Archive of SID

بررسی راهکارهای حل مسئله بازآرایی بهینه شبکه توزیع

آتنا طاهری نژاد [*۱]، محمد ناصر مقدسی[۲]،مسعود امیدوار[۳]

۱- گروه مهندسی برق،دانشکده فنی مهندسی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان،زاهدان،ایران

۲- گروه مهندسی برق،دانشکده فنی مهندسی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،تهران،ایران

۳- آموزشکده فنی و حرفه ای سما،دانشگاه آزاد اسلامی،واحد زاهدان، زاهدان،ایران

خلاصه

با توجه به رشد مراکز صنعتی و بارهای شبکه‌های توزیع، مسئله‌ای که همواره ذهن برنامه‌ریزان و مدیران شبکه را به خود مشغول می‌کند، نیاز روزافزون برای بهبود عملکرد شبکه می‌باشد. رشد بارهای الکتریکی عواقبی همچون افزایش تلفات سیستم و افت ولتاژهای ناخواسته‌ای را به دنبال دارد که این امر هزینه‌های زیادی را متحمل شرکت‌های توزیع انرژی الکتریکی می‌کند. بازآرایی بهینه شبکه توزیع و تولیدات پراکنده، وسیله‌ای هستند که به‌وسیله آن‌ها می‌توان با صرف کمترین هزینه ممکن، تا حدی به اهداف مذکور رسید. با توجه به پیچیدگی و غیرخطی بودن این مسئله، روش‌های گوناگونی بر پایه الگوریتم‌های هوشمند ارایه شده است. در این مقاله انواع الگوریتم‌های بازآرایی شبکه توزیع را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم. ار نتایج مهم این تحقیق برتری الگوریتم ABC نسبت به سایر الگوریتم‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع، بازآرایی،الگوریتم های هوشمند، ولتاژ، الگوریتم ژنتیک،الگوریتم اجتماع ذرات، الگوریتم ABC

۱. مقدمه

با توجه به رشد و گسترش شهرها و ثابت بودن شبکه توزیع، مسئله مهمی که برای شرکت‌های توزیع انرژی الکتریکی مطرح است، رضایت مشتریان از بابت کیفیت توان دریافتی می‌باشد. واضح است که با گسترش مراکز بار، مقدار توان عبوری از خطوط شبکه افزایش می‌یابد که باعث مشکلاتی از قبیل افت ولتاژ و افزایش تلفات می‌گردد. افت ولتاژ از این لحاظ لازم است که موردتوجه و بررسی قرار گیرد که باعث آسیب رساندن به بسیاری از تجهیزات و لوازم مصرفی انرژی الکتریکی می‌گردد. مقدار تلفات شبکه نیز درصورتی‌که از حد معمول خود بیشتر گردد باعث آسیب‌هایی از قبیل اتصال کوتاه‌های ناخواسته به علت گرم شدن خطوط، افزایش نرخ خرابی ترانسفورماتورهای قدرت، ایجاد نامتعادلی در بارهای الکتریکی می-

[*] **Corresponding author:** گروه مهندسی برق،دانشکده فنی مهندسی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان
Email: atena_taheri۶۹@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

گردد. لذا لازم است که مدیران شبکه برای جلوگیری از مشکلات حاصله راه‌حل‌های لازم را مدنظر داشته باشند که با اجرای آن‌ها مشکلات مرتفع گردد. یکی از راه‌حل‌های جلوگیری از مشکلات مذکور، انجام بازآرایی شبکه توزیع می‌باشد. بازآرایی شبکه توزیع بدین‌صورت انجام می‌گیرد که در مکان‌هایی از شبکه کلیدهایی به‌عنوان در حالت عادی باز در نظر گرفته می‌شود که در صورت نیاز یکی از کلیدهای شبکه قطع گردد و از آن به‌عنوان مسیر جریان استفاده شود. بازآرایی شبکه توزیع درصورتی‌که به‌صورت بهینه انجام گردد، می‌تواند نتایج بسیار خوبی از قبیل بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات را داشته باشد. در غیر این صورت شرایط را بدتر می‌کند. انجام بازآرایی شبکه توزیع، باعث تغییر مسیر جریان می‌گردد. لذا می‌توان بازآرایی را به‌گونه‌ای انجام داد که خطوط دارای تراکم زیاد، تراکم زدایی شوند. در این مقاله به بررسی انواع راهکارهای بازآرایی شبکه های توزیع پرداخته و آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای مساله بازآرایی شبکه

برای مساله بازآرایی شبکه‌های توزیع الگوریتم‌های مختلفی بیان شده است که در قسمت زیر به بررسی چند الگوریتم هوشمند مهم می‌پردازیم:

۲-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی برمبنای رگرسیون هستند. همان‌طور ساده، خطی و پارامتریک گفته می‌شود، به الگوریتم‌های ژنتیک می‌توان غیرپارامتریک گفت. مختصراً گفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک (یاGA) یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود ورودی است و راه‌حل‌ها طبق یک الگو کدگذاری می‌شود و متریک که تابع fitness هم نام دارد هر راه‌حل کاندید را ارزیابی می‌کند که اکثر آن‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.

۲-۱-۱- تشریح الگوریتم ژنتیک

قانون انتخاب طبیعی بدین‌صورت است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت ادامه نسل می‌دهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و آن‌هایی که این خصوصیات را نداشته باشند به‌تدریج و در طی زمان از بین می‌روند. بدین ترتیب می‌توان دید که طبیعت با بهره‌گیری از یک روش بسیار ساده(حذف تدریجی گونه‌های نامناسب و درعین‌حال تکثیر بالاتر گونه‌های بهینه) توانسته است دائما هر نسل را ازلحاظ خصوصیات مختلف ارتقا بخشد.

البته آنچه در بالا ذکر شد به‌تنهایی توصیف‌کننده آنچه واقعاً در قالب تکامل در طبیعت اتفاق می‌افتد نیست. بهینه‌سازی و تکامل تدریجی به‌خودی‌خود نمی‌تواند طبیعت را در دسترسی به بهترین نمونه‌ها یاری دهد.

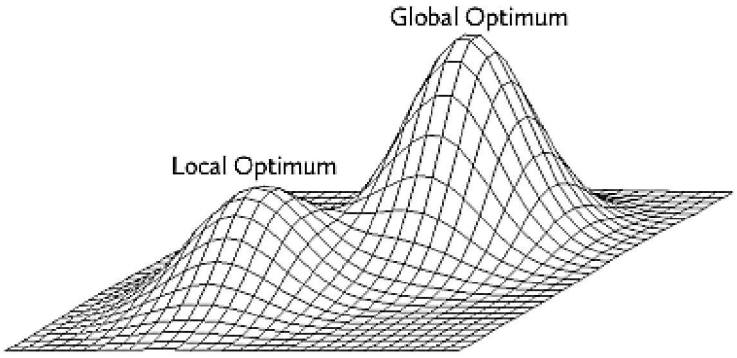
روش‌های کلاسیک ریاضیات دارای دو اشکال اساسی هستند. اغلب این روش‌ها نقطه بهینه محلی(Local Optima) را به‌عنوان نقطه بهینه کلی در نظر می‌گیرند و نیز هر یک از این روش‌ها تنها برای مسئله خاصی کاربرد دارند. این دو نکته را با مثال‌های ساده‌ای روشن می‌کنیم.

