آرایش مجددشبکه های توزیع بوسلیه الگوریتم ژنتیک

کاوه مقدم تبریزی مهردادمستقیمی

مهندسین مشاور قدس نیرو

چکیده :

دراین مقاله مسئله آرایش مجددشبکه توزیع به منظورکمینه کردن یک تابع هزینه مشخص روی آن به وسیله الگوریتم ژنتیک بررسی می شود.الگوریتم یک روش آماری اتفاقی *(Stochastic)* جهت بهینه‌سازی وبررسی فضای موردمطالعه می باشدکه ایده آن روندانتخاب طبیعی وتکامل موجودات زنده می‌باشد. وچنانچه خواهدآمدبرای مسائلی که حالات موردبررسی آن بسیارزیادهستندمانندآرایش های مختلف یک شبکه توزیع وسیله مناسبی می‌باشد.

دراین روش محدودیتی روی تابع هزینه تعریف شده وجودنداردولی مثال بررسی شده ،دارای تابع هزینه تلفات شبکه می باشد.

شرح مقاله :

مسئله آرایش مجدد *(Re-configuration)* درشبکه های توزیع شعاعی به منظوربهینه سازی وکمینه کردن یک تابع هزینه مشخص مانندتلفات شبکه به روشهای مختلفی انجام شده است ازاین روشهامی توان به روشهای هوشمندوحسی ذهنی *(Heeuristic)* ،روشهای ریاضی وروشهای آماری اشاره کرد.دراین مقاله یکی ازروشهای آماری موسوم به الگوریتم ژنتیک بررسی می شود.

نکته‌مهم درمورداین مسئله‌این است که رابطه پیچیده‌ای بین مقدارتابع هزینه (دراینجاتلفات) و آرایش شبکه وجوددارد‌وبه همین دلیل روشهایی که ممکن است درمینیمم‌های محلی به دام بیافتند مانندروش گردایان ،دراینجاکاربردی ندارند.بنابراین برای بررسی درست یاشتباه بودن نتیجه الگوریتم ژنتیک یک برنامه بهینه سازی برمبنای تمام شماری یابررسی تمام حالات ممکن شبکه نیز نوشته شد.درانتهای مقاله نتایج الگوریتم ژنتیک واین برنامه که مینیمم مطلق رادراختیار می‌گذارد آمده است.

۱- الگوریتم ژنتیک

دراین بخش به اجمال الگوریتم ژنتیک معرفی می‌گردد وبرای جزئیات بیشترمی‌توان به مرجع [۱] مراجعه کرد.

الگوریتم ژنتیک درواقع مدلی آماری ازنحوه تکامل وتوارث موجودات زنده می‌باشدو جزو دسته الگوریتم‌های گشتن اتفاقی (*Random Search*) درالگوریتم‌های بهینه‌سازی به حساب می‌آیدبااین تفاوت که به‌جای اینکه مایک نقطه ازفضای مطالعه رامأمور گشتن درفضا بکنیم، یک جمعیت ازنقاط رادرابتدا انتخاب کرده وباروابط توارثی ورقابتی که ذکرخواهدشد آنها راتغییر می‌دهیم وبه دنبال نقطه بهینه درجمعیت نسلهای مختلف می‌گردیم وبدین‌سان احتمال رسیدن به نقطه مینیمم مطلق راافزایش می‌دهیم. درزیرلازم است تامفاهیم کلیدی واساسی این الگوریتم توضیح داده شود.

الف) کروموزوم

کروموزوم دراین الگوریتم رشته‌ای ازعناصر بنام ژن می‌باشد که ژنها می توانند اعدادی حقیقی ویا باینری باشند ودرواقع یک کروموزوم معرف یک نقطه ویایک حالت مورد بررسی در فضای

مطالعه می‌باشد. در بیشتر موارد وعموماً ژنها رابه‌صورت مقادیر باینری درنظر می‌گیرند وبدین سان کروموزوم رشته‌ای ازاعداد باینری می‌باشد. این روش درمواردی کاربرد دارد که فضای مطالعه به صورت گسسته‌باشد.

