

تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای فتوولتائیک در پایگاه‌های دریایی دارای

ماهیت ریز شبکه با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تکاملی

محمد رضا سهیلی فر^۱، سمانه اسکندری^۲، محمد علیزاده^۳

rsheilifar@ee.kntu.ac.ir

۱- استادیار دانشکده برق دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق دانشگاه دانشگاه علامه محدث نوری

۳- دانشجوی دکترای مهندسی برق دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

برای بهبود عملکرد شبکه‌های توزیع در هنگام افزودن واحدهای فتوولتائیک به این شبکه، باید مکان و ظرفیت بهینه این واحدها در نظر گرفته شود تا بیشترین بازده را داشته باشد. مکان‌یابی منابع تولید پراکنده با اهداف مختلفی صورت می‌گیرد. در این مطالعه مکان و ظرفیت بهینه واحدهای فتوولتائیک برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه توزیع و ریز شبکه تعیین می‌شود. پایگاه‌های ساحلی نیروی دریایی با افزودن منابع تولید پراکنده مانند میکروتوربین‌ها، توربین‌های بادی و واحدهای فتوولتائیک در نقش یک ریز شبکه عمل خواهند کرد. مطالعه در دو حالت یکی با در نظر گرفتن توانایی سیستم فتوولتائیک در تولید فقط توان اکتیو و دیگری با در نظر گرفتن توانایی سیستم فتوولتائیک در تولید همزمان توان اکتیو و راکتیو پیاده‌سازی می‌شود. در مطالعه، از سه الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، ازدحام ذرات و رقابت استعماری بر روی شبکه توزیع ۶ باس IEEE استفاده شده است. تمامی الگوریتم‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

واژگان کلیدی: ریز شبکه، واحدهای فتوولتائیک، الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات، رقابت استعماری

تاریخ دریافت مقاله : ۹۶/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۲/۰۲

۱- مقدمه

امروزه با گسترش فن‌آوری‌های تولید انرژی، افزایش توجه به مسائل زیست‌محیطی و علاقه برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های الکتریکی، امکان و انگیزه‌ی لازم برای تغییر شبکه‌های توزیع از حالت غیرفعال به فعال و رغبت در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح سیستم توزیع فراهم شده است. با وجود اینکه استفاده از منابع تولید پراکنده می‌تواند به صورت بالقوه‌ای نیاز برای گسترش شبکه‌های الکتریکی سنتی را کاهش دهد، اما کنترل تعداد زیادی از آن‌ها همراه بارهای کنترل‌پذیر باعث به وجود آمدن چالشی جدید در کنترل و عملکرد یک شبکه مطمئن و اقتصادی شده است. این چالش تا به یک اندازه به وسیله ریزشبکه‌ها با کاهش در مسئولیت کنترلی شبکه کاهش پیدا می‌کند و باعث می‌شود تا حداکثر بازده اقتصادی به دست آید. از این رو راه‌حل مناسب، ساخت شبکه‌های کوچک و مستقل از شبکه اصلی یا ریزشبکه‌ها است.

ریزشبکه‌ها می‌توانند از طریق یک نقطه‌ی کولپینگ مشترک به شبکه اصلی متصل شوند و یا به صورت مستقل از شبکه اصلی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. استانداردهای کنونی اجازه بهره‌برداری ریزشبکه‌ها در حالت مستقل از شبکه اصلی را نمی‌دهند. دلیل اصلی آن نیز مسائل ایمنی مرتبط با لحظه جدا شدن از شبکه اصلی است.

به عبارت دیگر، حالت گذرای ایجاد شده هنگام جزیره شدن ریزشبکه به خصوص هنگامی که ریزشبکه در حال تغذیه بار راکتیو محلی است، می‌تواند امنیت هر دو سمت را به مخاطره بیندازد. همچنین پیچیده بودن کنترل ولتاژ و فرکانس سمت ریزشبکه دلایل دیگری هستند که امکان جزیره شدن را با مشکل مواجه می‌کنند. چنانچه ریزشبکه‌ها به طور صحیح ادغام و مدیریت شوند، می‌توانند کارآمدی سیستم را افزایش دهند. این افزایش کارآمدی شبکه قدرت نتیجه چهار علت اصلی خواهد بود: پشتیبانی از نفوذ گسترده منابع تولید پراکنده با مقیاس‌های کوچک،

تسهیل نمودن ادغام منابع تجدیدپذیر با سایر منابع، کاهش قابل توجه تلفات سیستم و انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش قابلیت اطمینان برق تولیدشده جهت عرضه به مصرف‌کنندگان.

یکی از مزایای نصب تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع کاهش تلفات انرژی است. استفاده بهینه از تولیدات پراکنده برای حداقل کردن تلفات، توجه محققین را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. در این میان بررسی تأثیر تغییرات بار و تولید بر کل تلفات انرژی بسیار ضروری است و به عنوان معیار واقعی توسط شرکت توزیع مدنظر قرار می‌گیرد [۱]. مرجع [۲] جایابی بهینه تولیدات پراکنده را برای حداقل کردن تلفات توان بررسی می‌کند. در این مقاله به بررسی ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده پرداخته نشده و برای ساده‌سازی تحلیل‌ها، تنها خطوط هوایی با پارامترهای R و X در نظر گرفته شده است. در مرجع [۳] تأثیر نفوذ تولیدات پراکنده با فناوری‌های مختلف بر تلفات سالانه انرژی محاسبه شده است. بعلاوه تأثیر تولیدات پراکنده با فناوری‌های متفاوت از قبیل سیکل ترکیبی، انرژی بادی، فتوولتائیک، سلول خورشیدی روی تلفات بررسی شده و نشان داده شده که انرژی بادی بدترین رفتار را روی کاهش تلفات نشان می‌دهد. همچنین واحدهای تولید پراکنده با قابلیت کنترل توان راکتیو، اثر بیشتری در بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات در شبکه خواهند داشت.

در مرجع [۴] از روش ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه سازی انبوه ذرات برای بهینه کردن ظرفیت و مکان نصب تولیدات پراکنده استفاده شده است. تابع هدف در این مرجع حداقل کردن تلفات توان، بهبود تنظیم ولتاژ و پایداری ولتاژ سیستم در شبکه‌های توزیع شعاعی است. مرجع [۵] الگوریتمی برای تعیین ظرفیت و مکان نصب بهینه تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع، بر مبنای یک شاخص جدید معرفی می‌کند. در این مرجع تأثیر تولیدات

دارد ولی در حالت ۲، علاوه برای تولید توان اکتیو، از قابلیت تولید توان راکتیو نیز بهره برداری می شود.

