر اصلی داخلی است که باید تنظیم شود (A و C). اگر چه ممکن است جهش و دیگر عملیات تکاملی در فرمول WOA گنجانده شود تا رفتار نهنگ‌های گوژ پشت کاملاً بازسازی شود، تصمیم بر

۴۷ واحد و حداکثر تعداد بانک خازنی برابر با ۳۸ واحد در نظر گرفته شده است. با توجه به این تعداد بهینه‌سازی انجام شده و نتایج این بهینه‌سازی در شکل (۷) ارائه شده است. در این سناریو مفهوم نمودار همگرایی این است که بعد از تعداد تکرار مشخصی این روش به جواب رسیده و در نتیجه با همگرا شدن به یک جواب ویژه مشخص می‌شود که الگوریتم وال به مقدار بهینه‌خود رسیده است. در این نمودار همانطور که مشخص است در تلاش اول تا ۳۰ که منحنی شکستگی دارد الگوریتم در حال گشتن به دنبال مقدار بهینه برای تابع هزینه شبکه است و از این رو الگوریتم در حال جستجو بوده است که شکستگی در منحنی مشاهده می‌شود. در ادامه دیده می‌شود که رفته رفته الگوریتم آموزش بیشتری دیده است و از حالت تصادفی بودن دور شده است و به حالت قطعیت بیشتر رسیده است و منحنی به سمت یکنواخت شدن و همگرا شدن کشیده شده است که نتیجه خط صافی است از تکرار ۳۰ به بعد.



شکل(۷): نمودار همگرایی الگوریتم PSO مورد استفاده در بهینه‌سازی

به این قسمت، قسمت همگرایی تابع هزینه گفته می‌شود بدان معنی که الگوریتم در این قسمت از ابتدا به جواب بهینه رسیده است و از تکرار ۳۰ به بعد مشخص است که مکان بهینه برای منابع تولید پراکنده و نیز بانک‌های خازنی در کجای شبکه و بر روی کدام باس‌های هر یک از ریزشبکه‌ها باید باشد. با این آرایش است که مقدار تابع هزینه به کمترین مقدار خود رسیده و از این رو می‌توان به این نمودار اعتماد کرد و اشاره کرد که الگوریتم از تکرار ۳۰ به بعد مقدار یکسانی برای تابع هزینه پیدا کرده است و منحنی از تکرار ۳۰ به بعد همگرا شده است. در موقع حمله نظامی ممکن است خط یا دکلی از کار بیفتد و در نتیجه آن بارهای زیادی از شبکه جدا شوند. حال اگر جایابی منابع تولید پراکنده در یک شبکه توزیع را طوری انجام دهیم که قطع شدن یک خط باعث خارج شدن بارها نشود توانسته ایم با این خطر مقابله کنیم. شبکه توزیع دارای چند ریزشبکه است به‌طوری که هر کدام از ریزشبکه‌ها داری حداقل یک منبع تولید پراکنده

بخش‌های قبلی این است که در صورت امکان حداقل برای هر ریزشبکه یک منبع توان اکتیو انتخاب شود. در واقع به صورت اکید بر جزء‌های تاثیر گذار تابع هزینه تاکید شده و در ادامه از این تابع هزینه برای بهینه‌سازی استفاده شود. همانطور که در این تابع (معادله ۱) دیده می‌شود قسمت اول این تابع که از دو بخش بهینه‌سازی توان اکتیو و راکتیو تشکیل شده است و همین مسئله باعث شده است که در جایابی منابع توان اکتیو و راکتیو اثر گذار باشد. اکنون در ادامه قرار است که با توجه به اهمیت بخش‌های مشخص شده برای ساختار پدافند غیر عامل پیاده‌سازی شده در این تحقیق برای هر یک از ریزشبکه‌ها، یک منبع تولید توان راکتیو (بانک خازنی) و یک منبع تولید پراکنده تعیین شود. تابع هدف از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به خودکفا کردن هر ریزشبکه در تامین توان اکتیو و راکتیو خودش است. در نتیجه تابع هدف کاهش اختلاف بین توان تولیدی و توان مصرفی اکتیو و راکتیو است. تا اینکه در صورت قطع شدن ریزشبکه از شبکه توزیع، ریزشبکه کار خود را ادامه دهد به صورتی که تا جای ممکن بار خود را تامین کنند. قسمت دوم تابع هدف کاهش تلفات خطوط است به طوری که مکان و مقدار منبع تولید پراکنده و بانک خازنی طوری تعیین شود که تلفات هر ریزشبکه کاهش یابد. شبکه توزیع مطابق مرجع [۱۴] به هشت ریزشبکه تقسیم شده است که در شکل (۱) و جدول (۳) در پیوست نمایش داده شده است. در این مقاله به منظور نمایش نتایج صورت مناسب چند سناریو طراحی شده است تا با نمایش نتایج این سناریوها هدف مورد نظر برای جایابی منابع به صورت مشخص برآورده شود. نکته‌ای که در این قسمت لازم است ذکر شود توان کل شبکه است که این شبکه به صورت کامل ۳ مگاوات توان مصرفی دارد که برای جایابی منابع تولید پراکنده توجه به این نکته لازم است که تمامی این توان با استفاده از منابع تولید پراکنده تامین نخواهد شد بلکه تنها بخشی از این توان توسط منابع تامین می‌شود. نکته قابل تأمل در این شبکه سازی جلوگیری از ایجاد یک نیروگاه تولید پراکنده برای هر کدام از سه قسمت نامبرده در شبکه است. توضیح لازم در مورد جمله پیشین این است که ایجاد یک منبع مرکز در یک نقطه از شبکه خطر حمله به آن را بالا برد و از این رو در این شبکه سعی شده است که بر روی باسهای مختلف تعداد متفاوتی از این منابع تولید توان پراکنده قرار داده شود. هر کدام از منابع تولید پراکنده که بر روی باس‌های مختلف در نظر گرفته می‌شوند توانی برابر با ۲۵ کیلووات به شبکه تزریق می‌کنند.