مسئله مهم دربهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک درحالتی که فضای مطالعه گسسته‌است یافتن یک عدد nویک نگاشت ازنقاط فضای مطالعه به فضای نقاط ایجاد شده توسط nبیت می‌باشد. درمسئله آرایش مجدد شبکه‌توزیع، هرژن درواقع وضعیت باز یابسته بودن یک شاخه درشبکه می‌باشد وکروموزوم درواقع معرف حالت خاصی ازشبکه است.

ب) گونه‌های آغازین

دراین الگوریتم ابتدا به‌صورت اتفاقی چندکروموزوم انتخاب می‌شود که اینها گونه‌های مختلف ابتدای الگوریتم راتعیین می‌کنند. هرچقدر گوناگونی آنها بیشترباشد وفاصله‌آنها درفضای مطالعه بیشتر باشد احتمال اینکه الگوریتم خیلی زود دریک مینیمم محلی به دام بیافتد کاهش ، واحتمال یافتن بهینه مطلق افزایش می‌یابد.

ج) تابع هدف یا انطباق *(fitness function)*

تابع هدف دراین الگوریتم تابعی است که باکاهش تابع هزینه افزایش یابد ومعمولا" اگر تابع هزینه $cost(crom)$که "$crom$"کروموزوم است باشد تابع هدف به صورت کلی $f=\frac{\alpha}{\beta+\theta cost}$ تعریف می‌گردد. مقدار ثابت درمخرج برای این است که اگر $cost=0$ شد fبی‌معنا نشود ولی درجایی که مطمئناً $cost$ صفر نمی‌شود معمولا" $f=\frac{\alpha}{cost}$ تعریف میگردد.

د) جمعیت آغازین

بعد ازانتخاب گونه‌های آغازیان باافزایش تعداد هرکدام ازگونه‌ها به نسبت برآورده ساختن تابع هدفشان جمعیت گونه‌آغازین رابه تعداد مشخص (γ) که عدد جمعیت آغازیان است می‌رسانیم. دلیل این کاراین است که درانتخابهای بعدی احتمال انتخاب گونه‌های بهتر بیشترباشد ولی شانس گشتن حول وحوش گونه‌های بدترگرفته‌نشود.

ه) برخورد یالقاح *(Crossover)*

درواقع این مفهوم، مدلی ازلقاح بین موجودات زنده‌است. بدین صورت کـه بـه‌طور اتـفاقی وبااحتمالی‌که به آن نرخ لقاح یا *crossover rate*گفته می‌شود دوعدد ازکروموزومهای جمعیت نسل قبل انتخاب می‌شوندو سپس یک عدد اتفاقی $1 \leq K \leq n-1$ انتخاب می‌شوند وهردو کروموزوم از K امین بیت‌قطع شده وبایکدیگرترکیب‌می‌شوند. به‌طور مثال درزیر، فرآیند برخورد بین دوکروموزوم A وB، ۱۰ بیتی به‌صورت زیرآمده است:

$K = 3$

A = 0111011110

B = 1001011011

AB = 0111011011

BA = 1001011110

نتیجه این عمل دوکروموزوم AB وBA است که اصطلاحاً کروموزومم های "فـرزند" نـامیده میشوند.

نرخ لقاح معمولا"حدود ۵۰٪ انتخاب می‌گردد. دراین مقاله نـیز ایـن مـقدار، ۵۰٪ انـتخاب شده‌است.