۲- مروری بر ریزشکها

در شبکه‌های سنتی برق، بخش توزیع، توان لازم جهت بارها و مشتریان را تحویل می‌دهد. می‌توان گفت اولین نیازهای زیست‌محیطی شاید سرآغاز تفکر تجدید ساختار در شبکه‌های سنتی بود. این تفکر باعث به وجود آمدن ایده تأمین بار محلی و استفاده از منابع انرژی پراکنده را به وجود آورد. این تفکر به‌طور فزاینده‌ای به راه‌حلی مهم و لازم برای مقابله با چالش‌های متعددی که انرژی جهانی، اقتصاد، آلودگی محیط‌زیست و امنیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد تبدیل شد. این چالش‌ها از یک سو و از سوی دیگر رشد جمعیت، بازسازی شبکه‌های برق، قیمت سوخت‌های فسیلی و گرمایش جهانی، نیروهای محرک بر نیاز و فرصت برای بهبود ساختار تولید، انتقال و توزیع انرژی قابل‌اعتماد و مقرون‌به‌صرفه می‌باشند. این امر در دهه گذشته، موجب افزایش قابل‌توجهی در تحقیق، توسعه و استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده شده و چشم‌انداز تولید انرژی به استفاده از منابع انرژی پاک و تولید برق محلی نزدیک به مصرف‌کنندگان تغییر کرده است. با توجه به این رویکرد، سیستم‌های قدرت در مقیاسی کوچک معرفی گردید که از منابع انرژی پراکنده^۴ (DER)، تشکیل شده و می‌تواند به‌تنهایی بار محلی را تأمین و یا جهت تبادل انرژی به شبکه متصل شود. تحقق بخشیدن به این راه‌حل جایگزین، با پتانسیل در حال رشد تولیدات و منابع انرژی پراکنده و بارهای مرتبط با آن به‌عنوان یک سیستم قدرت کوچک؛ به نام ریزشکبه معرفی و مفاهیم اولیه ریز شبکه به‌عنوان راهی برای مجتمع سازی منابع تولید پراکنده و با بهره‌وری بالاتر نسبت به نیروگاه‌های معمولی مطرح گردید.

۳- مدل‌سازی مسئله بهینه‌سازی

مسئله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت واحدهای فتوولتائیک در یک ریزشکبه به‌صورت یک تابع چندهدفه تعریف شده است که توابع هدف شامل حداقل کردن هزینه سوخت

پراکنده بر تلفات سیستم، پروفیل ولتاژ و پایداری ولتاژ بررسی می‌شود.

مرجع [۶] روشی را برای جابجایی بهینه فناوری‌های متفاوت تولیدات پراکنده به‌منظور کاهش تلفات انرژی ارائه می‌دهد. روش ارائه‌شده بر اساس مدل تولید مصرف احتمالی که همه حالت‌های عملکرد واحدهای تولید پراکنده با احتمالاتشان را ترکیب می‌کند، تشکیل شده است. محدودیت ولتاژ، ظرفیت بار خطوط، حداکثر نفوذ تولیدات پراکنده، گام‌های افزایش یا کاهش ظرفیت تولیدات پراکنده، قیود مسئله است.

یک روش تحلیلی برای حداقل کردن تلفات سیستم به‌وسیله نصب انواع مختلف تولیدات پراکنده در [۷] مطرح شده است. برای این منظور، علاوه بر ظرفیت، ضریب توان بهینه نیز برای چهار نوع منبع تولید پراکنده به نحوی تعیین می‌شود که بیشترین کاهش در تلفات ایجاد شود. بنابراین در این روش انواع تولیدات پراکنده که توانایی تولید یا جذب توان راکتیو را دارند موردبررسی قرار گرفته است. در حضور منابع تولید پراکنده، ولتاژ باس‌ها بسته به ظرفیت تولیدات پراکنده تغییر می‌کند. اگر دو شبکه توزیع دارای ساختار و نیز ظرفیت تولیدات پراکنده یکسان باشند موقعیت متفاوت تولیدات پراکنده می‌تواند اثرات متفاوتی را بر روی شبکه داشته باشد [۸]. در واقع انتخاب محل نصب نامناسب برای تولیدات پراکنده می‌تواند حتی باعث افزایش تلفات در شبکه و افزایش بیش‌ازحد ولتاژ شود [۹].

در این مقاله جهت تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای فتوولتائیک در یک ریزشکبه پایگاه ساحلی از سه الگوریتم ژنتیک^۱ (GA)، بهینه‌سازی انبوه ذرات^۲ (PSO) و الگوریتم رقابت استعماری^۳ (ICA) استفاده شده است. همچنین سیستم فتوولتائیک در دو حالت مختلف بررسی شده است. در حالت ۱، PV فقط قابلیت تولید توان اکتیو را

1 Genetic algorithm

2 Particle swarm optimaization

3 Imperialist competition algorithm

4 Distributed energy resources

در این بخش، قیود فنی شامل قیود مربوط به معادلات پخش بار، قیود مربوط به توان خروجی واحدهای حرارتی، محدودیت ولتاژ باسها و محدودیت انتقال توان است.

$$P_i^G - P_i^D = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (5)$$

$$Q_i^G - Q_i^D = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (6)$$

$$Q_i^{G,\min} \leq Q_i^G \leq Q_i^{G,\max} \quad i = 1, 2, L, N_g \quad (7)$$

$$P_i^{G,\min} \leq P_i^G \leq P_i^{G,\max} \quad i = 1, 2, L, N_g \quad (8)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad i = 1, 2, L, N_m \quad (9)$$

$$S_l \leq S_l^{\max} \quad l = 1, 2, L, N_L \quad (10)$$

۴- الگوریتم‌های تکاملی

در مسئله بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه برحسب متغیرهای مسئله، است. در همه الگوریتم‌های تکاملی، مجموعه اولیه‌ای از جواب‌های احتمالی تشکیل داده می‌شود. این جواب‌های اولیه در الگوریتم ژنتیک با عنوان «کروموزوم»، در الگوریتم ازدحام ذرات با عنوان «ذره» و در الگوریتم رقابت استعماری نیز با عنوان «کشور» شناخته می‌شوند.