۲-۴- سناریو اول

در این سناریو حداقل تعداد واحدهای منابع تولید پراکنده برابر

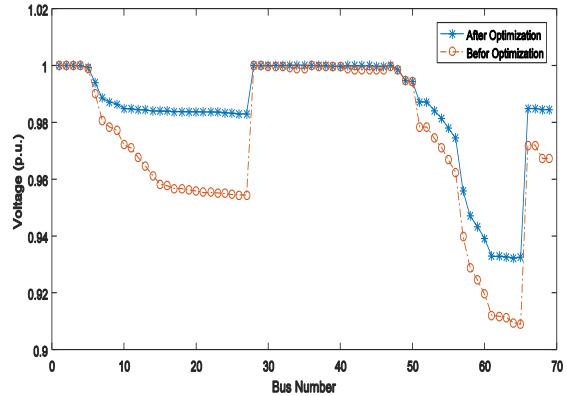
امپانس خطوط ضرب می‌شود و ولتاژ افت را به وجود می‌آورد کاهش یافته و از این رو است که مقدار افت ولتاژی که بر روی امپانس معادل طول خطوط به وجود می‌آید کاهش یافته و از این رو است که ولتاژ شبکه بر حسب پریونیت افزایش یافته و به یک نزدیکتر می‌شود. در این بررسی از شبیه‌سازی مقاله قبل از بهینه سازی کمینه ولتاژ دارای مقدار ۰/۹۷۳۰ پریونیت و بعد از بهینه سازی دارای مقدار ۰/۹۸۴۵ پریونیت است. هنگامی که ریزشبكه به صورت شبکه توزیع باشد و به شبکه اصلی وصل باشد کل بارها تامین خواهد شد ولی هنگامی که ریزشبكه ها به صورت مستقل عمل می‌کنند مقداری از بارها باید از شبکه جدا شوند. یا به اصطلاح load shedding اتفاق بیافتد. دلیل این بار ریزی به تعداد منابع تولید پراکنده و بانک خازنی بر می‌گردد که در تامین بار محدودیت ایجاد کرده است. تعداد و مکان منابع تولید پراکنده برای ریزشبكه ها به شرح زیر است:

جدول (۱): تعداد و مکان منابع تولید پراکنده برای ریزشبكه ها

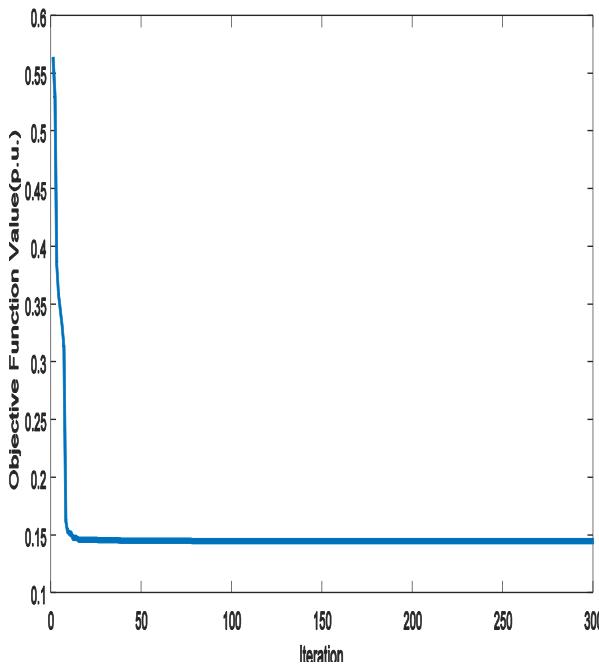
شماره باس توان اکتیو	تعداد منابع تولید پراکنده	شماره باس توان راکتیو	تعداد بانک خازنی
۹	۸	۵۱	۸
۳۴	۲	۳۰	۱
۴۵	۴	۴۲	۲
۵۸	۳	۵۴	۲
۶۴	۸	۶۵	۸
۱۲	۸	۶	۸
۱۷	۷	۱۶	۴
۲۱	۷	۲۴	۵

قابل ذکر است که تلفات قبل از بهینه‌سازی برابر با ۲۲۷ کیلووات و پس از بهینه‌سازی به ۱۲۲ کیلووات کاهش یافته است. از آنجایی که تلفات با جریان رابطه مستقیم داشته از این رو با کاهش تلفات توان کشیده شده از منبع نیز کاهش یافته و جریانی که از خطوط عبور کرده تا به محل تلفات برسد نیز کاهش یافته است. با کمتر شدن جریان کشیده شده حرارت در خطوط کاهش تلفات به واسطه کاهش جریان کشیده شده از رخ می‌دهد کاهش تلفات به واسطه کاهش جریان کشیده شده از منبع و در نتیجه کاهش جریانی که از خطوط می‌گذرد خواهد بود. در توزیع این منابع میان ریزشبكه های موجود نکته قابل توجهی وجود دارد و آنکه از مقایسه بین شکل (۱) و شکل (۲) دیده می‌شود که دقیقاً مطابق با اهمیت این نواحی منابع تولید پراکنده در این ریزشبكه ها توزیع شده‌اند.