به شکل۱ توجه کنید. این منحنی دارای دونقطه ماکزیمم می‌باشد. که یکی از آنها تنها ماکزیمم محلی است. حال اگر از روش‌های بهینه‌سازی ریاضی استفاده کنیم مجبوریم تا در یک بازه بسیار کوچک مقدار ماکزیمم تابع را بیابیم. مثلاً اگراز پایین ترین نقطه شروع کنیم و تابع را ماکزیمم کنیم. بدیهی است اگر از پایین ترین نقطه شروع کنیم تنها به مقدار ماکزیمم محلی دست خواهیم یافت و الگوریتم ما پس‌ازآن متوقف خواهد شد. اما در روش‌های هوشمند خاصه الگوریتم ژنتیک بدلیل خصلت تصادفی آنها حتی اگر هم از پایین ترین نقطه شروع کنیم باز ممکن است در میان راه بالاترین نقطه

www.SID.ir

Archive of SID

به‌صورت تصادفی انتخاب شود که در این صورت ما شانس دست‌یابی به نقطه بهینه کلی (Global Optima) را خواهیم داشت.



شکل۱: تابع هدف بهینه سازی

در مورد نکته دوم باید بگوییم که روش‌های ریاضی بهینه‌سازی اغلب منجر به یک فرمول یا دستورالعمل خاص برای حل هر مسئله می‌شوند. درحالی‌که روش‌های هوشمند دستورالعمل‌هایی هستند که به‌صورت کلی می‌توانند در حل هر مسئله‌ای به کار گرفته شوند. این نکته را پس از آشنایی با خود الگوریتم بیشتر و بهتر خواهید دید.

الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند.الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. همان‌طور ساده،خطی وپارامتریک گفته می‌شود،به الگوریتم‌های ژنتیک می‌توان غیر پارامتریک گفت.

با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک ما یک ابر فرمول یا طرح تنظیم می‌کنیم که چیزی شبیه"قیمت نفت در زمان t تابعی از حداکثر ۴ متغیر است"را بیان می‌کند. سپس داده‌هایی برای گروهی از متغیرهای مختلف،شاید در حدود ۲۰ متغیر فراهم خواهیم کرد.سپس الگوریتم ژنتیک اجرا خواهد شد که بهترین تابع و متغیرها را مورد جستجو قرار می‌دهد.روش کار الگوریتم ژنتیک به‌طور فریبنده‌ای ساده،خیلی قابل‌درک وبه طور قابل‌ملاحظه‌ای روشی است که ما معتقدیم حیوانات آن‌گونه تکامل‌یافته‌اند.هر فرمولی که از طرح داده‌شده بالا تبعیت کند فردی از جمعیت فرمول‌های ممکن تلقی می‌شود خیلی شبیه به این‌که بگوییم جرج بوش فردی از جمعیت انسان‌های ممکن است.

متغیرهایی که هر فرمول داده‌شده را مشخص می‌کنند به‌عنوان یکسری از اعداد نشان داده‌شده‌اند که معادل DNA آن فرد را تشکیل می‌دهند. موتور الگوریتم ژنتیک یک جمعیت آغاز از فرمول ایجاد می‌کند. هر فرد در برابر مجموعه‌ای از داده‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرند و مناسب‌ترین آنها شاید ۱۰ درصد از مناسب‌ترین‌ها باقی می‌مانند. بقیه کنار گذاشته می‌شوند. مناسب‌ترین افراد باهم جفت‌گیری (جابجایی عناصر DNA) و تغییر (تغییر تصادفی عناصر DNA) کرده‌اند. مشاهده می‌شود که باگذشت از میان تعداد زیادی از نسل‌ها، الگوریتم ژنتیک به سمت ایجاد فرمول‌هایی که بیشتر دقیق هستند، میل می‌کنند. فناوری الگوریتم‌های ژنتیک همواره در حال بهبود است برای مثال با مطرح کردن معادله ویروس‌ها که در کنار فرمول‌ها و برای نقض کردن فرمول‌های ضعیف تولید می‌شوند و درنتیجه جمعیت را کلاً قویتر می‌سازند.

الگوریتم ژنتیک GA یک تکنیک جستجو در علم کامپیوتر برای یافتن راه‌حل بهینه و مسائل جستجو است. الگوریتم‌های ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی‌اند که از علم زیست‌شناسی مثل وراثت، جهش، انتخاب ناگهانی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام گرفته‌شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

عموماً راه‌حل‌ها به‌صورت ۲ تایی ۰ و ۱ نشان داده می‌شوند ولی روش‌های نمایش دیگری هم وجود دارد. تکامل از یک مجموعه کاملاً تصادفی از موجودیت‌ها شروع می‌شود و در نسل‌های بعدی تکرار می‌شود. در هر نسل، مناسب‌ترین‌ها انتخاب می‌شوند نه بهترین‌ها.

یک‌راه حل برای مسئله موردنظر، با یک لیست از پارامترها نشان داده می‌شود که به آنها کروموزوم یا ژنوم می‌گویند.کروموزوم‌ها عموماً به‌صورت یک‌رشته ساده از داده‌ها نمایش داده می‌شوند،البته انواع ساختمان داده‌های دیگر هم می‌توانند مورداستفاده قرار گیرند.در ابتدا چندین مشخصه به‌صورت تصادفی برای ایجاد نسل اول تولید می‌شوند. در طول هر نسل ،هر مشخصه ارزیابی می‌شود وارزش تناسب(fitness) توسط تابع تناسب اندازه‌گیری می‌شود.

گام بعدی ایجاد دومین نسل از جامعه است که بر پایه فرآیندهای انتخاب، تولید از روی مشخصه‌های انتخاب‌شده با عملگرهای ژنتیکی است: اتصال کروموزوم‌ها به سر یکدیگر و تغییر.

معمولاً الگوریتم‌های ژنتیک یک عدد احتمال اتصال دارد که بین ۰/۶ و ۱ است که احتمال به وجود آمدن فرزند را نشان می‌دهد. ارگانیسم‌ها با این احتمال دوباره باهم ترکیب می‌شوند. اتصال ۲ کروموزوم فرزند ایجاد می‌کند، که به نسل بعدی اضافه می‌شوند. این کارها انجام می‌شوند تا این‌که کاندیدهای مناسبی برای جواب، در نسل بعدی پیدا شوند. مرحله بعدی تغییر دادن فرزندان جدید است. الگوریتم‌های ژنتیک یک احتمال تغییر کوچک و ثابت دارند که معمولاً درجه‌ای در حدود ۰/۰۱ یا کمتر دارد. بر اساس این احتمال، کروموزوم‌های فرزند به‌طور تصادفی تغییر می‌کنند یا جهش می‌یابند. مخصوصاً با جهش بیت‌ها در کروموزوم.

این فرآیند باعث به وجود آمدن نسل جدیدی از کروموزوم‌هایی می‌شود که با نسل قبلی متفاوت است. کل فرآیند برای نسل بعدی هم تکرار می‌شود، جفت‌ها برای ترکیب انتخاب می‌شوند، جمعیت نسل سوم به وجود می‌آیند و ... . این فرآیند تکرار می‌شود تا این که به آخرین مرحله برسیم.

شرایط خاتمه الگوریتم‌های ژنتیک عبارتند از:

- به تعداد ثابتی از نسل‌ها برسیم .
- بودجه اختصاص داده‌شده تمام شود(زمان محاسبه/پول).
- یک فرد(فرزند تولیدشده) پیدا شود که مینیمم (کمترین)ملاک را برآورده کند.
- بیشترین درجه برازش فرزندان حاصل شود یا دیگر نتایج بهتری حاصل نشود.
- بازرسی دستی.
- ترکیب‌های بالا.

۲-۱-۲- بازآرایی شبکه توزیع با الگوریتم ژنتیک

در مقالات [۱-۲] بازآرایی شبکه توزیع با روش الگوریتم ژنتیک بررسی‌شده است که در ادامه به بررسی هرکدام از آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۱-۲-۱- بازآرایی شبکه توزیع با الگوریتم ژنتیک در حضور بار متغیر

در این مقاله بازآرایی شبکه توزیع با در نظر گرفتن بار به‌صورت متغیر انجام‌شده است. بدین ترتیب که برای بار سناریوهای مختلفی در نظر گرفته می‌شود و برای هر سناریو بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. نهایتاً در بین سناریوهای درنظرگرفته شده یکی از بازآرایی‌ها به‌عنوان بهترین بازآرایی انتخاب می‌گردد[۱].