درواقع این الگوریتم‌ها جواب‌های مسئله بهینه‌سازی را بررسی کرده و سعی می‌کنند در طی فرایندی تکرارشونده این جواب‌ها را رفته‌رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسئله برسانند. در شکل‌های (۱) الی (۳) فلوچارت الگوریتم‌های تکاملی رقابت استعماری، ازدحام انبوه ذرات و ژنتیک نشان داده شده است.

واحدهای تولید پراکنده حرارتی، تلفات توان در خطوط انتقال و پروفیل ولتاژ در باس‌های ریزشبکه است.

۳-۲- حداقل کردن هزینه سوخت واحدهای حرارتی

تابع هزینه تعریف‌شده برای سوخت واحدهای حرارتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$OF = \sum_{i=1}^{N_g} F_i(P_i) \quad (1)$$

که در آن، OF هزینه کل سوخت واحدهای حرارتی و F_i هزینه سوخت واحد حرارتی i ام است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + C_i \quad (2)$$

که در این رابطه a_i ، b_i و C_i ضرایب تابع هزینه می‌باشند.

۳-۳- حداقل کردن تلفات ریزشبکه

تابع هدف مربوط به کاهش تلفات توان اکتیو شبکه می‌تواند از طریق زیر محاسبه شود:

$$OF2 = \sum_{l=1}^{N_L} P_l^{loss} \quad (3)$$

OF2 کل تلفات توان حقیقی شبکه، P_l^{loss} تلفات توان حقیقی خط l ام و N_L تعداد خطوط انتقال در ریزشبکه است.

۳-۴- حداقل کردن تغییرات ولتاژ ریزشبکه

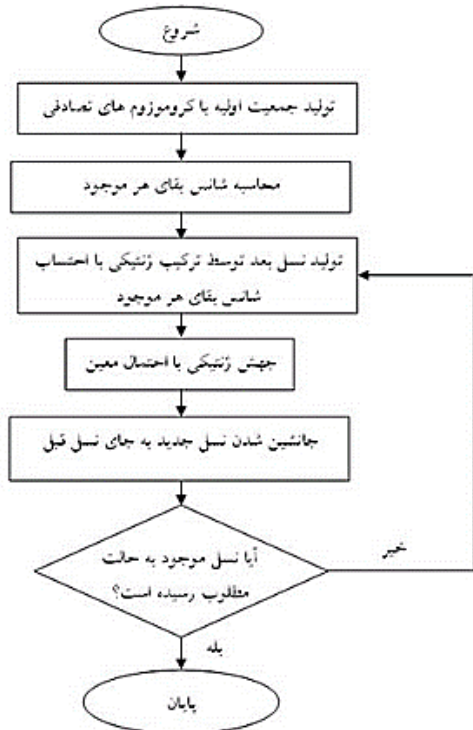
تابع هدف مربوط به حداقل کردن تغییرات ولتاژ در سطح ریزشبکه به صورت (۴) مدل‌سازی شده است.

$$OF3 = \sum_{i=1}^{N_{bus}} |\Delta V_i| \quad (4)$$

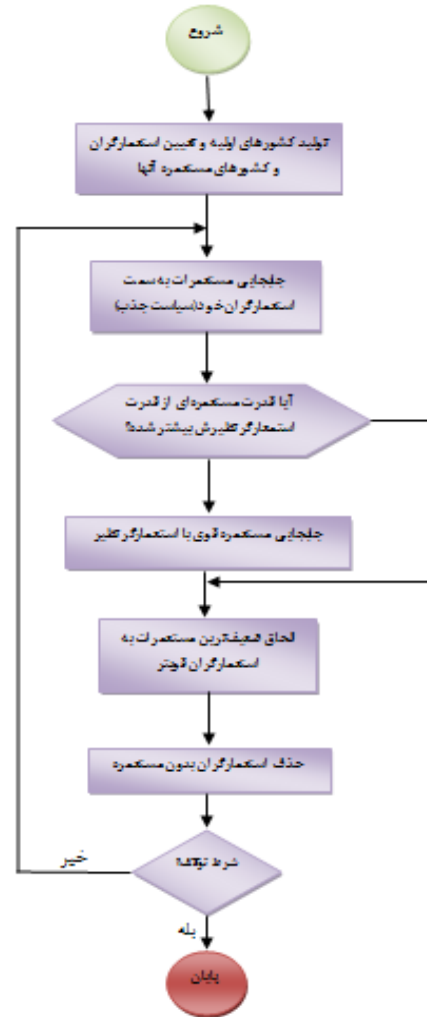
۳-۵- قیود فنی مسئله بهینه‌سازی چند هدفه



شکل (۲) فلوجارت الگوریتم ازدحام انبوه ذرات [۱۱]



شکل (۳) فلوجارت الگوریتم ژنتیک [۱۲]



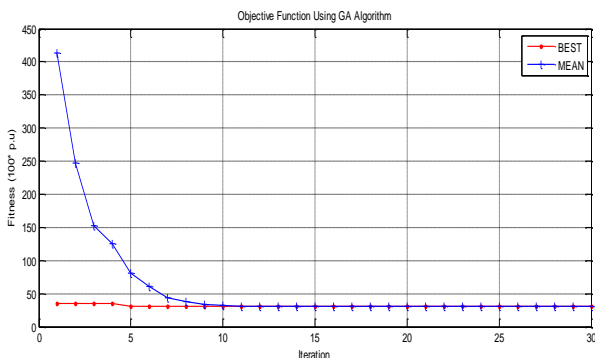
شکل (۱) فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری [۱۰]

۵- شبیه‌سازی

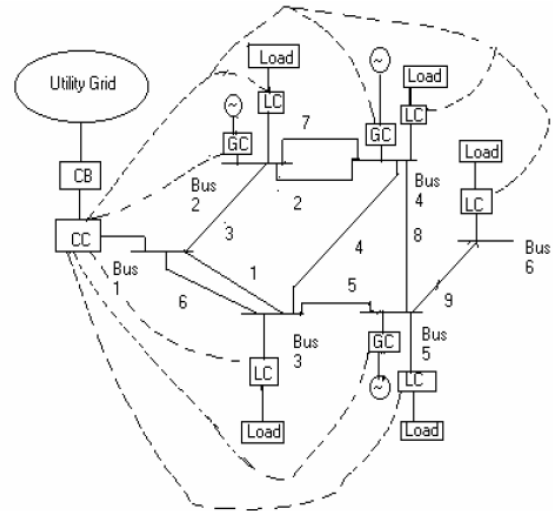
در شکل (۴)، ریزشبکه ۶ باس استاندارد IEEE نشان داده شده است، در این شبکه شین شماره ۱ شین مرجع بوده و به شبکه بالادست متصل است. این شبکه دارای ۹ خط است. لازم به ذکر است که ساختار ریزشبکه‌ها صرفاً به صورت شعاعی نیست و برای اطمینان خاطر از عملکرد ایمن آن‌ها را به صورت حلقوی نیز طراحی می‌کنند. در واقع ملاحظات طراحی ریزشبکه‌ها فراتر از شبکه‌های توزیع شعاعی است.