می‌باشد. حال با این شرایط، در صورت قطعی برق، بارهای محلی با استفاده از منبع تولید پراکنده موجود تغذیه می‌شوند. در نتیجه یافتن مکان و مقدار منابع تولید پراکنده برای هر ریزشبكه حائز اهمیت می‌باشد.تابع هزینه همانطور که از نامش پیداست با توجه به اینکه از جنس هزینه بوده و در هر کاری هدف کم کردن هزینه است این تابع نیز باید تا جایی که می‌تواند کم شود. ریزشبكه ها تقسیم بندی شده است و هدف پدافند عامل با توجه به نوآوری مورد نظر این پژوهش به مقاله اضافه شده است. تابع هزینه مورد نظر که فرمولاسیون آن به صورت زیر است به صورتی است که در صورت وقوع بروز خطا برای یک یا چند ریز شبکه انتخاب شده در صورت بروز هر گونه حمله نظامی بتواند در صورت بروز قطعی برق منابع تولید پراکنده که برای شبکه در نظر گرفته شده است بتوانند پاسخگوی نیاز آن قسمت از شبکه بوده و در نتیجه تغذیه آن منطقه بی وقفه صورت پذیرد. در زیر تابع هدف مورد نظر نمایش داده شده است. بعد از بهینه‌سازی به هر کدام از ریزشبكه ها ای منبع توان اکتیو تخصیص داده می‌شود تا به صورت کامل نیاز سیستم به پدافند غیر عامل برطرف شده و در نتیجه بتوان انتظار داشت تا در صورت بروز خطا ریز شبکه ها به صورت مستقل به کار خود ادامه دهند این توان اکتیو است که بعد از بهینه‌سازی دیده می‌شود.



شکل (۸): نمودار پروفیل ولتاژ شبکه ۶۷ باسه مورد بررسی در این مقاله در دو حالت قبل از بهینه‌سازی و بعد از بهینه‌سازی میانگین و کمینه ولتاژ در نظر گرفته شده‌اند که به ترتیب کمینه ولتاژ قبل از بهینه سازی ۰/۹۰۹ پریونیت و کمینه ولتاژ بعد از بهینه‌سازی ۰/۹۳۲۵ پریونیت شده است که نشانگر افزایش مقدار ولتاژ است. افزایش ولتاژ به چه معنی است؟ با توجه به اینکه در این نمودارهای پروفیل ولتاژ) اعداد بر حسب پریونیت اعلام شده است از این رو انتظار می‌رود که قبل از بهینه‌سازی اعداد پایین تر از مقدار بعد از بهینه‌سازی باشند و از این رو است که لحظ افزایش ولتاژ به کار برد می‌شود. معنی افزایش ولتاژ در شبکه توزیع یعنی کاهش تلفات چرا که با کاهش جریان مقدار جریانی که در

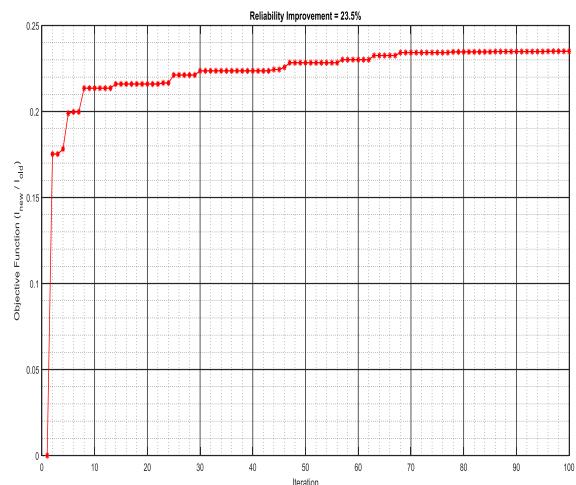


شکل (۱۰): نمودار همگرایی سناریو دوم

همانطور که در شکل (۱۰) نمایش داده شده است بعد از حدود ۱۰ تکرار الگوریتم وال جواب بهینه را یافته و از این رو است که نمودار همگرایی این الگوریتم از تکرار حدود ۱۰ به بعد مقدار برابر برای تابع هزینه یافته است و بنابراین معنی این نمودار همگرا شدن آن است. همانطور که از محورهای این شکل مشخص است دیده می‌شود ه محور افقی تعداد تکراری است که برای الگوریتم در نظر گرفته شده است و این تعداد ۳۰۰ مرتبه بوده است. همچنین در این شکل مشخص نمی‌شود که تعداد ذراتی که در این جستجو شرکت کرده‌اند چه تعداد بوده است اما در الگوریتم این تعداد ذرات ۱۰۰ در نظر گرفته شده است که به منظور فهمیدن تعداد جستجویی که در این شبکه برای منظور یافتن نقاط صحیح منابع تولید پراکنده و نیز بانک خازنی انجام شده است از ضرب این دو عدد به دست می‌آید. از این رو در این سناریو تعداد جستجو مناسب بوده است و از این نظر نقاطی که برای این منابع و نیز بانک‌های خازنی در نظر گرفته شده است به احتمال بسیار بالایی نقاط بهینه بوده است. تابع هدفی که برای این پژوهش در نظر گرفته شده است از نوع هزینه بوده است. از طرف دیگر می‌توان از روی شکل منحنی به نوع تابع هزینه پی برد چراکه منحنی که تابع هدف آن کاهشی باشد از نوع هزینه تعریف شده است و منحنی که تابع هدف آن از نوع افزایشی باشد از نوع سود آوری تعریف شده است.

۱-۲-۴- بررسی بهبود قابلیت اطمینان در سناریو اول

در این قسمت به منظور بررسی بهبود قابلیت اطمینان شبکه به ارائه معیاری از قابلیت اطمینان که مربوط به مقدار انرژی مورد انتظار مشترکین است که تحويل نشده است. از این رو ابتدا به مشخص کردن تابع هزینه ای که برای این کار استفاده شده است پرداخته می‌شود. در توضیح نحوه مشخص کردن قابلیت اطمینان با توجه به مقاله ای که در [۱۴] آورده شده است دیده می‌شود که با کاهش جریان شبکه بعد از بهینه سازی نسبت به قبل از بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه افزایش یافته و این مهم با کاهش EENS اتفاق می‌افتد. دلیل این توضیح این است که با کاهش جریان عبوری از شبکه توزیع حرارت در خطوط کاهش یافته و علاوه بر کاهش تلفات امکان رخداد خطأ در شبکه نیز کمتر می‌شود. از این رو در این پژوهش از متodi که در این مقاله برای این کار معرفی شده است استفاده می‌شود.