هدف از بازآرایی در این مقاله، کاهش تلفات می‌باشد که در تابع هدف آن چندین سناریوی بار با همدیگر ترکیب می‌شوند و بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. تابع هدف به‌صورت رابطه ۱ است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\min \sum_{t\in T}\sum_{n\in N}\sum_{a\in A_n} \Delta_t r_a (P_{ta}^2 + Q_{ta}^2) \qquad (۱)$$

که قیود آن به‌صورت زیر است:

$$Q_{tn-a} = \sum_{a\in A_n} Q_{ta} + Q_{tLn}(P_{ta}, Q_{ta}) \in \Omega_{PQ}$$
$$P_{tn-a} = \sum_{t\subset T} Q_{ta} + Q_{tLn} \qquad (۲)$$
$$t = 1,2,\dots,T$$
$$s\epsilon\{0,1\}$$
$$G' = (N,A') \ \ is\ a\ tree$$

که در این روابط، s وضعیت کلیدها است، t دوره‌های زمانی است، n تعداد شین‌ها و P_{ta} و Q_{ta} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط هستند و P_{tLn} و Q_{tLn} توان مصرفی بارهای شبکه هستند و G' نیز قید شعاعی بودن شبکه می‌باشد.

شبیه‌سازی، بر روی چند شبکه بصورتی که در جدول ۱ آمده‌است انجام‌شده است. در جدول ۱ شماره شبکه، تعداد شین‌ها و شاخه‌ها، تعداد کلیدها و مقدار بار آورده شده است.

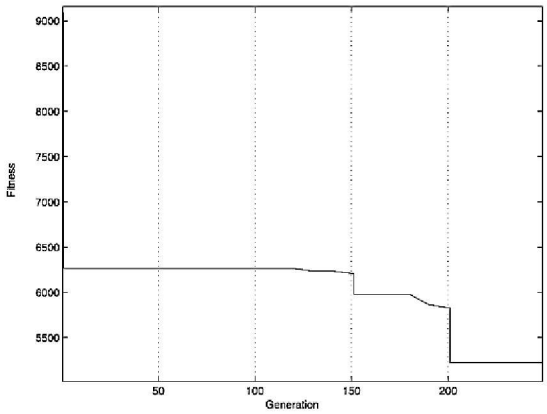
جدول۱: مشخصات شبکه‌های تست [۳]

شبکه نمونه	تعداد گره‌ها	تعداد شاخه‌ها	تعداد سوئیچ‌ها	بار شبکه (MWh)
۱	۳۳	۳۷	۳۷	۶۰
۲	۴۲۳	۴۳۵	۸۰	۱۷۲
۳	۶۴۶	۶۵۵	۱۳۶	۱۹۲۲
۴	۱۵۲۸	۱۵۵۸	۲۴۵	۳۲۶
۵	۱۵۹۷	۱۶۴۹	۳۰۰	۵۰۵
۶	۲۲۷۴	۲۳۱۶	۳۹۸	۹۹۶

شکل ۲ روند همگرایی تابع هدف برای شبکه تست اول (شبکه۳۳ شینه) را به‌صورت زیر نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱: روند همگرایی تابع هدف برای شبکه تست ۳۳ شینه [۳]

در جدول زیر سه نوع مختلف الگوریتم ژنتیک برای محاسبه تابع هدف آورده شده است. در این جدول، '%' نمایانگر مقدار اختلاف جمعیت‌ها با مقدار نهایی است و 't' نشان‌دهنده زمان همگرایی می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، الگوریتم AHGA (الگوریتم ژنتیک ترکیبی تطبیقی*) نسبت به دو الگوریتم SGA (الگوریتم ژنتیک ساده) و HGA (الگوریتم ژنتیک ترکیبی) شرایط بهتری را دارد.

جدول۲: مقایسه الگوریتم‌های SGA، HGA و AHGA برای محاسبه تابع هدف [۳]

شبکه نمونه	SGA		HGA		AHGA	
	%	زمان t	%	زمان t	%	زمان t
۱	۰/۵۱	۰۰:۰۰	۰/۹	۰۰:۰۰	۰/۳۵	۰۰:۰۰
۲	۴/۱۰	۰۰:۱۷	۱/۰۱	۰۰:۱۸	۰/۴۱	۰۰:۱۹
۳	۶/۹۱	۰۰:۴۴	۱/۶۱	۰۰:۴۴	۰/۷۸	۰۰:۵۳
۴	۶/۸۶	۰۴:۵۷	۷/۶۱	۰۴:۵۷	۶/۲۴	۰۶:۰۶
۵	۲۰/۳۰	۰۴:۴۵	۱۱/۲۴	۰۴:۴۵	۷/۲۸	۰۵:۰۷
۶	۴/۰۳	۰۹:۵۸	۴/۵۵	۰۹:۵۸	۴/۴۳	۱۱:۵۶
میانگین	۷/۱۲	۰۳:۲۷	۴/۴۹	۰۳:۳۰	۳/۲۵	۰۴:۰۳
واریانس	۶/۸۷	---	۴/۲۱	---	۳/۱۳	---

۲-۲- بررسی بازآرایی و مکان‌یابی خازن در حضور انواع مختلف منابع تولید پراکنده

مطالعات زیادی درزمینه بازآرایی شبکه‌های توزیع، مکان‌یابی خازن و مکان‌یابی تولید پراکنده با اهداف گوناگون ازجمله کاهش تلفات به‌صورت جداگانه صورت گرفته است. اگر در مطالعات اثر سه مورد بر یکدیگر در نظر گرفته نشود، بهره برداری شبکه در حالت بهینه نخواهد بود. در مقاله [۲] روشی برای یافتن مکان بهینه و اندازه DG و خازن‌ها و آرایش شبکه به‌گونه‌ای که بهره‌برداری شبکه بهینه باشد، انجام‌شده است.

تابع هدف به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

* Adaptive Hybrid Genetic Algorithm
† Simple Genetic Algorithm
‡ Hybrid Genetic Algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

$$\min F = F_{loss} + F_{capacity} + F_{cost.cap} = K_E T P_{loss} + K_A P_{loss} + \sum_{i \in SC} {K_{cfp} C_{fl}}/{lifetime} \quad (۳)$$

که:

P_{loss}: کل تلفات انرژی

K_A: میزان هزینه به ازای هر مگاوات انرژی

K_E: هزینه هر مگاوات ساعت انرژی

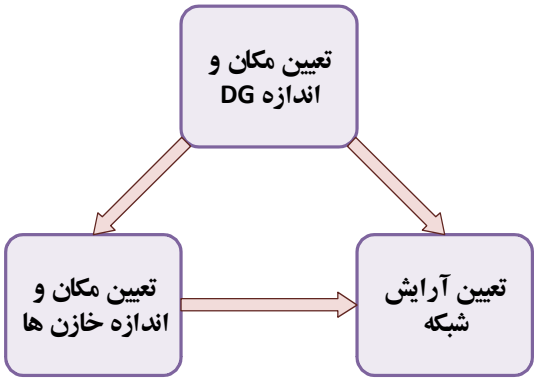
SC: مجموعه باس‌ها با قابلیت نصب خازن

K_{cfp}: هزینه هر واحد خازن ثابت

LifeTime: میزان عمر مفید خازن‌ها به ساعت

قیود مسئله نیز، حد امنیت ولتاژ شین‌ها (یعنی از حد تعیین‌شده کمتر یا بیشتر نشود) و حد جریان عبوری از خطوط و قید شعاعی ماندن شبکه می‌باشد.