در هر سه الگوریتم بهینه‌سازی، تعداد تکرار کل برابر ۳۰ در نظر گرفته شده است، برای هر سه الگوریتم تعداد جمعیت اولیه برابر ۳۰ تا گرفته شده است تا شرایط مقایسه به یکدیگر نزدیک باشد. این مقادیر برای تمام شبکه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. بعضی از پارامترها مختص خود الگوریتم است، برای نمونه میزان احتمال تقاطع و احتمال جهش در الگوریتم ژنتیک برابر ۰/۹ و ۰/۱ در نظر گرفته شده است و ضرایب یادگیری C۱ و C۲ برابر ۲ و ضریب وزن اینرسی (W) ماکزیمم و حداقل آن برابر ۰/۹ و ۰/۴ در نظر گرفته شده است و همچنین در الگوریتم رقابت استعماری تعداد امپریالیست‌ها برابر ۳ و نرخ انقلاب برابر ۰/۴ و ضریب جذب برابر ۲ و ضریب زاویه جذب ۰/۵ و نسبت میرایی و ضریب متوسط هزینه‌ی کل کلونی‌ها برابر ۰/۹۹ و ۰/۰۲ است. برای الگوریتم PSO این مقادیر به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۳۴ می‌باشند. این مقادیر برحسب تجربه‌های مختلف در انتخاب این پارامترها و دستیابی به جواب مناسب در آن‌ها در برنامه‌های مربوط به این الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقادیر انتخابی برای هر الگوریتم، روند همگرایی سه الگوریتم ژنتیک (GA)، ازدحام ذرات (PSO) و رقابت استعماری (ICA) در شکل‌های (۶) الی (۹) آمده است. برای هر الگوریتم هم مقادیر بهینه و هم مقادیر متوسط تابع برازندگی کل جمعیت در هر مرحله نشان داده شده است.

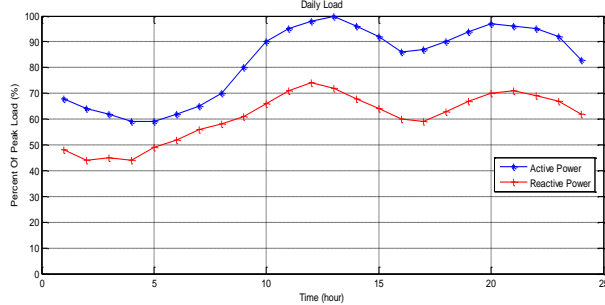


شکل (۶) روند همگرایی الگوریتم GA



شکل (۴) ریز شبکه ۶ باس مورد مطالعه

از آنجاکه هدف مقاله مکان‌یابی و تعیین مکان و اندازه بهینه سیستم فتوولتائیک است، بنابراین برای پیاده‌سازی این روش به پروفیل بار ۲۴ ساعته نیاز است. منحنی بار ۲۴ ساعته از حاصل ضرب بار پیک سیستم و در یک بار معمول روزانه که به صورت درصدی از بار پیک است، به دست می‌آید که این داده‌ها در شکل (۵) و جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۵) بار ۲۴ ساعته شبکه به صورت درصدی از بار پیک

جدول (۱) اطلاعات بار پیک ریز شبکه ۶ باس

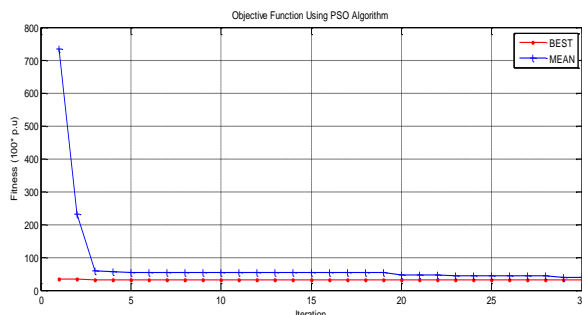
شین	P (kW)	Q (kvar)
۱	۰	۰
۲	۲۰	۱۶/۵
۳	۸۵	۳۷/۹
۴	۴۰	۲۳/۱۲
۵	۲۰	۱۶/۵
۶	۲۰	۱۶/۵

نصب‌شده) مشخص است. با توجه به این درصدها در جدول (۲) میزان توانایی حداکثر تولید توان راکتیو نیز مشخص می‌گردد.

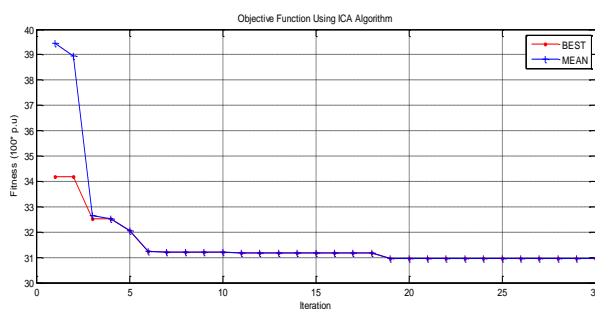
جدول (۲) میزان درصد تولید توان اکتیو و راکتیو سیستم فتوولتائیک در طول شبانه‌روز

ساعت	P (%)	Q (%)	ساعت	P (%)	Q (%)
۱	۰	۱۰۰	۱۳	۱۰۰	۰
۲	۰	۱۰۰	۱۴	۸۵	۵۲/۷
۳	۰	۱۰۰	۱۵	۵۰	۸۶/۶
۴	۰	۱۰۰	۱۶	۱۲	۹۹/۳
۵	۰	۱۰۰	۱۷	۵	۹۹/۸
۶	۰	۱۰۰	۱۸	۰	۱۰۰
۷	۵	۹۹/۸	۱۹	۰	۱۰۰
۸	۱۲	۹۹/۳	۲۰	۰	۱۰۰
۹	۵۰	۸۶/۶	۲۱	۰	۱۰۰
۱۰	۸۵	۵۲/۷	۲۲	۰	۱۰۰
۱۱	۱۰۰	۰	۲۳	۰	۱۰۰
۱۲	۱۰۰	۰	۲۴	۰	۱۰۰