شکل (۹) : نتیجه بهبود قابلیت اطمینان در سناریو اول

با توجه به شکل (۹) دیده می‌شود که قابلیت اطمینان در این سناریو بهبود پیدا کرده است و مقدار بهبود قابلیت اطمینان در این سناریو به ۲۳.۶٪ رسیده است که بسیار مهم است.

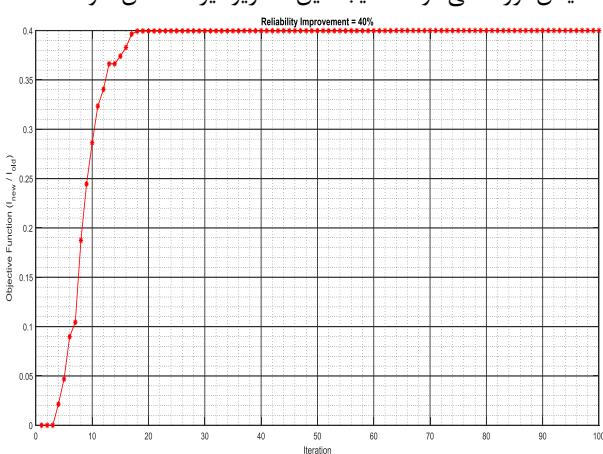
۳-۴- سناریو دوم

در این سناریو این بار تعداد منابع تولید پراکنده برابر ۸۰ و تعداد بانک خازنی را برابر ۷۰ در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن این تعداد منابع باید الگوریتم به دنبال بهترین نقاط برای جایابی این منابع گشته و پس از یافتن نقاط بهینه برای جایابی این منابع به هر ریز شبکه میزانی از توان که نیاز دارد را تخصیص دهد. نمودار ولتاژ و نمودار همگرایی در این سناریو به صورت زیر است:

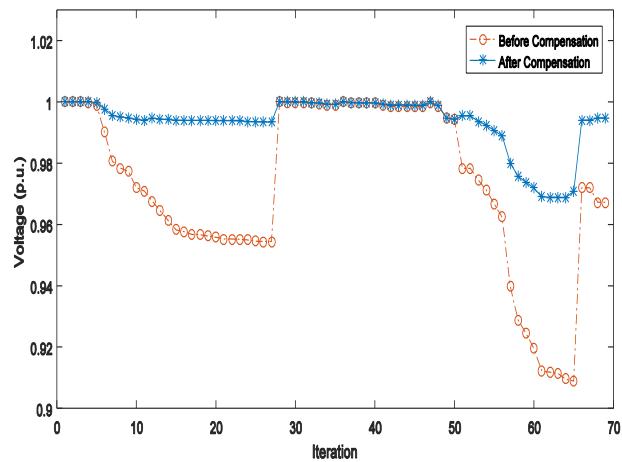
همانطور که در جدول (۱) و جدول (۲) دیده می‌شود در هر سناریو در ستون دوم شماره باسی که منبع توان اکتیو بر روی آن قرار می‌گیرد نمایش داده شده است. در ستون سوم تعداد منابع تولید پراکنده‌ای که بر روی باس‌های مختلف در دو سناریو قرار می‌گیرد آمده است و در ستون چهارم نیز شماره باسی که حداقل یک منبع توان راکتیو بر روی آن قرار می‌گیرد نمایش داده شده است و این قیود در برنامه نوشته شده برای شبیه‌سازی به صورت دقیق لحاظ شده‌اند. برای مثال قبل از بهینه‌سازی در میکروگرد شماره یک ۸ عدد منبع تولید پراکنده بر روی میکروگرد شماره ۵۱ منبع توان راکتیو گرفته است و نیز بر روی باس شماره ۵۱ منبع توان راکتیو قرار گرفته است. و بعد از بهینه‌سازی نیز بر روی باس شماره ۸ از میکروگرد شماره یک تعداد ۱۲ عدد منبع تولید پراکنده اکتیو و نیز بر روی باس شماره ۵۱ که در میکروگرد شماره یک قرار دارد نیز حداقل یک عدد منبع توان راکتیو قرار گرفته است. و سایر ستون‌های جدول نیز به همین ترتیب قابل تحلیل و بررسی هستند.

۴-۱-۳-۴- بررسی بهبود قابلیت اطمینان در سناریو دوم

با توجه به مقاله مرجعی که در این پژوهش به‌منظور استفاده در قسمت قابلیت اطمینان استفاده شده است دیده می‌شود که بهبود قابلیت اطمینان از طریق کاهش جریان عبور از خطوط رخ می‌دهد و به همین دلیل با ارزیابی نسبت جریان قبل از بهینه‌سازی و نیز بعد از بهینه‌سازی روند بهبود این معیار نیز مشخص می‌شود. در این سناریو با توجه به افزایش تعداد بانک‌های خازنی و نیز منابع تولید پراکنده که در شبکه جایابی شده‌اند انتظار می‌شود که نظر به اینکه در این شبکه پاسخگویی به تقاضا برای بار ساده‌تر شده است از این روند بهبود قابلیت اطمینان آورده می‌شود تا نتیجه این سناریو نیز مشخص شود.