روش بهینه‌سازی در مقاله [۲] مشابه مقاله [۴] به‌صورت مرحله‌ای می‌باشد. بدین‌صورت که ابتدا DG مکان‌یابی می‌شود، سپس خازن‌گذاری انجام می‌شود و درنهایت بازآرایی انجام می‌گیرد. این روند تا زمان رسیدن به جواب بهینه ادامه می‌یابد. شکل ۳این امر را بخوبی نشان می‌دهد:



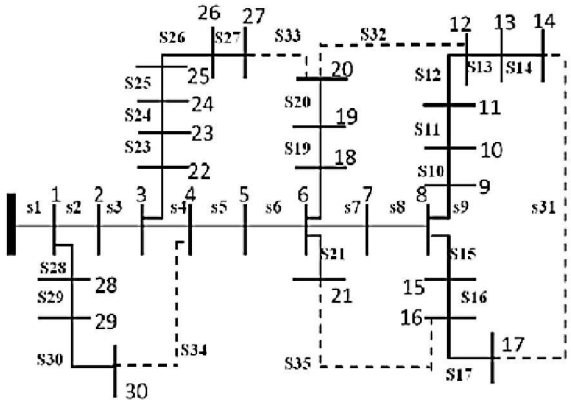
شکل۲ روش بهینه‌سازی در مقاله [۵]

شبیه‌سازی بر روی شبکه تست ۳۰ شینه انجام‌شده است. شکل ۴ دیاگرام تک‌خطی این شبکه را نشان می‌دهد.

جدول ۳ اثر منابع تولید پراکنده را بر بازآرایی DGها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با وجود مقادیر مختلف DG نحوه باز و بسته‌شدن کلیدهای شبکه تغییر می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴: دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۰ شینه [۲]

جدول۳: اثر منابع تولید پراکنده بر بازآرایی شبکه توزیع

بازآرایی در حضور DG		سوئیچ‌های بازشده پس از بازآرایی	تلفات پایه	تلفات قبل از بازآرایی	تلفات بعد از بازآرایی	مقدار کاهش تلفات
بدون DG		۱۲-۱۴-۱۶-۲۰-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۱۰۶۷/۶۹	۹۱۶/۷	۱۵۱
PV	۱۰۰۰	۸-۹-۱۱-۱۷-۲۰-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۷۰۳/۶۳	۶۸۸/۲	۱۵
	۲۰۰۰	۸-۹-۱۱-۱۷-۲۰-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۵۴۳/۳۰	۵۲۹/۸	۱۴
PQ	۱۰۰۰	۷-۱۲-۱۳-۲۰-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۸۴۹/۸	۷۴۶/۱	۱۰۳
	۲۰۰۰	۷-۱۲-۱۳-۲۰-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۷۳۶/۳	۶۴۶/۲	۹۰
P	۱۰۰۰	۱۲-۱۶-۲۰-۳۱-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۶۹۹/۲	۶۵۴/۶	۴۵
	۲۰۰۰	۱۲-۱۶-۲۰-۳۱-۳۴	۱۰۶۷/۶۹	۶۱۸/۹	۵۷۵/۷	۴۳

۲-۳- بازآرایی شبکه توزیع با الگوریتم اجتماع ذرات

در مقالات [۶-۹] بازآرایی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات بررسی‌شده است. در این بخش به بررسی مقالات [۷] و [۸] می‌پردازیم.

در مقاله [۸] بهینه‌سازی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم PSO انجام‌شده است. در این مقاله هدف از بازآرایی، کاهش تلفات شبکه توزیع می‌باشد. برای این کار، همه کلیدهای شبکه توزیع را به‌صورت بسته در نظر گفته‌است و سپس شروع به بازکردن کلیدها می‌نماید. تا زمانی به باز کردن کلیدها ادامه می‌دهد که شبکه حالت شعاعی خود را حفظ کرده باشد و هیچ شینی بی‌برق نماند.

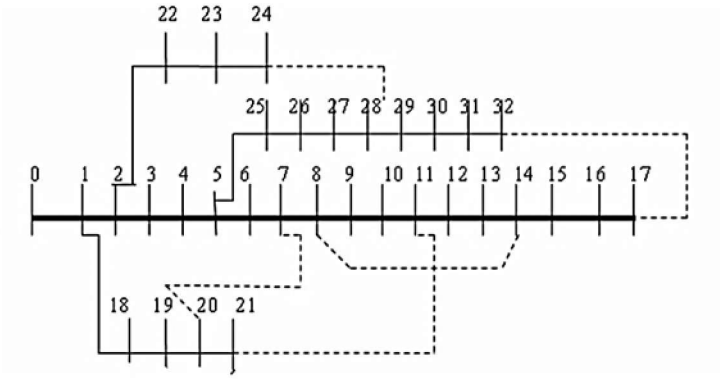
تابع هدف در نظر گرفته‌شده در [۸] به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\min Z - \sum_{i=1}^{L} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \qquad (۴)$$

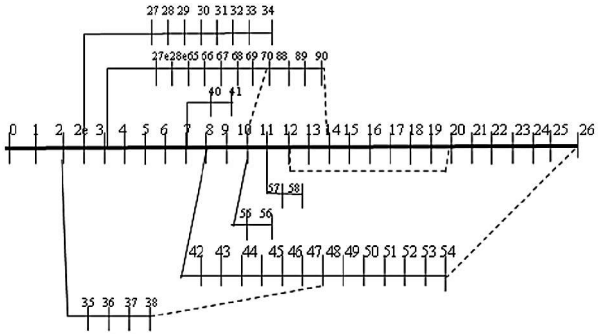
www.SID.ir

Archive of SID

که P_i ، Q_i و r_i به ترتیب توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط شماره i و مقاومت اهمی آن می‌باشند و V_i ولتاژ باس ابتدایی متصل به خط شماره i است. شبکه تست در نظر گرفته‌شده، شبکه تست ۳۳ شینه و فیدر۶۹ شینه IEEE است که شمایل آن در شکل۵ و شکل۶ آمده‌است:



شکل۵: فیدر ۳۳ شینه استاندارد IEEE



شکل۳: فیدر ۶۹ شینه IEEE

۲-۳-۱-روش بررسی شعاعی بودن شبکه توزیع

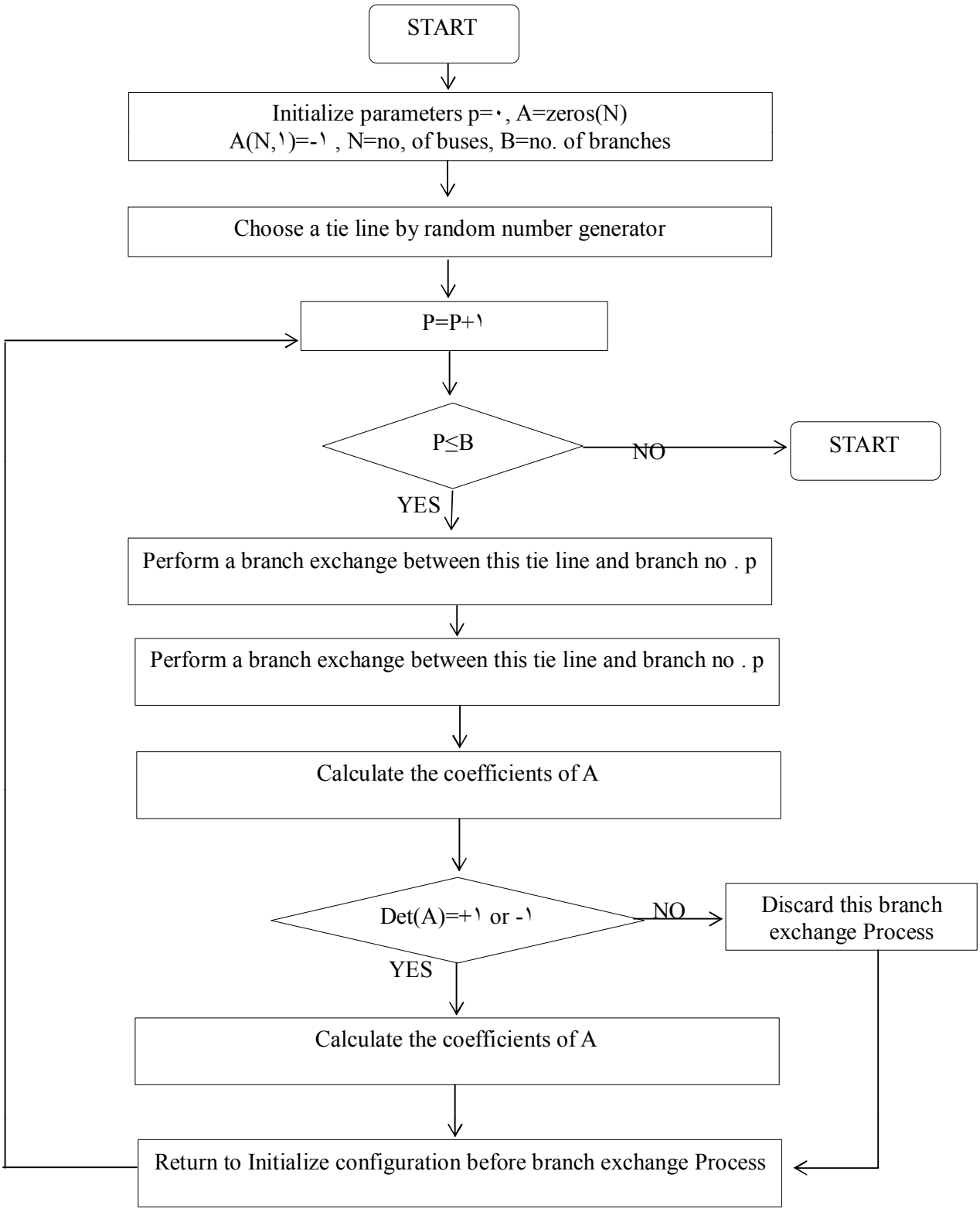
برای بررسی شعاعی بودن شبکه توزیع در مقاله [۸] از روش‌های مبتنی بر تئوری گراف استفاده‌شده است. بدین‌صورت که ابتدا ماتریس A' که سطرهای آن نشان‌دهنده خطوط شبکه و ستون‌های آن نشان‌دهنده شین‌های آن می‌باشد را به‌صورت زیر تشکیل می‌دهد:

۱. درصورتی‌که خط i به شین j متصل نباشد، درایه a_{ij} برابر صفر می‌باشد.
۲. درصورتی‌که خط i از شین j خارج شود، درایه a_{ij} برابر ۱+ می‌باشد.
۳. درصورتی‌که خط i به شین j وارد شود، درایه a_{ij} برابر ۱- می‌باشد.

نهایتاً ستون اول ماتریس A' حذف می‌شود که ماتریس مربعی A حاصل شود. در این حالت اگر دترمینان ماتریس A برابر ۱+ یا ۱- باشد، شبکه شعاعی است و درصورتی‌که دترمینان ماتریس مذکور برابر صفر باشد، شبکه شعاعی نیست و ساختار درختی ندارد. فلوچارت مطالب مذکور در شکل ۳-۷ آمده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

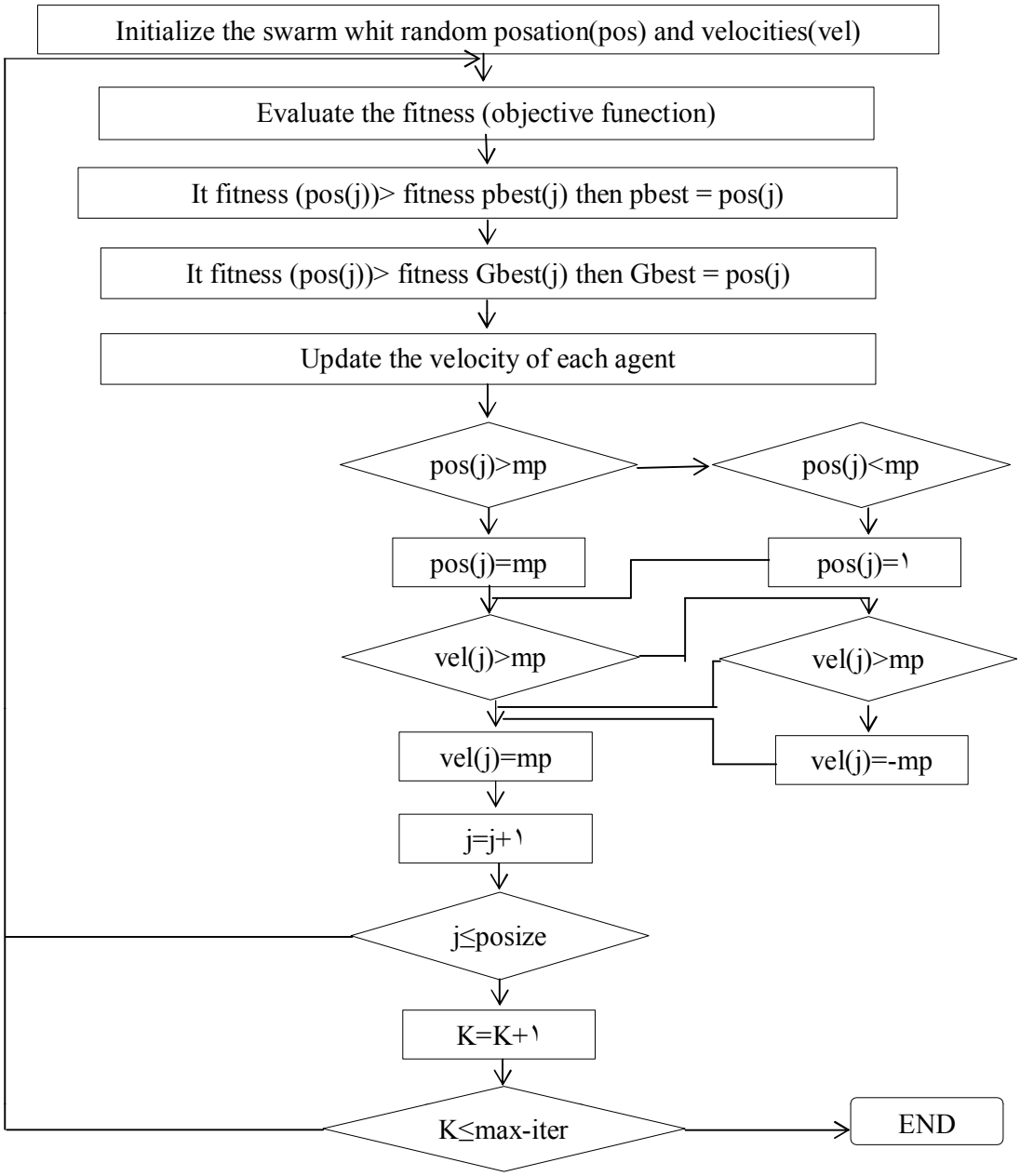


شکل۴: فلوچارت تشخیص شعاعی بودن شبکه توزیع

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۸ فلوچارت بازآرایی شبکه توزیع را نشان می‌دهد. که از آن می‌توان برای توابع هدف مختلف استفاده کرد. در هر مرحله مقدار تابع هدف به ازای هر ذره (متغیر) بهینه‌سازی مربوطه محاسبه می‌گردد و با P_{best} مقایسه می‌شود. درصورتی‌که از آن کمتر بود، با آن جایگزین می‌شود و در غیر این صورت P_{best} به همان صورت قبلی باقی می‌ماند. درنهایت، P_{best} های به‌دست‌آمده با G_{best} مقایسه می‌شود. درصورتی‌که از آن کمتر باشد، با آن جایگزین می‌شود. این روند تا زمانی که تعداد تکرارها به مقدار تعیین‌شده برسد و یا اختلاف بین دو تکرار متوالی از حد مشخصی کمتر باشد، ادامه می‌یابد.



شکل۵: فلوچارت بازآرایی شبکه توزیع بوسیله الگوریتم PSO

www.SID.ir

Archive of SID

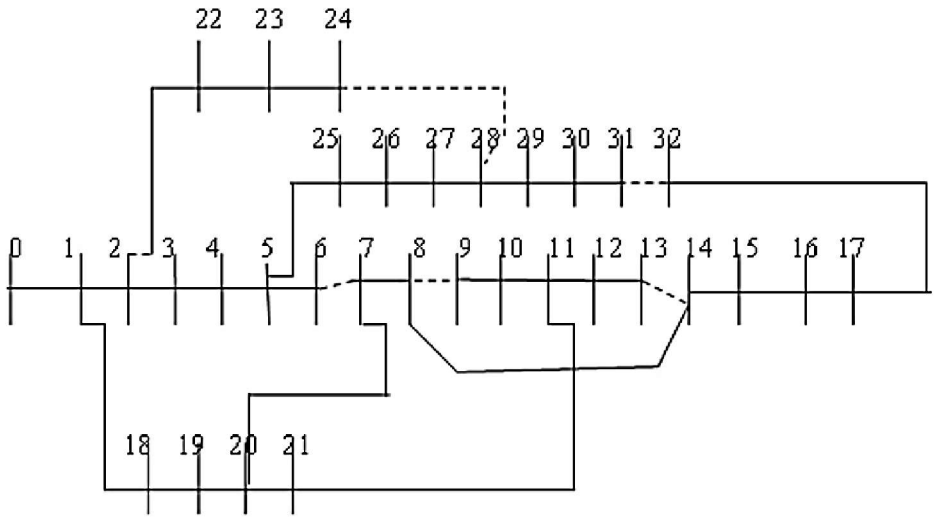
جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی را برای شبکه‌های ۳۳ و ۶۹ شینه‌نشان می‌دهند و شکل‌های ۹ و ۱۰، شبکه را پس از بازآرایی نشان می‌دهند.

جدول۳: مقدار تابع هدف برای شبکه ۳۳ شینه

بهترین مقدار تابع هدف	میانگین تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۱۳۹/۵ کیلووات	۱۴۱ کیلووات	۱۴۳ کیلووات

جدول۴: مقدار تابع هدف برای شبکه ۶۹ شینه

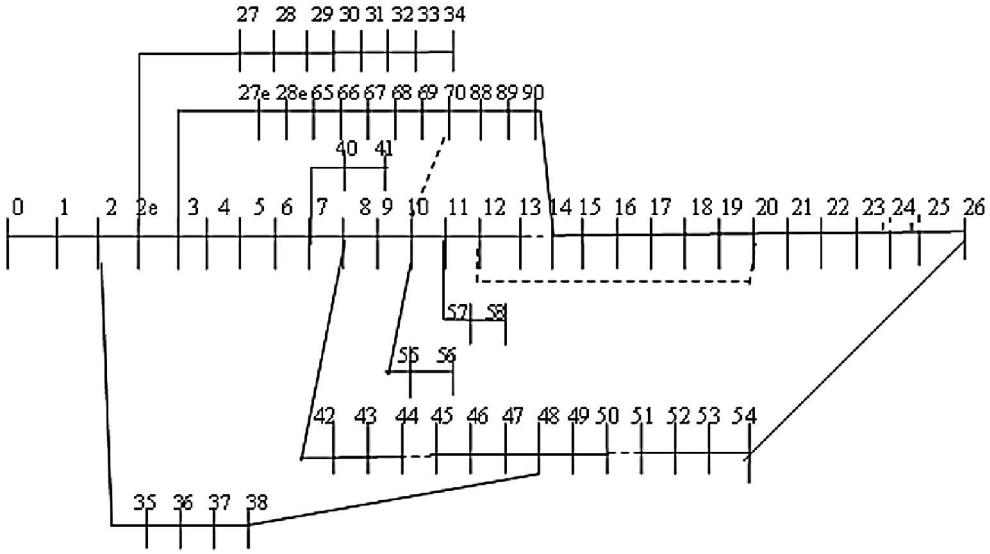
بهترین مقدار تابع هدف	میانگین تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۹/۴ کیلووات	۱۰ کیلووات	۱۳ کیلووات



شکل۶: فیدر۳۳ شینه پس از بازآرایی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷: فیدر۶۹ شینه پس از بازآرایی

۲-۴- کاهش تلفات بوسیله بازآرایی شبکه توزیع، در حضور DG

در مقاله [۹] بازآرایی شبکه توزیع در حالتی که سه سناریو برای بار در نظر گرفته‌شده است بررسی شده است. در مقاله مذکور، بازآرایی به منظور حداقل کردن تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ، در شرایط مختلف حضور DG در شبکه است. برای بهینه‌سازی، از الگوریتم جستجوی هارمونی* (HS) استفاده شده است.

در مقاله [۹]، برخلاف سایر کارهای انجام‌شده درزمینه بازآرایی شبکه توزیع، در تابع هدف بجای حداقل سازی از حداکثر سازی استفاده‌شده است. رابطه (۳-۱۰) تابع هدف را نشان می‌دهد:

$$\min f = \max(\Delta P_{loss}^{R} + \Delta P_{loss}^{DG}) \qquad (۵)$$

که:

ΔP_{Loss}^{K}: تفاضل مقدار تلفات شبکه توزیع، قبل و بعد از بازآرایی است.ΔP_{Loss}^{DG} : تفاضل مقدار تلفات شبکه توزیع، قبل و بعد نصب واحدهای تولید پراکنده است. قیود این مسئله نیز به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} V_{min} \le |V_k| \le V_{max} \\ |I_{k,k+1}| \le |I_{k,k+1,max}| \end{aligned} \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n} P_{Gi} \le \sum_{i=1}^{n} (P_i + P_{loss,k})$$

$$det(A) = \begin{cases} 1 \text{ or } -1 & is\ redial \\ 0 & is\ not\ redial \end{cases} \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، منظور از A ماتریسی است که در بخش های قبلی معرفی شد و از آن برای تشخیص شعاعی بودن یا نبودن شبکه پس از انجام بازآرایی استفاده می‌شود. جدول ۶ نتایج حاصل از بازآرایی شبکه توزیع در حضور تولیدات پراکنده را برای پنج حالت (۱) بدون حضور DG و بدون بازآرایی، (۲) فقط بازآرایی، (۳) فقط نصب DG، (۴) ابتدا نصب DG و سپس بازآرایی، (۵) نصب همزمان DG و انجام بازآرایی، را نشان می‌دهد. برای پنج سناریوی ذکر شده، پروفیل‌های ولتاژ برای سه حالت بار سبک، بار عادی و بار سنگین به‌صورت شکل ۱۱ رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، برای

* Harmony Search

www.SID.ir

Archive of SID

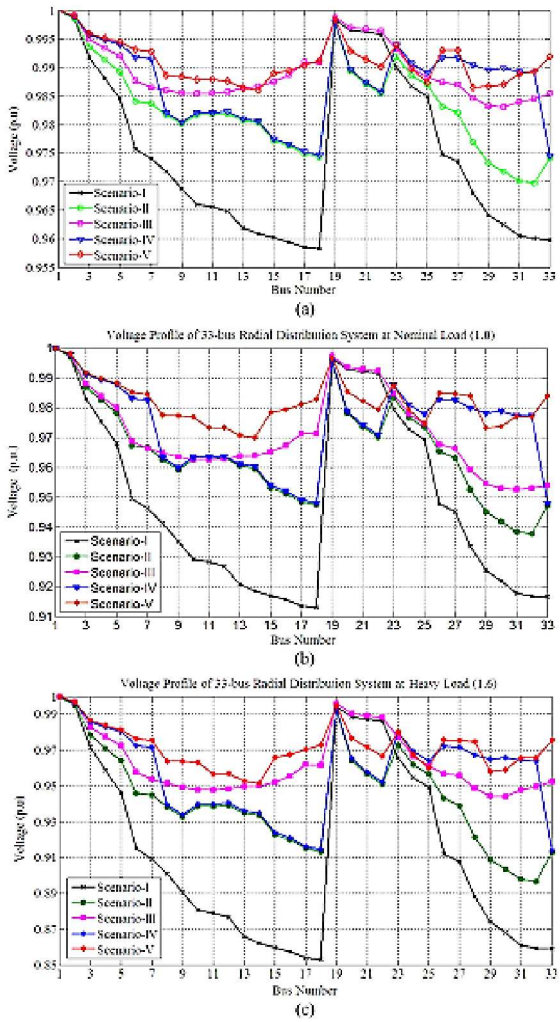
نصب همزمان DG و انجام بازآرایی شبکه بهترین وضعیت خود را دارد که در این حالت آرایش شبکه به‌صورت شکل ۱۲ درمی‌آید.

جدول۵ نتایج حاصل از بازآرایی در حضور DG

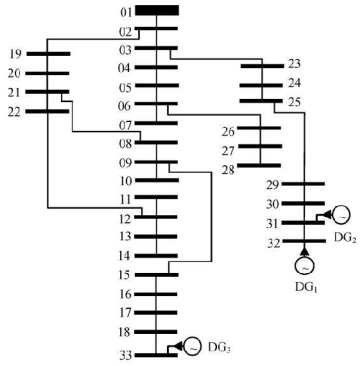
سناریو		سطح بار		
		کم بار	متوسط	پربار
حالت پایه	سوئیچ های باز	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷
	تلفات (kW)	۴۷	۲۰۲	۵۷۵
	حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۵
فقط بازآرایی	سوئیچ های باز	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷
	تلفات (kW)	۳۳	۱۳۸	۳۸۰
	حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۰
فقط DG	سوئیچ های باز	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷
	تلفات (kW)	۲۳	۹۷	۲۶۰
	حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۴
نصب DG بعد از بازآرایی	سوئیچ های باز	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷	۷، ۱۴، ۹، ۳۲، ۳۷
	تلفات (kW)	۲۳	۹۷	۲۵۹
	حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۱
بازآرایی و نصب همزمان DG	سوئیچ های باز	۷، ۱۴، ۱۱، ۳۲، ۲۷	۷، ۱۴، ۱۰، ۳۲، ۲۸	۷، ۱۴، ۱۰، ۳۲، ۲۸
	تلفات (kW)	۱۸	۷۳	۱۹۴
	حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۵

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۱: پروفیل ولتاژ برای سناریوهای مختلف



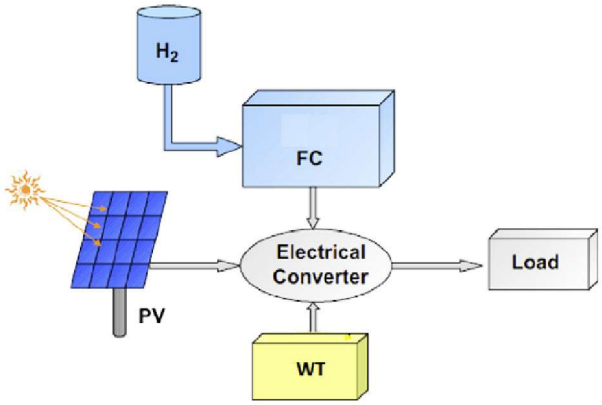
شکل۱۲: آرایش شبکه توزیع پس از بازآرایی و DG گذاری بهینه

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۵- بازآرایی شبکه توزیع در حضور منابع انرژی‌های تجدیدپذیر

مقاله [۱۰] به بررسی بازآرایی شبکه توزیع و یافتن اندازه بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر پرداخته‌است. بدین ترتیب که منابع تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی، سلول‌های سوختی و فوتو ولتاییک را در ردیف منابع تولید انرژی که به شبکه توزیع تزریق می‌شوند مانند شکل۱۳قرار داده‌است.



شکل۸: دیاگرام تزریق انرژی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر [۱۰]

متغیرهای مورداستفاده برای بهینه‌سازی به‌صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\bar{X} = [SW, P_{DG}] \quad (۸)$$

که SW مجموعه کلیدهای کاندیدا برای باز و بسته شدن و P_{DG} توان تولیدی منابع تجدیدپذیر می‌باشد.

در مقاله [۱۱] چهار تابع هدف مورداستفاده قرارگرفته است، که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود:

تابع هدف اول کاهش تلفات است که در رابطه (۵-۹) آمده‌است.

$$\min f_1(\bar{X}) = P_{LOSS} \quad (۹)$$

تابع هدف دوم افزایش شاخص پایداری ولتاژ است که با توجه به مقاله به‌صورت زیر می‌توان آن را برای شین‌های مختلف حساب کرد:

$$\mathrm{VSI}_j = V_i^4 - 4\left(P_{ij}X_{ij} - Q_{ij}R_{ij}\right)^2 - 4\left(P_{ij}R_{ij} - Q_{ij}X_{ij}\right)V_i^2 \quad (۱۰)$$

تابع هدف سوم حداقل‌سازی انرژی تولیدشده توسط منابع تولید پراکنده است و به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{i,j} = a + b \times P_{i,j} \quad (۱۱)$$

که ضرایب a و b اعداد ثابتی هستند و اندیس‌های i و j به ترتیب مربوط به شماره سیستم ترکیبی متشکل از سلول سوختی، توربین بادی و فوتوولتاییک و نوع آن‌ها است.

تابع هدف چهارم مربوط به آلاینده‌های تزریقی توسط DGها مانند CO_2، NO_x، SO_2 و CO به محیط اطراف است:

$$\min f_4(\bar{X}) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j \in tech} P_{i,j} \times ER_j \times CF_j \times 8760 + P_{sub} \times LF \times ER_{grid} \times 8760 \quad (۱۲)$$

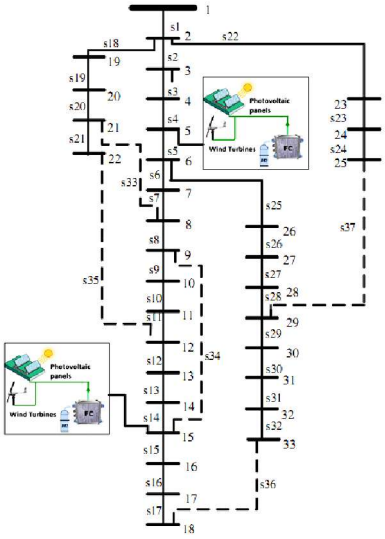
شبیه‌های انجام‌شده در مقاله [۱۱] بر روی فیدر ۳۳ شینه استاندارد IEEE انجام‌شده است که منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته‌شده برروی شین‌های شماره ۵ و شماره ۱۵ قرارگرفته‌اند. شکل ۱۴ این امر را نشان می‌دهد.

در جدول ۷، نتایج حاصل از بازآرایی برای تابع هدف‌های ذکر شده آمده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود، این مسئله با الگوریتم‌های تکاملی مختلفی حل‌شده است که در این میان، الگوریتم ABC* دارای جواب‌های بهتری می‌باشد.

* Artificial Bee Colony

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹: شبکه استاندارد ۳۳ شینه با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسه الگوریتم های مختلف در مسئله بازآرایی بهینه شبکه توزیع

تابع هدف	روش	بهترین نتیجه	بدترین نتیجه	میانگین	واریانس	توان تولیدی توسط منابع انرژی تجدید پذیر (kW)						سوئیچ های باز
						$P_{1,wt}$	$P_{1,fc}$	$P_{1,pv}$	$P_{2,wt}$	$P_{2,fc}$	$P_{2,pv}$	
تلفات (kW)	GA	۸۳/۲	۸۵/۸	۸۴/۱	۱/۶۵	۳۳۸	۰	۳۰۱	۳۴۷	۱۴۹	۳۵۱	۷، ۳۷، ۱۰، ۱۳، ۳۱،
	PSO	۸۳/۱	۸۴/۹	۸۳/۹	۱/۳۸	۲۹۶	۶۷	۱۹۱	۳۶۰	۱۷۲	۴۰۰	۷، ۳۷، ۱۰، ۱۳، ۳۱
	HIS	۸۳/۱	۸۴/۱	۸۳/۵	۰/۶۵	۱۷۵	۴۸	۲۹۱	۲۲۶	۴۰۰	۳۴۲	۷، ۳۷، ۹، ۱۳، ۳۰،
	ABC	۸۲/۷	۸۳/۴	۸۲/۹	۰/۲۷	۳۵۳	۰	۱۶۷	۳۵۵	۲۶۲	۳۱۸	۷، ۹، ۱۳، ۳۰، ۳۷
VSI	GA	۰/۸۳۶	۰/۸۳۱	۰/۸۳۵	۰/۰۰۳	۳۱۷	۳۶۰	۳۵۸	۴۷	۱۶۱	۲۱۴	۴، ۶، ۸، ۱۴، ۳۲
	PSO	۰/۸۳۷	۰/۸۳۲	۰/۸۳۶	۰/۰۰۱	۱۲۳	۱۴۸	۳۱۸	۳۸۸	۳۱۷	۱۸۷	۷، ۸، ۳۱، ۳۴، ۳۷
	HIS	۰/۸۳۱	۰/۸۳۰	۰/۸۳۱	۰/۰۰۲	۳۶۰	۸۳	۳۷۱	۳۶۸	۱۵۸	۱۴۵	۸، ۱۴، ۲۸، ۳۱، ۳۳،
	ABC	۰/۸۷۶	۰/۸۷۵	۰/۸۷۶	۰/۰۰۱	۰	۱۹۱	۱۳۴	۳۶۰	۴۰۰	۴۰۰	۷، ۱۰، ۱۴، ۳۴، ۳۷
هزینه ($/h)	GA	۱۶۱/۹	۱۶۵/۴	۱۶۳/۹	۲/۷۲	۳۰۶	۰	۴۰۰	۳۰۴	۶۴	۴۰۰	۴، ۶، ۱۳، ۲۱، ۳۱،
	PSO	۱۵۹/۴	۱۶۲/۴	۱۶۰/۲	۱/۴۰	۳۶۸	۱۴/۳	۴۰۰	۴۰۰	۱۹	۲۸۵	۷، ۱۱، ۱۴، ۳۱، ۳۷،
	HIS	۱۵۸/۶	۱۶۰/۴	۱۵۹/۱	۰/۹۶	۳۹۹	۵	۴۰۰	۳۵۶	۴	۳۳۰	۷، ۱۰، ۱۴، ۲۸، ۳۱،
	ABC	۱۵۸/۳	۱۵۹/۳	۱۵۸/۶	۰/۲۶	۳۲۸	۰	۳۹۵	۳۱۵	۳/۲	۴۰۰	۷، ۱۰، ۱۴، ۳۱، ۳۷،
آلایندگی (ton۱۰۰۰)	GA	۱۳/۱۶	۱۳/۱۸	۱۳/۱۷	۰/۰۳۳	۴۰۰	۰	۲۸۳	۴۰۰	۰	۴۰۰	۷، ۹، ۱۴، ۳۱، ۳۷،

www.SID.ir

Archive of SID

	PSO	۱۳/۱۶	۱۳/۱۷	۱۳/۱۵	۰/۰۱۳	۳۸۰	۰	۳۵۴	۳۴۱	۰	۳۴۸	۳۷ ،۶، ۱۰ ،۱۴، ۳۱
	HIS	۱۳/۱۵	۱۳/۱۶	۱۳/۱۵	۰/۰۴۲	۳۶۵	۰	۴۰۰	۳۷۲	۰	۳۴۶	۳۷، ۷، ۱۰ ،۱۴، ۳۱،
	ABC	۱۳/۱۴	۱۳/۱۵	۱۳/۱۵	۰/۰۰۹	۳۴۸	۰	۳۹۷	۳۹۴	۰	۳۴۷	۳۷، ۷، ۱۱ ،۱۴، ۳۱،

۳- نتایج:

در این مقاله، ابتدا مروری بر روش‌های متداول در حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع، که بیشتر مبتنی بر روش‌های دقیق و تصادفی هستند انجام‌شده است. روش الگوریتم ژنتیک نیز به‌عنوان پایه‌ای‌ترین روش تصادفی و هوشمند برای حل مسئله بازآرایی بهینه معرفی شده است.

پس از معرفی روش‌های حل مسئله بازآرایی بهینه شبکه توزیع، به بررسی چند مقاله جدید در این رابطه پرداخته‌شده است. در این مقالات از بازآرایی بهینه شبکه توزیع به‌عنوان ابزاری برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات به روش‌های مختلف استفاده شده است. همچنین روش‌های مختلفی از قبیل روش تشخیص شعاعی بودن به شیوه ماتریسی برای حل این مسئله ارائه شده است. نتایج حاصل از بازآرایی برای تابع هدف‌های ذکر شده آمده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود، این مسئله با الگوریتم‌های تکاملی مختلفی حل‌شده است که در این میان، الگوریتم ABC* دارای جواب‌های بهتری می‌باشد.

۴-منابع:

[۱] R. R.Karki, "A simplified wind power generation model for reliability evaluation," *IEEE Trans. on Energy Conversion,* vol. ۲۱, p. ۵۳۳, ۲۰۰۶.

[۲] W. K. J.G. Slootweg, "Modeling of large wind farms in power system simulations," in *Proc. IEEE PES Summer Meeting*, ۲۰۰۲.

[۳] Leonardo M. O. Queiroz and Christiano Lyra, "Adaptive Hybrid Genetic Algorithm for Technical Loss Reduction in Distribution Networks Under Variable Demands," *IEEE Transaction on Power Systems,* Vols. ۲۴, No.۱, Feb. ۲۰۰۹.

* Artificial Bee Colony

www.SID.ir

Archive of SID

[۴] و. م. پور, "بررسی عملکرد ژنراتورهای القایی با تغذیه دوگانه در شرایط وجود اختلال در شبکه و ارائه روشی در بهبود آن "*,ژورنال مهندسی برق قدرت، دانشگاه تهران*.۱۳۸۸ ,

[۵] محمد حسین شریعت خواه و محمودرضا حقی فام, "بررسی بازآرایی و مکانیابی خازن در حضور انواع مختلف منابع تولید پراکنده "*,بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق* ,تهران, ۲۰۱۰ .

[۶] A. Chowdhury, "Reliability model for large wind farms in generation system planning," *IEEE Trans. on Power Systems,* vol. ۲, pp. ۱۹۲۶-۱۹۳۲, ۲۰۰۵.

[۷] S. S. M.R. Haghifam, "Reliability models for wind farms in generation system planning," in *International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power System*, Singapure, ۲۰۱۰.

[۸] م. ف. م. ع. ی. ح. ر. ا. پ. نگار, "ارزیابی قابلیت اطمینان نیروگاه‌های بادی منجیل و نیشابور in " *بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق* ,تهران, ۲۰۰۷ .

[۹] ح. ف. پیکانی, "یک رویکرد آماری برای برازش توزیع سرعت باد in "*,هفتمین همایش ملی انرژی* ,تهران, ۲۰۰۹ .

[۱۰]. Available: http://www.irimo.ir/farsi/current /index.asp?station=۴۰۷۹۸

[۱۱] H. Nasiraghdam and S. Jadid, "Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm," *Solar Energy,* vol. ۸٦, pp. ۳۰۵۷-۳۰۷۱, ۲۰۱۲.

www.SID.ir