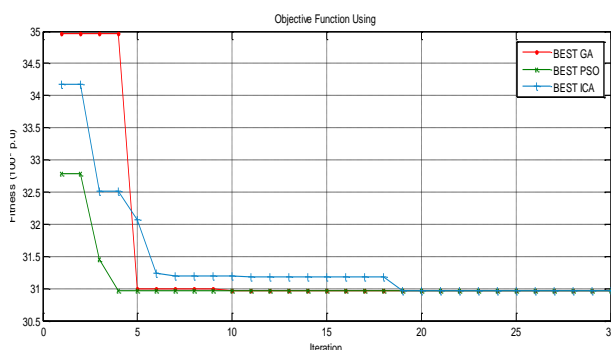
از شکل‌های (۶) تا (۹) که روند همگرایی در آن‌ها نشان داده شده است، می‌توان دریافت که روش PSO تقریباً بیشترین سرعت همگرایی را دارد. از بین روش‌های فوق، الگوریتم GA در تکرار یازدهم، PSO در تکرار دهم و ICA در تکرار نوزدهم به همگرایی می‌رسد، اگرچه سرعت همگرایی PSO و GA در این مسئله بسیار به هم نزدیک است ولی PSO زودتر به مقدار نهائی خود می‌رسد. البته نیز باید خاطر نشان کرد ملاک اصلی برای مقایسه‌ی هر سه الگوریتم مقادیر Best تابع هدف است. مقادیر Mean نیز مقادیر متوسط کل تابع هدف به ازای تمامی ذرات مختلف در هر الگوریتم است. با مقایسه این مقادیر مشاهده می‌شود الگوریتم PSO با سرعت بیشتری نسبت به دو الگوریتم دیگر به همگرایی می‌رسد. سرعت همگرایی روش‌های مختلف در حالت کل امری نسبی بوده و در حل مسائل مختلف هر کدام از آن‌ها ممکن است



شکل (۷) روند همگرایی الگوریتم PSO



شکل (۸) روند همگرایی الگوریتم ICA



شکل (۹) منحنی‌های بهترین مقادیر تابع برازندگی برای هر سه الگوریتم GA، PSO و ICA

با توجه به اینکه می‌توان از سیستم‌های فتوولتائیک برای تزریق توان راکتیو در کنار توان اکتیو بهره برد مسئله بهینه‌سازی در ۲ حالت مختلف حل می‌شود.

حالت ۱: سیستم فتوولتائیک را فقط به‌عنوان یک منبع تولید توان اکتیو در نظر گرفته و مکان و ظرفیت بهینه آن به دست آورده می‌شود.

حالت ۲: ظرفیت تولید توان راکتیو در کنار توان اکتیو نیز در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به اینکه توان تولیدی یک سیستم فتوولتائیک در طول روز با توجه به دما و میزان تابش تغییر می‌کند، برای هر منطقه میزان تولید (برحسب درصدی از کل پنل‌های

مشاهده می‌شود اگر تنها بر مبنای تولید توان اکتیو مجموعه فتوولتائیک و استفاده از ظرفیت کامل این مجموعه تنها برای تولید توان اکتیو بهینه‌سازی انجام شود ظرفیت PV معادل 100 kW می‌شود که هر سه الگوریتم به طور مشترک این مقدار را به عنوان ظرفیت پیشنهاد می‌دهند، البته اختلاف اندکی در مقدار دقت اعشار ظرفیت-های پیشنهادی مجموعه‌های فتوولتائیک و همچنین اتلاف شبکه در صورت انتخاب آن‌ها وجود دارد که در انتخاب ظرفیت بهینه استاندارد تأثیر نمی‌گذارد. با انتخاب این ظرفیت، تلفات کل $11/2 \text{ kWh}$ می‌شود که نسبت به حالت عدم وجود PV، حدود $4/6 \text{ kWh}$ کاهش نشان می‌دهد که نشان از تأثیر PV روی کاهش تلفات سیستم دارد.

حال اگر همین بهینه‌سازی بر اساس استفاده از ظرفیت PV برای تولید همزمان توان اکتیو و راکتیو استفاده شود، طبق جدول مشاهده می‌شود که هر سه الگوریتم مقدار مشابه 50 kW را به دست می‌دهند. با توجه به این ظرفیت ملاحظه می‌شود تلفات به مقدار $10/2 \text{ kWh}$ کاهش یافته است که نسبت به حالت قبل نیز حدود 1 kWh کاهش بیشتر در تلفات را موجب می‌شود؛ اما نکته قابل توجه در این حالت کاهش قابل ملاحظه در ظرفیت مورد نیاز PV خواهد بود که مشاهده می‌شود ظرفیت آن نسبت به حالتی که تنها توان اکتیو تولید می‌شود تقریباً نصف شده است. مشاهده اختلاف بین مقادیر انتخاب شده توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی نشان می‌دهد که این اختلاف بسیار ناچیز بوده و اصلاً به چشم نمی‌آید.

نسبت به دیگری برتری داشته باشند و یا عین هم رفتار نموده و مزیتی نسبت به هم نداشته باشند و ممکن است در مسائل دیگر برعکس عمل کنند، بنابراین نمی‌توان برتری الگوریتمی را نسبت به دیگری به طور قطع بیان کرد. با اجرای الگوریتم‌ها و تحلیل نتایج مشاهده می‌شود بدون حضور منابع PV، تلفات کل در ۲۴ ساعت، $15/8793 \text{ kWh}$ است و با انتخاب حداکثر مقدار ظرفیت PV به مقدار 185 kW و قرار دادن آن در باس ۲ و تنها تولید توان اکتیو، مقدار تلفات توان $14/005 \text{ kWh}$ خواهد بود که با این حساب در طول ۲۴ ساعت تنها حدود 1 kWh کاهش انرژی رخ می‌دهد. اگر همین مجموعه فتوولتائیک توان راکتیو نیز با توجه به ظرفیت آن تولید کند، مقدار تلفات $14/8789 \text{ kWh}$ خواهد بود که این بار نیز حدود 1 kWh نسبت به حالت عدم وجود PV تلفات را کاهش می‌دهد.

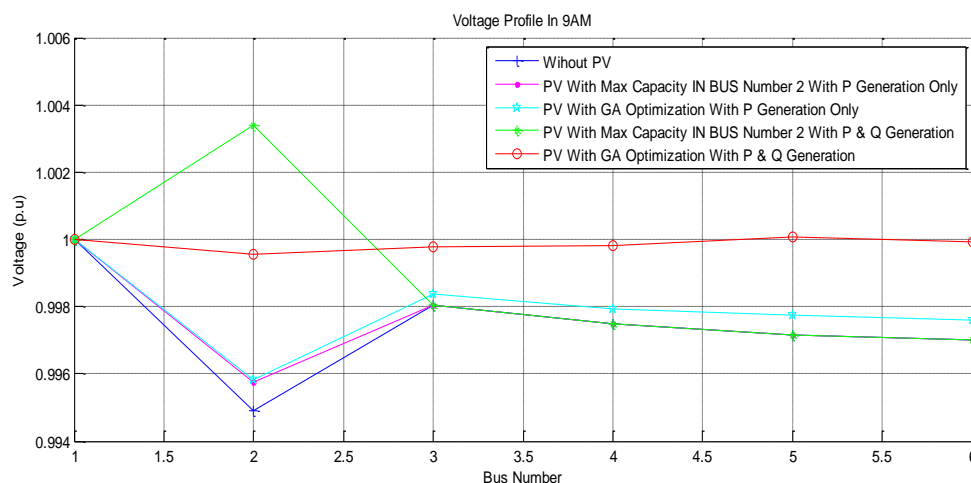
نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها در تعیین مکان و ظرفیت بهینه سیستم فتوولتائیک در شبکه توزیع ۶ باس مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که هر سه الگوریتم در حالت‌های ۱ و ۲، باس شماره ۵ را به عنوان مکان بهینه برای نصب سیستم فتوولتائیک تعیین کرده اند. همچنین مشاهده می‌شود زمانی که علاوه بر قابلیت تولید توان اکتیو سیستم فتوولتائیک، ظرفیت تولید توان راکتیو نیز در نظر گرفته می‌شود هم ظرفیت بهینه مورد نیاز و هم تلفات در ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد.

جدول (۳) مکان نصب و ظرفیت بهینه سیستم فتوولتائیک در حالت های مختلف

حالت دوم (سیستم فتوولتائیک با تولید همزمان توان اکتیو و راکتیو)			حالت اول (سیستم فتوولتائیک با تولید فقط توان اکتیو)			الگوریتم
تلفات (KWh)	اندازه بهینه (KW)	مکان بهینه	تلفات (KWh)	اندازه بهینه (KW)	مکان بهینه	
۱۰/۱۸۵۱	۵۰/۴۵۸۹	باس ۵	۱۱/۱۷۷۹	۱۰۰/۶۷۴	باس ۵	GA
۱۰/۱۸۵	۵۰/۴۴۳۵	باس ۵	۱۱/۲۳	۱۰۰/۶۷۲۴	باس ۵	PSO
۱۰/۱۸۵	۵۰/۴۲۶۹	باس ۵	۱۱/۱۷۷۹	۱۰۰/۶۷۴۴	باس ۵	ICA

زمان شدت تابش خورشید به حداکثر خود نرسیده است، PV هم می تواند توان اکتیو و هم توان راکتیو تولید کند. در واقع در ساعت ۹ صبح میزان تابش خورشید زیاد نبوده و از ظرفیت کامل اینورتر سیستم فتوولتائیک برای تولید تنها توان اکتیو استفاده نمی شود، لذا مزاد ظرفیت اینورتر به تولید توان راکتیو اختصاص می یابد، همان طوری که در شکل (۱۰) مشخص است با در نظر گرفتن قابلیت اینورتر PV برای تولید توان اکتیو و راکتیو، پروفیل ولتاژ سیستم به صورت مؤثرتری بهبود یافته است.

برای نشان دادن تأثیر روش پیشنهادی برای تعیین میزان بهینه بر پروفیل ولتاژ، ۳ زمان مختلف در طول شبانه روز (ساعات ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۲ شب) در نظر گرفته شده است. شکل (۱۰) پروفیل ولتاژ سیستم را در ساعت ۹ صبح برای حالت های بدون نصب PV، با نصب PV با ظرفیت ۱۸۵kW و نیز ظرفیت بهینه با در نظر گرفتن قابلیت تولید توان اکتیو و همچنین با نصب PV با در نظر گرفتن قابلیت تولید توان اکتیو و توان راکتیو نشان می دهد. این زمان به این دلیل انتخاب شده است که در این



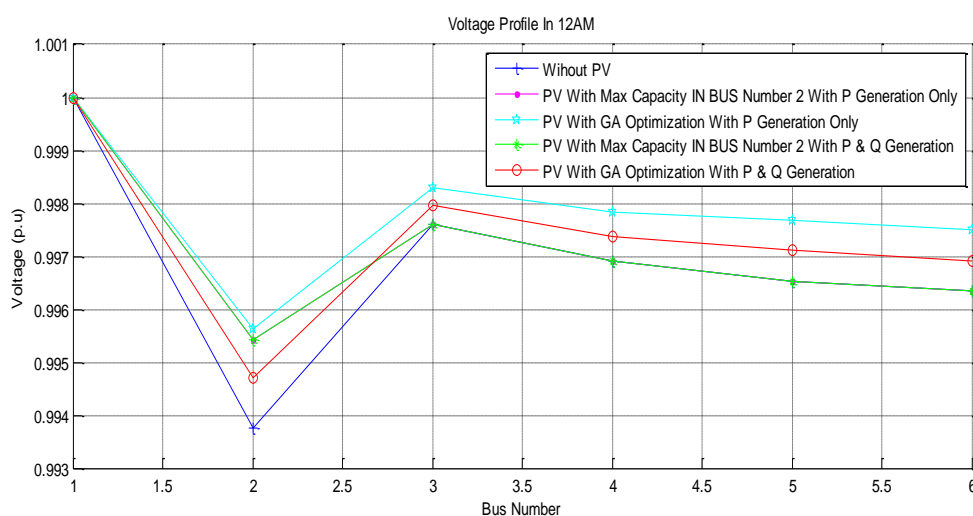
شکل (۱۰) پروفیل ولتاژ در سه حالت مختلف در ساعت ۹ صبح

از همین موضوع نیز در رابطه با انتخاب این ظرفیت و تولید همزمان توان اکتیو و راکتیو در باس دوم مشاهده می شود که البته مشاهده می شود ولتاژ در باس دوم به نسبت بیشتری افزایش یافته است، طوری که حتی بالاتر از مقدار ۱ pu نیز مشاهده می شود، اما همچنان هیچ

از شکل (۱۰) مشاهده می شود انتخاب ظرفیت بالای ۱۸۵kW در حالتی که در باس ۲ نصب شود تأثیر بسیار کمی در بهبود پروفیل ولتاژ می گذارد به طوری که تنها ولتاژ همان باس دوم را به مقدار اندکی بهبود می دهد و هیچ تأثیری در بهبود اندازه ولتاژ در سایر باس ها ندارد.

نقاط انتقال می‌یابد. بهبود پروفیل ولتاژ در ازای انتخاب ظرفیت 50 kW برای PV با قابلیت تولید توان راکتیو بیشتر نیز می‌شود، چرا که در این حالت علاوه بر توان اکتیو توان راکتیو نیز تولید خواهد شد که اثر بیشتری روی پروفیل ولتاژ می‌گذارد، در واقع اثرپذیری مقدار ولتاژ از تأمین توان راکتیو به مراتب بیشتر از تأمین توان اکتیو است. این امر موجب می‌شود که حتی با انتخاب ظرفیت نصف، پروفیل ولتاژ بهتری در باس های شبکه حاصل شود.

شکل (۱۱) پروفیل ولتاژ سیستم را برای ساعت ۱۲ ظهر نشان می‌دهد. این زمان از آن جهت انتخاب گردیده است که در ساعت ۱۲ تابش حداکثر و توان اکتیو تولیدی نیز بیشینه خواهد بود و تمام ظرفیت برای تولید توان اکتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد بنابراین میزان توان راکتیو تولیدی برابر صفر است.



شکل (۱۱) پروفیل ولتاژ در سه حالت مختلف در ساعت ۱۲ ظهر

ولتاژ نسبت به حالت انتخاب تنها بر اساس تولید P از بهبود کمتری برخوردار خواهد بود. نتیجه اینکه منحنی پروفیل ولتاژ با ظرفیت PV معادل 50 kW ، پایین تر قرار می‌گیرد. همچنین با انتخاب ظرفیت بزرگ تر در باس ۵ مشاهده می‌شود ولتاژ این باس نسبت به باس های مجاور بزرگ تر است ولی با انتخاب ظرفیت 50 kW ، مقادیر ولتاژ

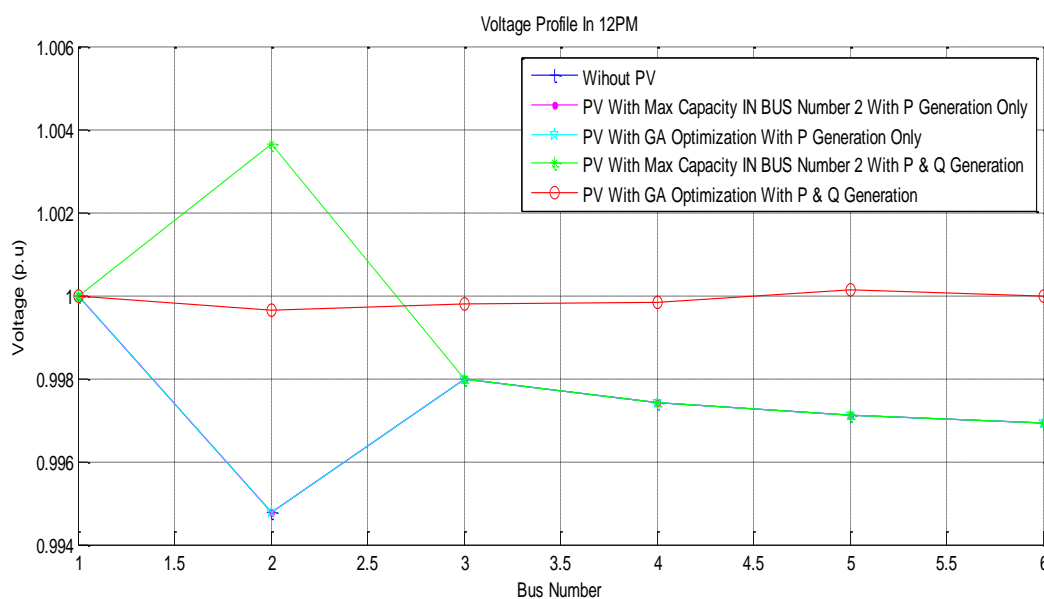
اثر مثبتی بر روی ولتاژ سایر باس ها ندارد، نتیجه اینکه انتخاب باس دوم به عنوان مکان احتمالی قرارگیری مجموعه فتوولتائیک به هیچ عنوان مناسب نیست و تنها هزینه ناشی از به کارگیری مجموعه PV را بدون تأثیر قابل توجه در بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش مؤثر تلفات افزایش می‌دهد؛ اما انتخاب باس ۵ جهت نصب PV علاوه بر کاهش فراوان تلفات، پروفیل ولتاژ را نیز به طور مؤثری بهبود می‌بخشد. از شکل (۱۰) مشاهده می‌شود انتخاب ظرفیت 100 kW سیستم فتوولتائیک و قرارگیری آن در باس ۵ پروفیل ولتاژ را به طور نسبی در تمامی باس ها بهبود می‌بخشد و این میزان با توجه به فاصله گرفتن باس ها از باس اسلک بیشتر مشهود است و مقدار ولتاژ در باس های انتهائی نزدیک به باس ۵ به میزان نسبتاً مناسبی افزایش می‌یابد. این بهبود در باس های دورتر از باس ۵ و نزدیک به باس ۱ کمتر احساس می‌شود، چرا توان کمتری به علت فاصله بیشتر از باس ۵ به بارهای موجود در این

این حالت نیز تفاوت چندانی با شکل (۱۰) نداشته و نتیجه و تحلیل آن ها یکسان است؛ اما بین دو حالت انتخاب ظرفیت 50 kW و 100 kW نیز توان راکتیوی در این ساعت تولید نمی‌شود و در پروفیل ولتاژ نیز نقشی ندارد، اما چون برای حالت انتخاب PV بر مبنای تولید P و Q ظرفیت کمتری انتخاب می‌شود، در نتیجه پروفیل

است. در شکل (۱۰) پروفیل ولتاژ در حالت‌های عدم وجود PV، انتخاب PV با ظرفیت ۱۸۵kW، بهینه‌سازی انتخاب بر اساس تنها تولید P با استفاده از GA یا PSO و یا ICA کاملاً بر هم منطبق است و مجموعه PV عملاً بهبود یافته در شبکه قرار دارد، در مورد دو حالت انتخاب PV بر اساس تولید P و Q با ظرفیت ۱۸۵kW و ظرفیت بهینه ۵۰kW، همچنین ملاحظه می‌شود پروفیل ولتاژ PV بهینه‌شده در این ساعت نیز دارای پروفیل ولتاژ بهتری نسبت به PV با ظرفیت معادل کل بارها (۱۸۵kW) است، اگرچه PV با ظرفیت معادل کل بارها Q بیشتری تولید می‌کند، ولی چون در باس ۲ قرار گرفته، نمی‌تواند همانند PV بهینه‌شده در باس ۵ روی پروفیل ولتاژ تأثیر مثبت بگذارد.

از باس ۳ تا ۶ به صورت پیوسته، نزولی خواهد بود و ولتاژ باس ۵ از باس ۴ کوچک‌تر می‌شود. این اصل در شبکه توزیع شعاعی برقرار است.

در ساعت ۱۲ شب نیز که تابش خورشید وجود ندارد تمامی ظرفیت اینورتر به تولید توان راکتیو اختصاص می‌یابد و چون تابشی وجود ندارد میزان تولید توان اکتیو به صفر می‌رسد. پروفیل ولتاژ باس‌ها در ساعت ۱۲ شب در شکل (۱۲) نشان داده شده است. چون PV در شب تولید توان اکتیو ندارد بنابراین در صورت در نظر نگرفتن توان راکتیو در ساعت ۱۲ شب پروفیل ولتاژ در حالت وجود PV و عدم وجود PV برهم منطبق خواهند شد. همان‌طور که در شکل (۱۰) نیز مشاهده می‌شود در نظر گرفتن توان راکتیو تولیدی PV باعث بهبود پروفیل ولتاژ شده



شکل (۱۲) پروفیل ولتاژ در سه حالت مختلف در ساعت ۱۲ شب

مسائل پیچیده در این زمینه است. در این مقاله، مکان و ظرفیت بهینه واحدهای فتوولتائیک در یک ریزشبه ۶ باس با تابع هدف حداقل کردن تلفات و تغییرات ولتاژ باس‌ها با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و نیز رقابت استعماری با در نظر گرفتن قیود فنی و عملیاتی حاکم بر یک ریزشبه به صورت بهینه تعیین شده است که بطور یقین می‌تواند منجر به عملکرد بهتر شبکه توزیع در پایگاه‌های ساحلی

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات زیست‌محیطی و نیز هزینه استفاده از سوخت‌های فسیلی، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی باد و خورشید در صنعت برق روزبه‌روز در حال افزایش است. این منابع انرژی پراکنده در سطح توزیع به شبکه اضافه می‌شوند. لذا پایگاه‌های دریایی نیز با این منابع می‌توانند در نقش یک ریزشبه عمل کنند ولی تعیین مکان نصب و نیز ظرفیت بهینه این واحدها از

- Security", 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia
- [10] Gerardo Guerra and Juan A. Martinez, 2014. "A Monte Carlo Method for Optimum Placement of Photovoltaic Generation Using a Multicore Computing Environment", PES General Meeting, Conference & Exposition, 2014 IEEE, July, pp.1-5.
- [11] Athira Jayavarma, Tibin Joseph, 2013. "Optimal Placement of Solar PV in Distribution System using Particle Swarm Optimization", International Journal of Advanced Research in Electrical, Vol. 2, Special Issue 1, pp.329-337.
- [12] Rene Prenc, Davor Škrlec, Vitomir Komen, 2013. "Optimal PV System Placement in a Distribution Network on the Basis of Daily Power Consumption and Production Fluctuation", EuroCon 2013 Zagreb, Croatia, pp.777-783.

اندیس‌ها

N_g تعداد کل واحدهای حرارتی

N_{bus} تعداد باس‌ها

پارامترها

S_1^{max} ماکزیمم توان قابل انتقال توسط خط l

Y_{ij} اندازه‌ی المان سطر i ام و ستون j ام ماتریس ادمیتانس

G_{ij} رسانایی خط بین باس i و باس j

P_i^D دیماندر توان اکتیو در باس i

Q_i^D دیماندر توان راکتیو در باس i

$P_i^{G,min}$ حداقل توان اکتیو تولیدی ژنراتور در باس i

$P_i^{G,max}$ حداکثر توان اکتیو تولیدی ژنراتور در باس i

$Q_i^{G,min}$ حداقل توان راکتیو تولیدی ژنراتور در باس i

$Q_i^{G,max}$ حداکثر توان راکتیو تولیدی در باس i

V_i^{min} حداقل ولتاژ مجاز در باس i

V_i^{max} حداکثر ولتاژ مجاز در باس i

متغیرها

نداجا شود. با توجه به نتایج شبیه سازی مشخص شد هر سه الگوریتم جواب‌های مشابهی را برای پاسخ مسئله بهینه‌سازی به دست آورده‌اند.

منابع

- [1] V. H. Mendez, J. Rivier, and T. Gomez, "Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 2, pp. 533-540, May 2006.
- [2] C. Wang and M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 4, pp. 2068-2076, Nov. 2004.
- [3] V. H. M. Quezada, J. R. Abbad, and T. G. S. Roman, "Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 2, pp. 533-540, May 2006.
- [4] M.H. Moradi, M. Abedini "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems" ELSEVIER. Electrical Power and Energy Systems 34 (2012)
- [5] M.M. Aman, G.B. Jasmon, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar, "Optimal placement and sizing of a DG based on a new power stability index and line losses" ELSEVIER. Electrical Power and Energy Systems 43 (2012)
- [6] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 360-370, Feb. 2010.
- [7] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 25, no. 3, pp. 814-820, Sep. 2010
- [۸] حسین دهقان دهنوی. سعید اسماعیلی. مسعود رشیدی "جایابی و تعیین سائز منابع تولید پراکنده و انجام بازآرایی بهینه در سیستم های توزیع شعاعی جهت بهبود شرایط عملکردی شبکه با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی "بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق
- [9] P. Alemi and G.B. Gharehpetian, "DG Allocation Using an Analytical Method to Minimize Losses and to Improve Voltage

V_i اندازه ولتاژ در باس i ام

δ_i دامنه‌ی ولتاژ در باس i ام

θ_{ij} زاویه‌ی المان سطر i ام و ستون j ام ماتریس ادمیتانس

P_i^{loss} تلفات توان حقیقی خط i

P_{ij} توان عبوری خط بین باس i و باس j