شکل(۱۲) : بهبود قابلیت اطمینان در سناریو دوم

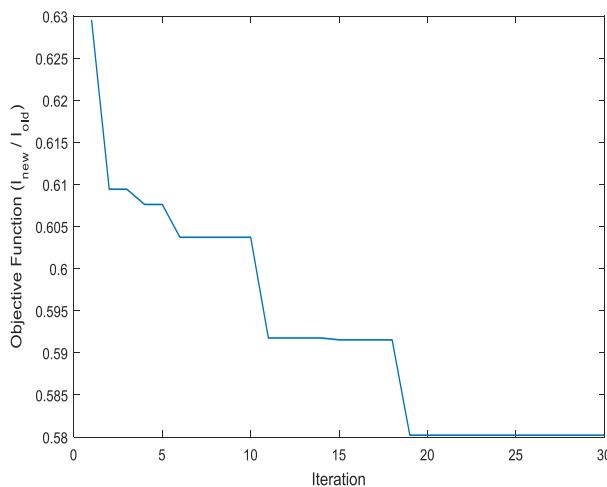


شکل (۱۱): نمودار پروفیل ولتاژ شبکه ۶۹ باسه مورد بررسی (سناریو دوم)

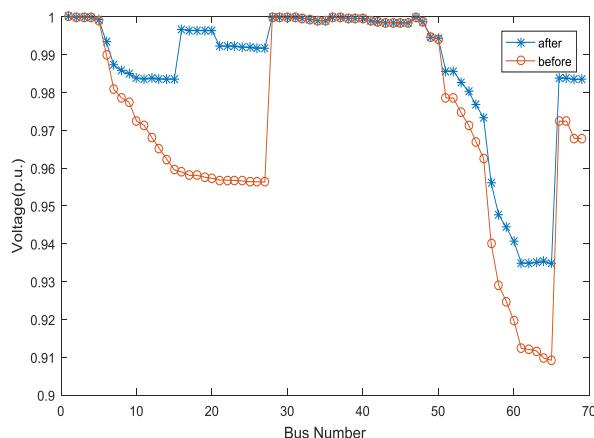
در این سناریو تلفات از ۲۲۷ کیلووات به ۳۴ کیلووات کاهش یافته است. علت این اختلاف اضافه شدن منابع توان تولید پراکنده در نقاطی از شبکه است که نیاز به توان داشته است. این مفهوم از آنجا بر می‌آید که با قرار گرفتن منابع تولید پراکنده در نقاطی از شبکه که درخواست توان از منبع اصلی زیاد است نیاز شبکه به جریان به صورت محلی پاسخ داده می‌شود و از این رو جریانی که از منبع اصلی باید کشیده شود و در قسمت زیادی از شبکه به راه بیفتند و در امپدانس خطوط شبکه جریان بیشتری ضرب شود و در نتیجه افت ولتاژ بیشتری محاسبه شود با قرار گرفتن منابع تولید پراکنده در شبکه این مقدار درخواست جریان کمتر شده است و از این رو تلفات کمتری شده و در نتیجه افت ولتاژ کمتر شده است و در نهایت پروفیل ولتاژ به یک نزدیک‌تر شده است. تعداد منابع تولید پراکنده و بانک‌های خازنی هر یک از ریزشبكه‌ها در جدول زیر آمده است:

جدول (۲): تعداد منابع تولید پراکنده و بانک‌های خازنی هر یک از ریزشبكه‌ها

تعداد بانک خازنی	شماره باس توان راکتیو	تعداد منابع تولید پراکنده	شماره باس توان اکتیو	شماره باس توان اکتیو
۱۷	۵۱	۱۲	۸	۳۴
۱	۳۱	۱۱	۴۵	۴۵
۲	۴۳	۹	۵۸	۵۸
۲	۵۵	۱۰	۶۱	۶۱
۳۰	۶۵	۱۰	۱۲	۱۲
۹	۶۸	۱۴	۱۷	۱۷
۴	۱۶	۷	۲۷	۲۲
۵	۲۷	۷		



شکل(۱۳): نمودار همگرایی



شکل(۱۴): نمودار ولتاژ باسها

جدول(۳): نتایج حاصل از حالت بررسی شده

کمینه ولتاژ	اتصال شاخه دوم به	اتصال شاخه اول به	افزایش قابلیت اطمینان
۰,۹۳۵	باس شماره ۵	باس شماره ۲	۷۲/۳۵

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله هدف جایابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن قیدهای پدافند غیر عامل بوده است. با توجه به اینکه در برخی از نواحی شبکه ممکن است اهداف استراتژیک قرار داده شده باشد از این رو نیاز است که در این نقاط منابعی به صورت محلی قرار داده شود که علاوه بر کاهش تلفات شبکه بتواند به صورت محلی پاسخگویی بار این قسمتها باشد. نشانه اینکه این منابع می‌توانند پاسخگویی بار شبکه باشند دو عامل است. یکی دانستن مقدار توانی که ریزشبکه هدف نیاز دارد و طراحی منبعی به اندازه همان نیاز برای آن قسمت از ریزشبکه. دوم اینکه با قرار دادن منابع تولید پراکنده برای شبکه بتوان تلفات شبکه را کم کرده و پروفایل ولتاژ شبکه را به مقدار یک پریونیت نزدیک کرد. لازم به

۴-۴- سناریو سوم: تلفیق قید هزینه قابلیت اطمینان ENS در ساختار مسئله پیشنهادی

در این بخش، برای تلفیق قید هزینه قابلیت اطمینان ENS از کمیت جریمه PF به عنوان جریمه مربوط به تجاوز از حد مجاز شاخص هزینه قابلیت اطمینان (RCI) استفاده می‌شود که با افزودن آن به هزینه کل، تابع هدف تکمیل یافته زیر حاصل خواهد شد:

$$OF_{Compl} = OF + PF \times RCI \quad (10)$$

مقدار RCI از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$RCI \begin{cases} \frac{(Cost_{Reliability} - Cost_{Reliability}^{max})^2}{0}, \\ , Cost_{Reliability} > Cost_{Reliability}^{max} \\ , otherwise \end{cases}, \quad (11)$$

که

$$Cost_{Reliability} = C_{ENS} \times (\sum_{i=1}^3 ENS_i + \sum_{i=4}^6 ENS_i + \sum_{i=7}^8 ENS_i) \quad (12)$$

$$Cost_{Reliability}^{max} = 0.15 \times OF \quad (13)$$

بطوریکه،

ENS_i : مقدار انرژی تأمین نشده مشترکین در ریزشبکه آم، $Cost_{Reliability}$: هزینه قابلیت اطمینان شبکه، $Cost_{Reliability}^{max}$: ماکریم هزینه قابلیت اطمینان تحمیلی به شبکه که ۱۵ درصد هزینه کل می‌باشد.