و) جهش *(Mutation)*

یکی ازمشکلاتی که الگوریتم‌های تکاملی راتهدید می‌کند این است که جمعیت خیلی زودتر ازاینکه نقطه بهینه به‌دست آید،یکدست شود وگوناگونی خودرا ازدست بدهد. دراین صورت احتمال به دام افتادن درنقطه‌بهینه محلی ونرسیدن به نقطه بهینه مطلق افزایش می‌یابد. برای رفع این مشکل ، هربار پس ازتولید یک‌کروموزوم فرزند، بااحتمال بسیار پایین یک یاچند بیت (بسته‌به نوع مسئله) را به‌طور اتفاقی تغییر می‌دهیم. این امر باعث می‌شود فرزندان ناهمگونتری درنسل بعدی ایجاد شود واحتمال یافتن نقطه بهینه مطلق بالاتر رود. به این مسئله جهش یاموتاسیون گفته می‌شود.

ز) رقابت

یکی ازمشخصات تکامل، رقابت بین موجودات زنده‌است. درمدل ارائه شده درالگوریتم ژنتیک این امرنیز درنظرگرفته می‌شود، بدین صورت که احتمال انتخاب یک کروموزوم درنسل قبل را، مانند حالت ایجاد جمعیت آغازین، وابسته به مقدار تابع هدف یاتابع هزینه آن درنظر می‌گیریم. برای این کار اگر fi مقدارتابع هدف کروموزوم i ام باشد احتمال انتخاب آن رامتناسب با $\frac{fi}{\sum_{j=1}^{n} f j}$ درنظر می‌گیریم. برای این کارجمعیت آن را تاعددی مانند P_i که $P_i = K\frac{fi}{\sum_{j=1}^{n} f j}$ است، افزایش می‌دهیم.بدین صورت احتمال انتخاب کروموزوم‌های بهتر بالا می‌رود.

۲- روش اعمال الگوریتم برای بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع

چنانچه قبلا" ذکرشد پیداکردن یک رشته که بتواند خواص حالت‌های مختلف شبکه رانشان دهد ضروری است. این رشته یک رشته ازبیت‌ها می‌باشد که هربیت متناظر باحالت یک شاخه قابل باز شدن (*Tie line*) می‌باشد.

درمورد مسئله تغییر آرایش مشکل این است که تمام حالتهای به‌وجود آمده به‌وسیله کروموزوم n بیتی (n تعداد شاخه‌های قابل بازشدن سیستم است) حالتهای معتبر نیستند.

معتبربودن دراینجا به معنی آن است که شبکه‌ازحالت شعاعی خارج نشده وهمچنین محدودیت توان ترانس‌های فوق توزیع برآورده‌گردد.

شرط شعاعی بودن شبکه‌این است که :

۱- هیچ حلقه‌ای درشبکه ایجاد نشود.

۲- هیچ قسمت ازشبکه بدون برق باقی نماند.

۳- هیچ مسیر بسته‌ای بین پست‌های فوق توزیع به‌وجود نیاید.

بنابراین هرگاه عضوی پدید می‌آید باید بررسی کرد که‌آیا این عضو معتبراست یاخیرواگر نبود

به‌عنوان یک عضو نسل بعد درنظرگرفته‌نشود ودوباره عضو جدید حاصل شود، یااینکه بایک احتمال مشخص یکی از والدین به‌عنوان "فرزند" انتخاب شود واین روند آنقدر ادامه پیداکند که جمعیت نسل جدید به اندازه عدد مشخصی مانند μبرسد.

این نسل دوباره به‌عنوان نسل والد مطرح می‌گردد ونسل بعدی ازآن تولید می‌شود وهربار بهترین نقطه هرنسل پیدا می‌شود وبانقاط بهینه قبل مقایسه شده ودرصورت بهتربودن ذخیره می‌گردد.

درهرلقاح اگر فرزندی حاصل شد بایک احتمال بسیار کم امکان جهش درکروموزوم راایجاد می‌کنیم این احتمال پایین رانرخ جهش (*Crossover rate*) می‌نامیم. این نرخ درالگوریتم ژنتیک نقش مهمی راایفا می‌کند چراکه اگر این نرخ خیلی کم باشد احتمال همگرا شدن زودرس جمعیت نسل‌های متوالی به سمت یک نقطه وجود دارد واگر خیلی زیاد باشد باعث می‌شود انتخاب طبیعی وارث‌بری که ازخواص اصلی الگوریتم ژنتیک است ازبین برود.