همانطور که از تابع هدف تکمیل یافته مشخص است در هر تکرار مقدار هزینه قابلیت اطمینان تحمیلی چک شده، درصورتی که این هزینه ($Cost_{Reliability}$) بیش از ۱۵ درصد هزینه کل (OF) باشد، الگوریتم به دنبال جواب دیگری (جواب بهینه) می‌گردد. جهت بررسی این سناریو مجدداً در دو عدد از ریزشبکه‌هایی که در قسمت‌های قبل مشخص شده، خطأ در نظر گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در این حالت قابلیت اطمینان تا ۷۲/۳۵ درصد بهبود یافته است. در این حالت نیز شاخه اول به باس شماره ۲ و شاخه دوم به باس شماره ۵ وصل شده است. از طرفی کمینه ولتاژ نیز به مقدار ۰/۹۳۵ پریونیت است. مکان منبع تولید پراکنده اول بر روی باس شماره ۶۴ و مکان منع تولید پراکنده دوم بر روی باس شماره ۱۲ است.

- [5] A. Gopi, "Distributed generation for line loss reduction in radial distribution system," In Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), 2012 International Conference on, IEEE, pp. 29-32, December 2017.
- [6] M. A. Kashem, A. D. Le, M. Negnevitsky, and G. Ledwich, "Distributed generation for minimization of power losses in distribution systems," In Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, pp. 8-pp IEEE, June 2016.
- [7] M. Palizyan and R. Dashti, "Enhancing Security of Power Transmission Systems Against Destructive Attacks in the Field of the Passive Defense" Passive Defense Quarterly, vol. 9, no. 3, pp. 11-19, 2018. (In persian)
- [8] M. Kowsalya, "Optimal Distributed Generation and capacitor placement in power distribution networks for power loss minimization," In Advances in Electrical Engineering (ICAEE), International Conference on, IEEE, 2014. pp. 1-6, January 2014.
- [9] J. P. Lopes, N. Hatziargyriou, J. Mutale, P. Djapic, and N. Jenkins, "Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities," Electric power systems research, vol. 77(9), pp. 1189-1203, (2017).
- [10] C. Mondal, "Distributed Generation Allocation for Power Loss Minimization and Voltage Improvement of Radial Distribution Systems Using Different ution Systems Using Different ution Systems Using Different Techniques," Techniques, 2017.
- [11] S. E. Souza, "Specialized genetic algorithm of Chu-Beasley applied to the Distribution System Reconfiguration problem considering several demand scenarios," in PowerTech, 2015 IEEE Eindhoven, IEEE, 2015.
- [12] D. F. Teshome and K. L. Lian, "An improved distribution system reconfiguration using hybrid GA with PSO," 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015, pp. 77-82, doi: 10.1109/EEEIC.2015.7165386.
- [13] C. Wang and M. H.Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," IEEE Transactions on Power systems, vol. 19(4), pp. 2068-2076, 2016.
- [14] S. A. Areffifar, I. Yasser Abdel-Rady Mohamed, and Tarek HM El-Fouly, "Supply-adequacy-based optimal construction of microgrids in smart distribution systems," IEEE transactions on smart grid 3.3, pp. 1491-1502, 2012.
- [15] Eid, Ahmad, and Salah Kamel, "Optimal Allocation of Multiple Distributed Generations in radial Distribution Systems Using Levy Flight Distribution Algorithm." 2021 IEEE International Conference on Automation Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA). IEEE, 2021.
- [16] Sambaiah, Kola Sampangi and T. Jayabarathi, "Optimal reconfiguration and renewable distributed generation allocation in electric distribution systems." International Journal of Ambient Energy 42.9, pp. 1018-1031, 2021.
- [17] Mujeeb, Asad, and Wang Peng, "Long Run Incremental Cost (LRIC) Distribution Network Pricing in UK, advising China's Distribution Network," arXiv preprint arXiv:2205.09946 2022.
- [18] Khan, Riaz, et al. "Energy Sustainability-Survey on Technology and Control of Microgrid, Smart Grid and Virtual Power Plant." IEEE Access 9 (2021): 104663-104694.
- [19] Chakraborty, Sanjoy, et al. "A novel enhanced whale optimization algorithm (WOA) for global optimization." Computers & Industrial Engineering 153 (2021): 107086.
- [20] K. H. Kim, Y. J. Lee, S. B. Rhee, S. K. Lee, and S. K. You, "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems. In Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, vol. 3, pp. 1148-1153, 2016.
- [21] B. Jedi, R. Ghafarpour, and A. M. Ranjbar, "Improving passive defense indicators using optimal planning Renewable energy sources in smart electricity distribution networks," Journal of the Iranian Electrical and Electronics Engineering Association - 15th year - 1st issue - Spring 2017. (In persian)

ذکر است که سیستم مورد مطالعه، متعادل است که در آن، بارها و خطوط انتقال متعادل هستند (امیدانس هر سه فاز برابر است) و ژنراتورها ولتاژ سه‌فاز متعادل تولید می‌کنند (دامنه ولتاژ سه‌فاز، برابر و اختلاف فاز آن‌ها ۱۲۰ درجه است). در این پژوهش با توجه به اینکه وجود اهداف استراتژیک فرضی بوده است و نمی‌توان توان مشخص را برای این اهداف در نظر گرفت از این رو از راه دوم برای موفق بودن این روش استفاده شده است. بدین معنی که اگر منابع تولید پراکنده توأمی کاهش افت و ولتاژ شبکه را داشته باشند پس توأمی پاسخگویی نیاز شبکه را نیز خواهد داشت.. در این مقاله برای بررسی نقش بهینه‌سازی دو سناریو مختلف در نظر گرفته شده است که در سناریو اول تعداد واحدهای منابع تولید پراکنده توأمی کاهش افت و ولتاژ تعداد واحدهای خازنی برابر با ۳۸ واحد در نظر گرفته شده است. در اثر جایگذاری درست این واحدهای تولید توان در جاهای مناسب تلفاتی که قبل از بهینه‌سازی برابر با ۲۲۷ کیلووات بوده است بعد از بهینه‌سازی کاهش قابل توجهی داشته است و به ۱۲۲ کیلووات پذیرفته را نمایش می‌دهد. از سوی دیگر در سناریو دوم تعداد منابع تولید پراکنده را برابر ۸۰ و تعداد بانک خازنی را برابر ۷۰ در نظر گرفته‌ایم. در ابتدا دیده می‌شود که نمودار همگرایی این سناریو به صورت قابل توجهی حتی با حالت قبلی تفاوت پیدا کرده است و بهینه سازی صورت پذیرفته با این تعداد منابع به کاهش تلفات بسیار بیشتری انجامیده است. در این حالت که این خود به خوبی بیان گر نقش بهینه‌سازی در تعیین مکان مناسب منابع تولید پراکنده و تعداد این منابع و در نهایت کاهش تلفات است. برای بهبود کار انجام شده در این مقاله موارد زیر پیشنهاد می‌شود: مکانی که در آن شبکه توزیع به ریزشبكه تبدیل می‌شود میتواند مورد مطالعه قرار گیرد تا نوع و قابلیت تولید توان منابع تولید پراکنده تعیین شود- در این مقاله شبکه توزیع ۶۹ باسه به ۸ ریزشبكه تبدیل شده است. تعداد ریزشبكه ها را میتوان کمتر/بیشتر نمود و مطالعه‌ای بر روی اثر آن بر تأمین بار شبکه توزیع انجام داد و برای دقیق تر شدن محاسبات می‌توان تغییرات بار را در شبانه روز را درنظر گرفت.

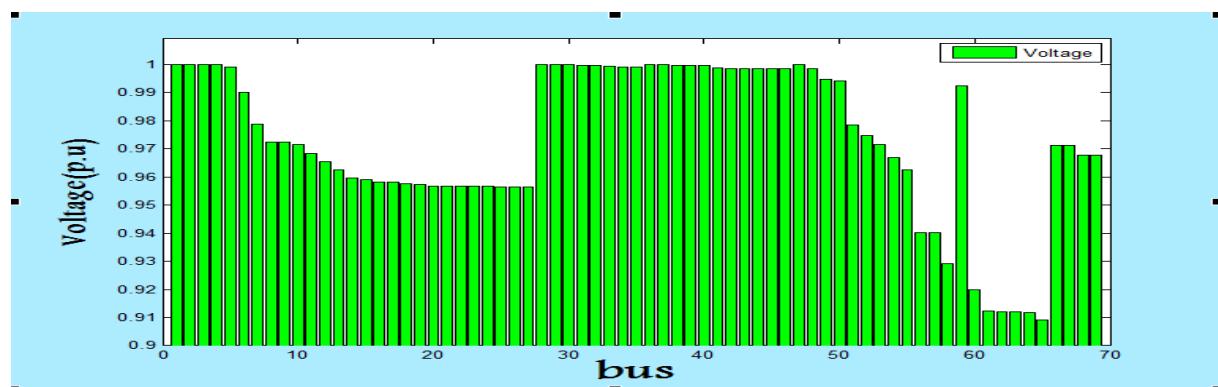
۶- مراجع

- R .Dashti, , "Passive defense in electrical energy distribution systems", Passive Defense Quarterly, fourth year, no. 3, pp. 1-11, 2013. (In persian)
- R. Ghafarpour, "Passive defense in the planning of electric power distribution systems", Tehran, Imam Hossein University, 2017. (In persian)
- X. Chen, et al., "Reinforcement learning for selective key applications in power systems: Recent advances and future challenges," IEEE Transactions on Smart Grid 2022.
- A. Asrari, "Optimal distribution network reconfiguration using dynamic fuzzy based genetic algorithm. in Innovations in Technology Conference (InnoTek)," 2014 IEEE, 2014.