دراین مقاله ازنرخ جهش انطباقی (*Adaptive mutation rate*) استفاده شده‌است. بدین صورت که نرخ جهش یک مقدار اولیه می‌گیرد وهرگاه یکنواختی جمعیت تولید شده ازحدی معین بیشترشد مقدار این نرخ به اندازه یک پله افزایش می‌یابدتااینکه به مقدار حداکثر مجاز که دربرنامه تعیین شده برسد واگر گوناگونی ازحدی بیشتر شد این نرخ کاهش می‌یابد تابه مقدار حداقل مجاز خود برسد.

این عمل باعث می‌شود درمواقعی که الگوریتم درحال به دام افتادن درمینیمم‌های محلی است امکان فرار ازاین مینیمم ها برای آن ایجاد شود واحتمال رسیدن به نقطه مینیمم مطلق افزایش یابد.

نکته دیگر درمورد جهش برای مسئله تغییر آرایش شبکه‌این است که اگر هنگام جهش فقط یکی از ژنها (بیتهای مربوط به رشته کروموزوم) تغییر کند تعداد صفرهای رشته تغییر خواهد کرد ولی دریک شبکه شعاعی باشرط تغییر نکردن توپولوژی شبکه تعداد شاخه‌های باز سیستم تعداد معینی است بنابراین اگر تعداد صفرهای کروموزوم یک شبکه معتبرتغییر کند یک شبکه‌غیرمعتبر حاصل می‌شود. پس درهنگام جهش باید به تعداد زوج تغییر ژن داشته باشیم که دراین مقاله آن را ۲ درنظر گرفته‌ایم.

هنگام ایجاد گونه‌های نخستین ،نکته مهم دراین مسئله خاص این است که چنانچه ذکرشد هررشته n بیتی که به‌طور تصادفی تولید شود معتبر نمی‌باشد واحتمال اینکه کروموزوم تولید شده

معتبر باشد بسیار پایین است به‌طور مثال دریک شبکه نمونه با ۲۰ شاخه قابل باز شدن کلا" ۱۰۴۸۵۷۶=$۲^{۲۰}$ حالت وجود دارد که برحسب شکل شبکه به‌طور متوسط حدود ۱۰۰۰۰ حالت معتبر وجود دارد(این نتایج با روش تمام شماری به دست آمده) پس احتمال انتخاب یک کروموزوم معتبر حدود ۰/۰۱ می‌شود بنابراین درابتدای کار الگوریتم بسیار کندعمل می‌کند برای رفع این مشکل می‌توان باتوجه به این نکته که تعداد شاخه‌های باز دریک شبکه شعاعی باتوپولوژی ثابت تعداد معینی می‌باشد، رشته‌هایی بدین صورت ایجاد کرد که تعداد معینی صفر داشته‌باشند وبدین صورت احتمال ایجاد یک رشته‌معتبر راتاحدود متوسط ۰/۷۰ افزایش می‌دهیم والگوریتم رابسیارسریعترمی‌کنیم.

تابع هزینه وتابع هدف

دراین روش ،تابع هزینه می‌تواند هرتابع قابل تعریف اعم ازپارامترهای فیزیکی یااقتصادی باشدو برخلاف روش ارائه شده در [۳]که تنها تابع هزینه تلفات را درنظر می‌گیرد. دراینجا درمورد تابع هزینه هیچگونه محدودیتی وجود ندارد. دراینجا برای مقایسه نتایج باشبکه نمونه ارائه شده در [۳]، تابع هزینه تلفات انتخاب شده‌است.

تابع هدف رانیز عکس تابع هزینه وبافرض برآورده ساختن محدویت شعاعی بودن شبکه و محدودیت توان پست‌های فوق توزیع درنظر گرفته‌ایم.

شرط پایان الگوریتم

درمورد الگوریتم ژنتیک می‌توان شرط پایان الگوریتم راهمگرا شدن به سمت یک نقطه دانست ولی دراینجا شرط پایان الگوریتم،تولید تعداد مشخص نسل بدون هیچگونه بهبود دروضعیت تابع هدف درحالتی که نرخ جهش به ماکزیمم خود رسیده‌باشد درنظر گرفته‌شده‌است.

اجرای برنامه‌بر روی یک شبکه نمونه

درانتها نتایج حاصل ازاعمال الگوریتم ژنتیک روی شبکه نمونه مرجع [۳]که دراکثر مقالات معتبر آمده، بررسی شده‌است. لازم به ذکر است دراین مثال شاخه‌های بین تمام پستهای توزیع درشکل (۱)، قابل باز وبسته‌شدن می‌باشندو شکل ، تنها معرف توپولوژی کلی وارتباط بین

پستهااست وبرای شعاعی شدن شبکه لازم است تعدادی کلید باز وبقیه بسته شوند.

دراین مثال باید به این نکته توجه کردکه هرچند نتیجه به دست‌آمده توسط این روش بانقطه بهینه مطلق به دست آمده توسط روش تمام شماری (روشی که تمام حالات ممکن رابرای شبکه درنظر می‌گیرد) یکی شده‌است اما این امردرتمام موارد مشاهده نمی‌شود. ولی بااستفاده ازاین روش می‌توان اطمینان داشت که نقطه نیمه بهینه (*Sub Optimum*) قابل قبولی به دست خواهد آمد.

در جدول(۱) مقادیر پارامترهای شبکه ودرجدول (۲) مقایسه‌ای بین روش ژنتیک ،تمام شماری وروش آمده درمرجع [۳] آمده است.

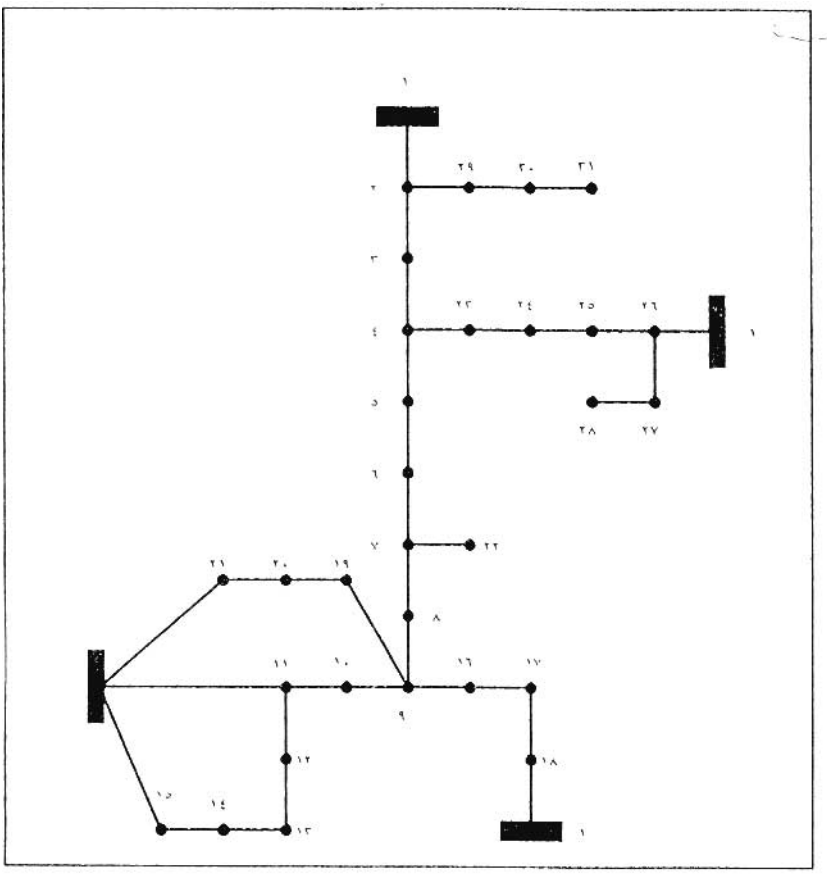
در شکل (۲) نیز منحنی‌های مربوط به تلفات نسلهای مختلف آمده است که درآنها محور عمودی‌معرف‌تلفات‌ومحورهای‌افقی‌معرف‌شماره‌نقاط‌ایجادشده‌درفضای‌مطالعه درهرنسل‌می‌باشد.

بابررسی این منحنی ها به خوبی می‌توان تأثیر تغییر نرخ جهش ازمنحنی (۱۶) به بعدرا دید. چنانچه در نسل مربوط به منحنی (۱۶) مشاهده می‌شود، یکنواختی ازحد آستانه آن بیشترشده است ودراینجا تدریجاً نرخ جهش افزایش یافته وباعث شده درنسلهای بعدی یکنواختی کمتر باشد والگوریتم به دام یک نقطه بهینه محلی نیافتد.

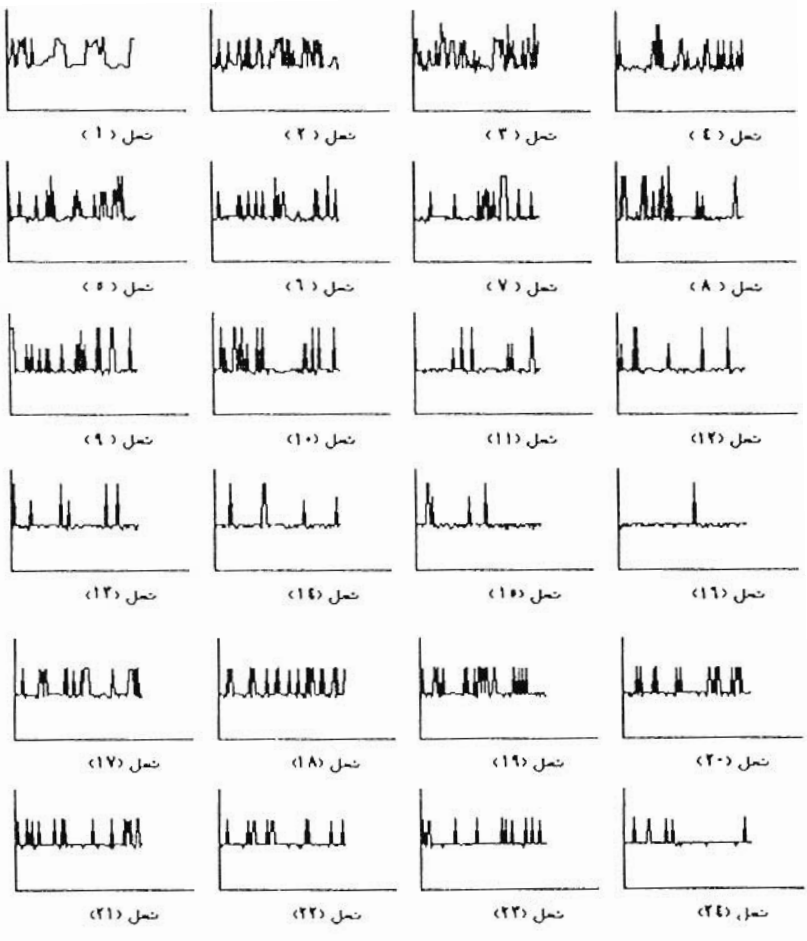
نتیجه‌گیری

بابررسی آماری وآزمایشهای مکررروش‌الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی شبکه توزیع باتغییرآرایش شبکه ،این نتیجه به دست آمده که این روش برای شبکه‌های بسیار بزرگ که محاسبات تمام شماری روی آنها حجم بسیار زیادی پیدا می‌کند، بسیار مناسب بوده و زمان اجرای کمی دارد ودرعین حال جواب نیمه بهینه (*Sup Optimum*) بسیار خوبی رابه دست می‌دهد. مزیت این روش نسبت به روش آمده درمرجع [۳] این است که می‌توان هرتابع هزینه دلخواه وابسته به آرایش شبکه رابهینه نمود.

به طور مثال اگر درشبکه‌ای علاوه برتلفات ،برای برطرف کردن افت ولتاژ نقاط مختلف آن نیازبه خازنگذاری وجود داشته باشد می‌توات تابع هزینه‌ای متشکل ازتلفات وهزینه خازنگذاری درنظرگرفت و این تابع رابه راحتی روی شبکه مورد نظرکمینه نمود.



شکل (۱) شبکه نمونه مورد آزمایش



شکل(۲) منحنی های کیفی تلفات آرایشهای مختلف شبکه در نسلهای تولید شده

شماره خط	باس ابتدا	باس انتها	R (pu)	X (pu)	توان اکتیو باس بار انتها (pu)	توان راکتیو باس بار انتها (pu)
۱	۱	۲	۰/۱۱۱۶	۰/۳۷۲۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۲	۲	۳	۰/۰۴۴۹	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵۲۲	۰/۰۰۱۷۴
۳	۲	۲۹	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۴	۳	۴	۰/۰۷۲۱	۰/۰۷۱۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۵	۲۹	۳۰	۰/۱۰۲۱	۰/۱۰۱۰	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۶	۴	۵	۰/۲۴۷۱	۰/۱۲۵۶	۰/۰۰۹۳۶	۰/۰۰۳۱۲
۷	۳۰	۲۳	۰/۱۰۶۶	۰/۱۰۵۴	۰/۰۰۵۲۲	۰/۰۰۱۷۴
۸	۵	۳۱	۰/۲۱۰۶	۰/۱۱۸۷	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۹	۲۳	۶	۰/۱۱۵۳	۰/۰۵۸۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۰	۳۱	۲۴	۰/۰۶۴۵	۰/۰۶۴۱	۰/۰۱۹۱۷	۰/۰۰۶۳۹
۱۱	۶	۷	۰/۳۳۷۶	۰/۱۹۰۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۲	۲۴	۲۵	۰/۱۱۱۶	۰/۰۹۷۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۳	۷	۸	۰/۲۷۷۴	۰/۱۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۴	۷	۱۹	۰/۱۰۲۶	۰/۰۹۲۹	۰/۰۰۴۳۲	۰/۰۰۱۴۴
۱۵	۷	۲۲	۰/۰۹۹۳	۰/۰۸۶۳	۰/۰۰۲۰۷	۰/۰۰۰۶۹
۱۶	۷	۱۰	۰/۲۴۶۰	۰/۱۶۵۶	۰/۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۶۳
۱۷	۲۵	۲۶	۰/۲۷۵۹	۰/۲۳۹۸	۰/۰۰۸۱۶	۰/۰۰۲۷۲
۱۸	۸	۹	۰/۲۹۳۸	۰/۱۶۵۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۹	۱۹	۲۰	۰/۳۴۹۰	۰/۳۰۳۴	۰/۰۰۶۷۲	۰/۰۰۲۳۴
۲۰	۱۰	۱۱	۰/۲۶۷۱	۰/۱۶۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۲۱	۲۶	۲۷	۰/۲۱۲۱	۰/۱۸۴۳	۰/۰۰۵۴۹	۰/۰۰۱۸۳
۲۲	۹	۱۶	۰/۰۹۱۹	۰/۰۷۹۹	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۳	۲۰	۲۱	۰/۴۳۰۴	۰/۲۴۲۴	۰/۰۰۴۹۵	۰/۰۰۱۶۵
۲۴	۱۱	۱۲	۰/۸۳۴۵	۰/۴۷۰۱	۰/۰۰۳۳۶	۰/۰۰۱۱۲
۲۵	۲۷	۲۸	۰/۳۴۰	۰/۱۹۱۷	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۶	۱۶	۱۷	۰/۱۳۹۰	۰/۰۷۸۳	۰/۰۰۵۴۹	۰/۰۰۱۸۳
۲۷	۱۲	۱۳	۰/۳۸۴۴	۰/۲۱۶۵	۰/۰۰۶۵۷	۰/۰۰۲۱۹
۲۸	۱۷	۱۸	۰/۲۵۳۸	۰/۱۴۲۹	۰/۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۹	۱۳	۱۴	۰/۱۵۶۹	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۷۸۳	۰/۰۰۲۶۱
۳۰	۱۴	۱۵	۰/۱۵۶۹	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۷۲۹	۰/۰۰۲۴۳
۳۱	۱۸	۱	۰/۴۳۰۴	۰/۲۴۲۴	–	–
۳۲	۱۱	۱	۰/۲۹۳۸	۰/۱۶۵۵	–	–
۳۳	۲۱	۱	۰/۳۴۹۰	۰/۳۰۳۴	–	–
۳۴	۱۵	۱	۰/۲۶۷۱	۰/۱۶۵	–	–
۳۵	۲۶	۱	۰/۲۱۲۱	۰/۱۸۴۳	–	–

جدول ۱ - اطلاعات شبکه نمونه

جدول (۲) مقایسه نتایج

	نتیجه الگوریتم ژنتیک (۹۲٪ موارد)	روش تمام شماری (بهینه مطلق)	روش ارائه شده در مرجع [۳]
تلفات	۰/۰۰۱۶۰۱۴۶ (pu)	۰/۰۰۱۶۰۱۴۶ (pu)	۰/۰۰۱۶۰۲۳(pu)
شاخه باز ۱	۲۴	۲۴	۲۲
شاخه باز ۲	۱۴	۱۴	۲۷
شاخه باز ۳	۱۱	۱۱	۱۹
شاخه باز ۴	۲۶	۲۶	۹
شاخه باز ۵	۱۰	۱۰	۱۰

الگوریتم ژنتیک در ۵۰ بار آزمایش ، ۴۶ بار به مقدار بهینه مطلق و ۴ مرتبه به نتیجه ای در حدود ۰/۰۰۱۶۰۳۲۷(pu) رسید .

مراجع:

[1] D.E.Goldberg , " ***Genetic Algorithm in Search , Optimization and Learning*** " , Addison - Wesley Pub.Co.Inc. 1989 .

[2] Koichi Nara , Atsushi Shiose , Minoru Kitagawa & Toshihisa Ishihara , " ***Implementation of Genetic Algorithm for Distribution Systems Loss Minimum Reconfiguration*** " , Transaction on Power Systems , Vol . 7 , No . 3 , Aug 1992 .

[۳] همایون برهمند پور و مهدی اسلامی ، " ***تعیین شکل بهینه شبکه توزیع جهت کمترین تلفات در بهره برداری*** " ، پنجمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق ۱۳۷۴ .

[4] Gonen T. , and Ramirez - Rosad I.J. , " ***Review of Distribution System Planning models : a model for optial multistage planning*** " , IEE Proc . C , 1986 .

[5] Civanlar S. , Grainger J.J. , Yin H. , and Lee S.S.H , " ***Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction*** " , IEEE Trans. , 1988 , PWRD_4 .

[6] L. Davis (Ed.) , " ***Genetic Algorithms and Simulated Anneling*** " , Morgan Kaufman Pub. Inc. 1987 .

[7] J.J.Grenfenstette , " ***Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms*** " , IEEE Trans. SMC , Vol . 16 , No. 1 , 1986 .