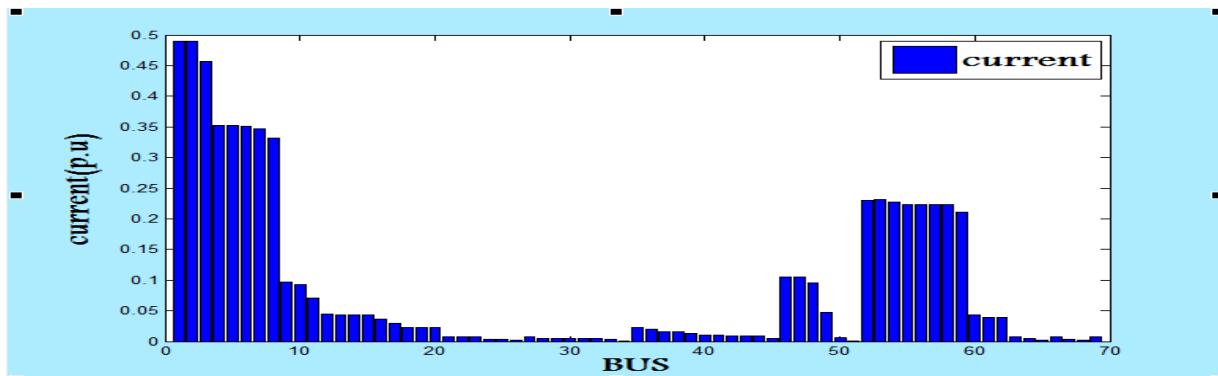
پیوست

جدول (۳): ناحیه‌بندی شبکه ۶۹ باسه استاندارد به منظور تقسیم بندی پدافند غیر عامل

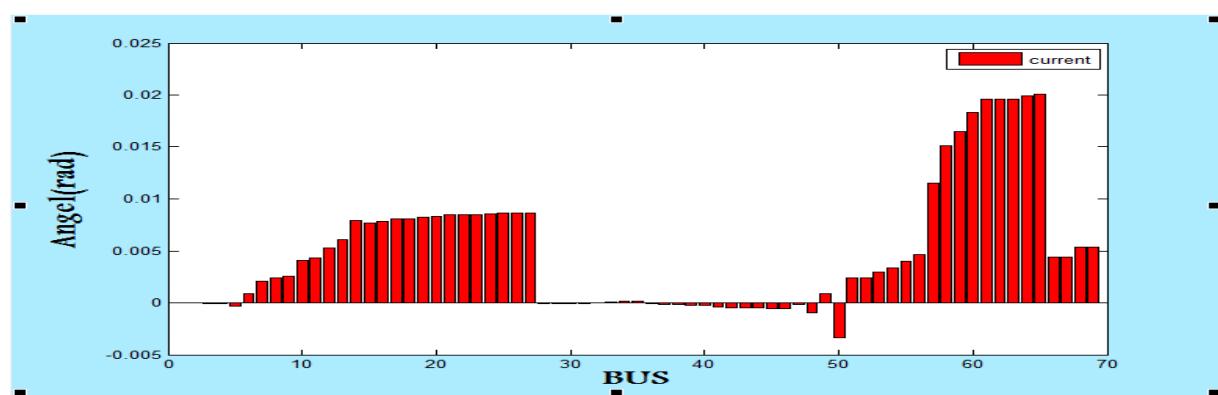
ناحیه‌ها	باس‌ها	میکروگریدها
۱	حياة	سه ریز شبکه اول (۱ و ۲ و ۳)
۲	حساس	سه ریز شبکه دوم (۴ و ۵ و ۶)
۳	مه	دو ریز شبکه آخر (۷ و ۸)



شکل(۱۵): دامنه ولتاژ گره‌های سیستم توزیع ۶۹ باسه



شکل(۱۶): دامنه جریان شاخه‌های سیستم ۶۹ باسه



شکل(۱۷): زاویه سیستم ۶۹ باسه

نشریه علمی پدافند غیر عال

سال چهاردهم، شماره ۲، ایستان ۱۴۰۲ (پیاپی ۵۴)؛ صص ۱-۱۴

علمی-پژوهشی

یافتن مکان و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده و خازن در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی با تقسیم‌بندی ریزشبکه‌ای با رویکرد پدافند

غیرعامل

محمود زاده‌باقری^{۱*}، علیرضا عباسی^۲، محمدجواد کیانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

چکیده

پدافند غیرعامل مسئله‌ای است که در سالیان اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و دارای این مفهوم که در برخی زمان‌ها جوامع بشری با مشکلات طبیعی و غیر طبیعی مواجه می‌شوند. در صورتی که برای این حوادث از قبل برنامه‌های مناسبی در نظر گرفته شده باشد مشکلاتی که در جوامع در اثر این حوادث به وجود می‌آید بسیار کمتر بوده و شکی نیست که با توجه به وجود برخی مراکز در شهرها برخی نقاط از اهمیت بالایی برخوردار بوده و سعی شده که این نقاط تحت هر شرایطی خودکفا بوده و در نتیجه بتوان از تمامیت این نقاط در مقابل قطعی انرژی الکتریکی محافظت کرد. در این مقاله، شبکه سراسری برق را به ۸ ریز شبکه تقسیم بندی می‌کنیم و به هر کدام از این ریزشبکه‌ها منابع تولید پراکنده شامل توان اکتیو و راکتیو تخصیص داده شده است و سپس به‌گونه‌ای با این ۸ ریز شبکه که می‌توانند به صورت پیوسته و نیز جزیره‌ای کار کنند رفتار شود که در صورتی که اتفاقی برای هر کدام از این شبکه‌ها در زمان حوادث رخدده و به هر دلیلی از شبکه اصلی قطع شوند این شبکه‌ها بتوانند به صورت جزیره‌ای کار کرده و پاسخگوی نیاز بارهای هر قسمت باشند. در ادامه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی وال یا نهنگ به جایابی مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و نیز بانک‌های خازنی پرداخته می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان نیاز شبکه را به صورت محلی پاسخ داده و به همین دلیل از تلفات زیاد توان و در نتیجه افت ولتاژ جلوگیری کرد. برای بررسی نقش بهینه‌سازی در سناریو اول تعداد واحدهای منابع تولید پراکنده برابر ۴۷ واحد و حداقل تعداد بانک خازنی برابر با ۳۸ واحد در نظر گرفته شده است. در اثر جایگذاری بهینه این واحدهای تولید توان در جاهای مناسب تلفاتی که قبلاً از بهینه‌سازی برابر با ۲۲۷ کیلووات بوده بعد از بهینه‌سازی کاهش قابل توجهی داشته و به ۱۲۲ کیلووات کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: منابع تولید پراکنده، شبکه ۶۹ باسه استاندارد، پدافند غیرعامل، بهینه‌سازی، بانک خازنی، ریزشبکه

^۱ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران - (ma.zadehbagheri@iau.ac.ir) - نویسنده مسئول

^۲ استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه فسا، فارس، ایران

^۳ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران