ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق

مدیریت و برنامه‌ریزی توزیع برق

طراحی بهینه شبکه‌های توزیع نیرو بااستفاده ازالگوریتم ژنتیک

پروانه بی تعب محسن پارسامقدم حسین سیفی

دانشگاه تربیت مدرس

چکیده :

دراین مقاله روشی جدیدبرای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع‌نیرو بااستفاده ازالگوریتم ژنتیک ارائه شده‌است . طراحی به گونه‌ای است که ساختارپیشنهادی علاوه برارضاءکلیه محدودیت های موجود ، ازلحاظ کارکرد نیزدرشرایط بهینه تلفات وتوانهای رآکتیوانتقالی درخطوط باشد .

همچنین دراین تحقیق نشان داده شده‌است که درنظر گرفتن اهداف مختلف درطراحی سیستم توزیع مثل بهینه سازی توان رآکتیو درشبکه ،ازیکدیگرمستقل نمی‌باشد ودرنظرگرفتن هم زمان این اهداف ، امکان دست یابی به جواب های بهتری رافراهم می کند .

الگوریتم‌طراحی شده برروی یک شبکه مدل ، با۱۶ خط و۱۲ باس ، اجراشده ودرکمتراز ۲۰۰ تکرار ، ساختاربهینه بدست آمده‌است . مقایسه نتایج حاصله ازاجرای این الگوریتم برروی شبکه‌هایی که باروش‌های دیگرنیزبهینه سازی شده‌اند ، نشان دهنده برتری این روش وقابلیت اجرای آن برروی شبکه‌هایی باابعاد واقعی می‌باشد .

کلید واژه :

سیستم‌های توزیع (Distribution Systems) الگوریتم ژنتیک (Genetic)، بهینه‌سازی (Optimization)

۱ - مقدمه

طراحی بهینه شبکه‌های توزیع نیرو ،ازمسائل بسیار مهم درسیستم‌های قدرت است که توسط محققان زیادی مورد بررسی قرارگرفته‌است . طراحی باید بگونه‌ای انجام شود که ساختار پیشنهادی علاوه‌برکارکرد درشرایط بهینه محدودیت هایی نظیر ، حدود مجاز ولتاژباسها ، ظرفیت مناسب خطوط ،تعداد مناسب مسیرهای تغذیه بارها،ظرفیت مجاز نقاط تولید ومیزان ظرفیت بانک های خازنی قابل نصب در شبکه ارضا نماید . بطورکلی مسأله فوق یک نمونه ازمسائل برنامه‌ریزی آمیخته غیرخطی (Nonlinnear Mixed integerprogramming) می‌باشد وروشهای متنوعی مانند متدهای برنامه‌ریزی خطی وغیرخطی برای حل‌آن ارائه شده‌است [۲،۱].استفاده ازاین گونه روشها همواره باتقریب‌هایی مانند خطی سازی تابع هزینه یا گردکردن بعضی متغیرها همراه‌است . اما ساختاری که بااستفاده ازتقریب ، حاصل شده ، شاید دیگرموجه نباشد وغالبا"تشخیص مطلوب بودن ساختار بدست آمده ازاین روشها ، کاردشواری است .به عبارت دیگر تضمینی وجود ندارد که چنین ساختاری پاسخ بهینه مطلق مسأله باشد . به علت وجود این مشکل به نظر می‌رسد استفاده ازالگوریتم ابتکاری جستجو مناسب‌ترباشد .ازجمله می‌توان ازمتدهای انشعاب وتحدید (Branch & Bound) برنامه ریزی دینامیکی (Dynamic Programming) وتغییر شاخه(Branch Exchange) نام برد [۵،۴،۳] .اگرچه‌الگوریتم های جستجو درحل مسائل بزرگ کارائی بیشتری رانشان می دهند ، ولی تضمینی برای یافتن جواب بهینه مطلق دراین روشها وجود ندارد[۶].

دربسیاری ازتحقیقات انجام شده به علت حجم عملیات وپیچیدگی های مدل سازی مسأله به اهداف معدودی مانند بهینه‌سازی تلفات سیستم توجه شده است .این نکته ممکن است منجر به غیرعملی شدن طرح درهنگام بهره برداری (مثلا"احتیاج به خازنهای بسیار بزرگ برای کنترل توان راکتیو) شود .روش ارائه شده دراین تحقیق سیستماتیک است وامکان مدل سازی هم زمان اهداف مختلف رابه صورت هم‌زمان به راحتی فراهم می‌کند ودرمقابل تغییراهداف مسأله مقاوم و انعطاف‌پذیراست دراین روش بااستفاده ازالگوریتم ژنتیک قسمتهای مختلف فضای جستجو به شکل کارآمدی کاوش شده وازفرمولهای تقریبی درمحاسبات استفاده نشده‌است .همچنین بارعایت شرایط خاصی دراستفاده ازالگوریتم ژنتیک ، رسیدن به جواب بهینه مطلق تضمین میگردد[۷].

۲ - الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش آماری جستجو است .دراین روش پارامترهاومتغیرهای مسأله بایک کدمناسب بیان می‌گردد.متداول‌ترین روش بکاررفته ،کدباینری است دراین صورت به هردنباله ازاعداد ۰و۱ که شکل کد شده یک جواب ممکن ازمسأله باشد،کروموزوم گفته می شود .الگوریتم ژنتیک همواره به جمعیتی ازکروموزوم هاتوجه دارد.بدین ترتیب درهرمرحله ازاجرای الگوریتم ، جمعیتی ایجادمی گرددکه خواص مورد نظررابیشترازجمعیت مرحله قبل دارامی باشد .مناسب بودن یانبودن جواب بامعیاری سنجیده می شود که آن رامقداربرازندگی (Fitness Value) می نامند . بکارگیری الگوریتم ژنتیک درحل مسائل به صورت ذیل است .

ابتداازمیان کروموزوم های موجود درجمعیت اولیه تعدادی برای انجام عمل جابجایی و جهش انتخاب می شوند .معمولا"احتمال‌انتخاب یک کروموزوم متناسب بامقدار برازندگی آن است .بنابراین کروموزومی که برازنده‌تراست درتولید فرزندان بااحتمال بیشتری شرکت می کند ودنباله های بیشتری ازآن بوجود می‌آید.پس ازمرحله فوق عمل جابجایی بااحتمال PC برروی یک جفت کروموزوم انجام می شود .

دراین عمل دوکروموزوم جدیدازکروموزوم‌های‌اولیه‌تولید می‌گردد. سپس عمل جهش برروی کروموزوم‌های جدیدبااحتمال PM انجام می شود .بدین صورت‌که به ازای هربیت ازکروموزوم‌هایک عددتصادفی تولیدشده ودرمقایسه بااحتمال جهش درموردجهش آن بیت تصمیم‌گیری می‌شود پس از عمل جابجایی وجهش ازمیان کروموزوم های جمعیت اولیه تعدادی برای ورودبه مرحله بعد انتخاب می‌شوندبرای آنکه شانس بقای جواب های مناسب بیشترشود،احتمال بقای کروموزوم‌ها متناسب با مقداربرازندگی آنهادرنظرگرفته می شود.این مراحل آنقدرتکرارمی شودتاالگوریتم به سمت بهینه مطلق همگراشود[۸].

استفاده ازروش الگوریتم ژنتیک درطراحی وبهینه سازی شبکه های توزیع مزیت‌هایی را نسبت‌به سایرروش ها بدنبال دارد.حل مسأله بدون تقریب ،جستجوی کارآمدقسمت‌های مختلف فضای حل بدون حذف قسمتی ازآن همگرایی به پاسخ بهینه مطلق ،انعطاف‌پذیری درمقابل تغییر اهداف وسادگی روش درمقایسه باسایرروشهاازجمله مزیت های عمده الگوریتم طراحی شده دراین تحقیق است .

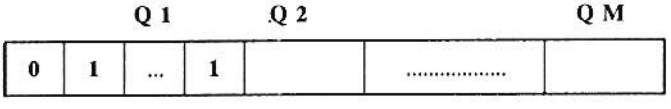
۳ - الگوریتم ژنتیک درطراحی شبکه های توزیع الکتریکی

دراین قسمت به چگونگی مدل سازی طراحی سیستم توزیع به صورت یک مسأله قابل حل با روش الگوریتم ژنتیک پرداخته می شود .

درکدگذاری ، متغیرهای مسأله به دودسته تقسیم شده اند .گروه اول شامل کروموزوم های نمایش‌دهنده‌متغیرهای تصمیم‌گیری مسأله‌است.بعنوان‌مثال چنانچه‌درشبکه‌امکان‌نصب n خط وجود داشته‌باشد،به‌ازای هرخط یک‌بیت‌درکروموزوم وجوددارد‌وهربیت‌دومقدار ۰ و ۱ رامی‌تواند‌اختیارکند.

گروه دوم کروموزوم ها،مربوطه متغیرهای پیوسته‌درمسأله می‌باشد.بطورمثال مقدارخازن‌های نصب شده روی باس هابرای بهینه‌سازی توان رآکتیوسیستم رامی‌توان دراین گروه از متغیرها کدگذاری نمود.

دراین حالت چنانچه سیستم دارای M باس باشدآنگاه یک کروموزوم شامل M عددباینری است‌که‌هرعددمیزان‌توان رآکتیوتزریق شده‌توسط بانکهای خازنی‌درباس هارانمایش‌می‌دهد.شکل ۱، یک نمونه ازاین کروموزوم هارانشان می دهد.



شکل ۱:نمونه‌ای ازکروموزوم های گروه دوم

درهرمرحله‌ازاجرای الگوریتم ،مقداربرازندگی ساختارهای جدیدبااستفاده ازنتایج پخش بار ، محاسبه شده وازنظرمحدودیت های الکتریکی موردبررسی قرارمی گیرد ساختارپیشنهادی باید یک ساختارقابل قبول بوده وتمام بارهادرآن بصورت مناسبی تغذیه گردند.همچنین ساختار،بایستی امکان تغذیه بارهای مهم ازچندمسیرمختلف رافراهم کند[۹]

۴ - تعیین تابع برازندگی براساس دیدگاه های موردنظر

پس ازگدگذاری متغیرها،تابع برازندگی براساس دودیدگاه مختلف تعریف می‌گردد.

دیدگاه اول : دراکثرتحقیقات انجام شده بهینه سازی شبکه بصورت مرحله‌ای وبعنوان دومسئله مستقل وجداازهم درنظرگرفته‌شده‌است [۲،۱] علت بهینه‌سازی مرحله‌ای شبکه رامی‌توان در توانایی‌هاوقابلیت‌های روش‌های بهینه‌سازی مورداستفاده جستجو کردبه عبارت دیگر درنظر گرفتن هم‌زمان چندهدف (مثلا"بهینه سازی تلفات درکنارتوان راکتیوانتقالی درخطوط)،باعث پیچیده شدن

روند ،حل مسأله شده بطوری که دربسیاری ازمواردعملا"امکان استفاده ازاین روشها وجود ندارد. براساس این دیدگاه ،ابتدابااستفاده ازکروموزوم های گروه اول،بهترین مسیرخطوط سیستم توزیع برای داشتن کمترین تلفات بدست می‌آید .تابع هدف دراین مرحله مجموع تلفات شبکه است . چنانچه مقاومت خطiام برابر r_i و جریان انتقالی درآن I_i باشد تابع هدف F_1 که باید دراین مرحله حداقل گرددبه صورت زیرخواهدبود .

$$F_1 = \sum B_i \cdot I_i^2 \qquad (۱)$$

بنابراین مقداربرازندگی Fit_1 می توان به صورت زیردرنظرگرفت .

$$Fit_1 = K_1 / F_1 \qquad (۲)$$

K_1 یک مقدارثابت است .پس ازیافتن ساختاری باحداقل تلفات ،بااستفاده ازکروموزوم های گروه دوم به بهینه سازی توان رآکتیوانتقالی درخطوط پرداخته می شود.بدین‌ترتیب که بروی ساختاربدست‌آمده ازمرحله قبل وباروش الگوریتم ژنتیک ،نصب خازنهاوتنظیم آنهابه‌نحوبهینه انجام می‌گیرد. بنابراین تابع هدف دراین مرحله ،کل توان رآکتیوانتقالی درخطوط‌است.چنانچه رآکتانس خطiام برابرباX_i باشد،تابع هدفF_2 چنین بیان می‌شود.

$$F_2 = \sum B_i \cdot X_i \cdot I_i^2 \qquad (۳)$$

مقداربرازندگی Fit_2 دراین مرحله به صورت زیرخواهدبود(K_2 یک مقدارثابت است).

$$Fit_2 = K_2 / F_2 \qquad (۴)$$

بدین‌ترتیب طی دومرحله بهینه سازی ،مسیرخطوط ومیزان خازنهای نصب شده درباس های موجود درشبکه مشخص خواهدشد. استفاده ازاین دیدگاه درمواقعی مناسب است که شبکه موردنظربسیاربزرگ باشدوامکان بهینه سازی هم زمان شبکه امکان پذیرنباشد.اماباید‌توجه داشت‌که بهینه‌سازی چندمرحله‌ای شبکه ،ممکن است باعث غیرعملی شدن شبکه درهنگام بهره‌برداری و یا بالا رفتن هزینه ها می شود.

به عنوان مثال درنظر گرفتن تلفات به تنهایی امکان عدم تعادل درتوانهای رآکتیو شبکه و یااحتیاج به خازن های بسیاربزرگ رافراهم می آورد .

دیدگاه دوم : اهداف مختلف درطراحی یک سیستم توزیع ازیکدیگرمستقل نمی‌باشند.بعنوان مثال باتغییرمسیرخطوط درسیستم توزیع توان رآکتیو انتقالی درخطوط نیزتغییرمی کند. ازطرف دیگر نصب خازن درشبکه باعث تغییرماتریس ادمیتانس شبکه می شود.بدنبال این تغییر در ماتریس

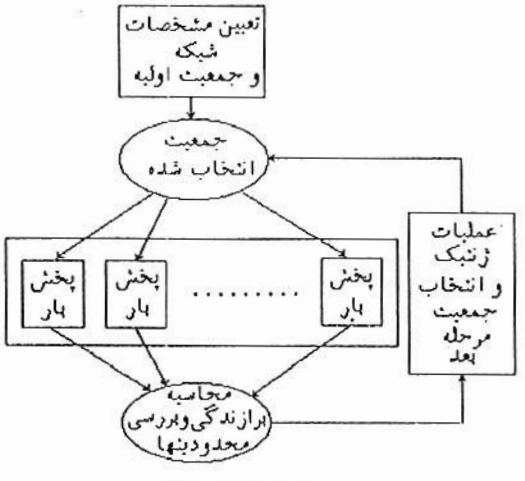
ادمیتانس نتایج متفاوتی درپخش بارنسبت به حالتی که خازن هادرشبکه نصب نشده‌انـد ، بـدست خواهد آمد. به‌عنوان مثال باوجودبانکهای خازنی نصب شده درشبکه جریان خطوط وولتاژ باسها ودرنتیجه تلفات شبکه تغییر مـی کـند. هـمچنین امکـان دارد،تـعدادی ازسـاختارهایی کـه بـدون خازن‌گذاری درمحدودیت های ولتاژ مجازباسها وجریان مجازخطوط صدق نمی کردند ،بـانصب خازن وارد فضای حل‌های ممکن مسأله گردند . بنابراین بهتراست که بهینه سازی شبکه بطورهم زمان و درطی یک مرحله انجام گیرد .بدین ترتیب امکان بهینه‌تربودن شبکه‌ای که بـدین طـریق بـدست آمده‌است نسبت به شبکه ای که درطی چندمرحله بهینه‌سازی بدست آمده‌است ،وجود دارد.براساس این دیدگاه ازهردوگروه کروموزوم برای بهینه سازی استفاده می‌شود .بنابراین دراین حالت تابع هدف F_3 را می توان چنین تعریف کرد.

$$F_3 = \text{Sqrt}\ (F_1^2 + F_2^2) \qquad (۵)$$

مقادیر F_1 و F_2 ازروابط (۱) (۳) بدست می آید .مقداربرازندگی Fit_3 نیز دراین حالت ازرابطه (۶) محاسبه می شود که درآن K_3 یک مقدارثابت است .

$$Fit_3 = K_3 / K_3 \qquad (۶)$$

بابهینه سازی تابع هدف مشخص شده دررابطه (۵) بهینه سازی توابع هدف روابط (۱) و (۳) نیزفراهم می‌شودباید توجه داشت که دردیدگاه دوم فضای جستجو بسیاروسیع ترازدیدگاه اول است . درشکل ۲ ،شمای کلی بکارگیری الگوریتم ژنتیک دربهینه سازی سیستم توزیع ،نشان داده شده است.

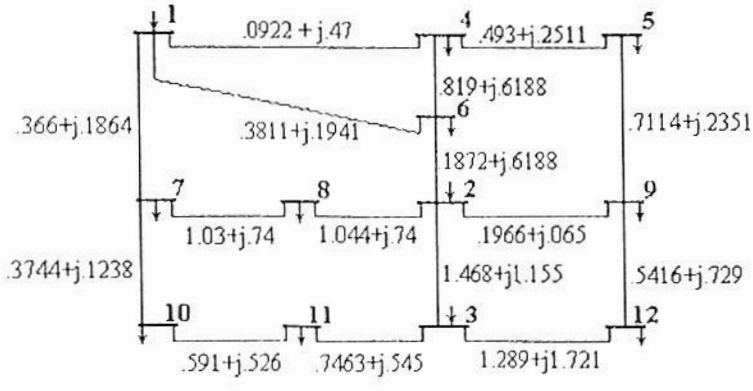


شکل ۲ :شمای کلی الگوریتم

۵ - محاسبات عددی

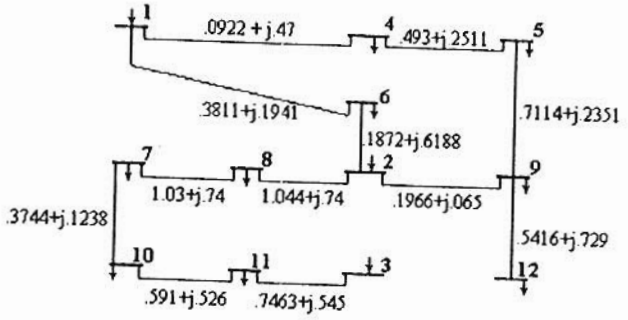
الگوریتم طراحی شده فوق برروی یک شبکه با۱۲ باس که امکان نصب حداکثر ۱۶ خط را دارد،آزمایش گردید. ۳ باس ازاین شبکه ،باس های تولیدوبقیه مربوط به بارهاهستند .شمای‌کلی این شبکه درشکل ۳ نمایش داده شده‌است .به دلیل اهمیت بارهای موجود درنقاط ۴ ،۶ و۷ حداقل تعدادمسیرهای تغذیه برای آنهادومسیرمی باشد .حداکثر افت ولتاژ مجازدرشبکه ۶٪ است وشبکه در ولتاژ ۶/۶ کیلو ولت کارمی کند .حداکثر بانک خازنی قابل نصب روی باسها ۱۰MVAR می تواند باشد. ظرفیت تحمل جریان درخطوط ۲۰۰A می‌باشد .

ازآنجایی که چگونگی انتخاب پارامترهای الگوریتم ژنتیک درسرعت همگرایی روش مؤثر است ، آزمایش های متعددی دراین زمینه انجام شده است .براساس این آزمایشات عمل جابجایی چند نقطه‌ای ، درکروموزوم های گروه اول (که درآن نیمی ازبیت هاامکان جابجایی راداشته باشند) و عمل جابجایی تک‌نقطه‌ای برای کروموزوم های گروه دوم انتخاب شده است .بهترین سرعت همگرایی باانتخاب احتمال‌های عمل جابجایی وجهش درفاصله $P_c \varepsilon [0.8,1]$ و $P_m \varepsilon [0.06,0.1]$ حاصل می شود [۹] معیاری که برای بررسی سرعت همگرایی درنظرگرفته شده تکامل جمعیت کروموزم های یعنی تعدادمراحل تولیدلازم ،برای حداکثرمتوسط بازندگی جمعیت است .



شکل ۳ :شبکه مدل برای آزمایش الگوریتم

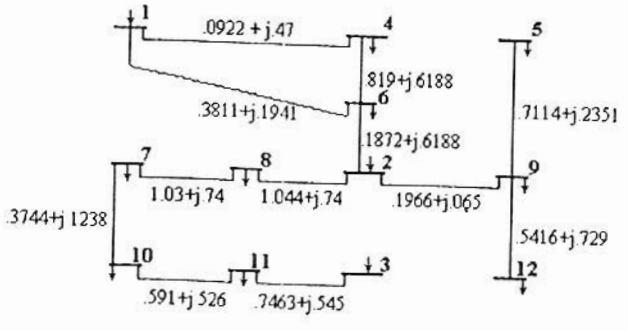
شکل ۴ نتایج حاصل ازاجرای الگوریتم رادرشبکه شکل ۳ ،براساس دیدگاه اول نشان میدهد. میزان تلفات MW ۲۳۴۸ / ۰ وتوان رآکتیوانتقالی MVAR ۱۸۰۲ / ۰است .



شکل ۴ :شبکه بهینه بدست آمده بادیدگاه اول ،میزان خازن های نصب شده درباسها:

$q_2=0.9\ q_3=1.2\ q_5=0.21\ q_6=0.78\ q_7=0.43\ q_{10}=0.17\ q_{12}=0.17$ (MVAR)

درشکل ۵ نیزشبکه بهینه ازاجرای الگوریتم بادیدگاه دوم مشاهده می شود.دراین حالت مقداررآکتیوشبکه نسبت به حالت قبل کاهش یافته است میزان تلفات MW ۲۳۴۸ / ۰ وتوان رآکتیوانتقالی خطوط MVAR ۱۷۳۵ / ۰ است .این نکته قابل توجهاستکه ساختارشکل ۵ ،اگر بدون خازن های نصب شده روی باس هاموردبررسی قرارگیرد،یک ساختارقابل قبول نمی باشدچون محدودیت های ولتاژوجریان ارضانمی شوند .درحالیکه بانصب خازن ،درمحدودیت هاصدق کرده وبه فضای حل های ممکن مسأله واردشده است .همانطورکه مشاهده می شود،توان رآکتیوردیدگاه دوم کمترازدیدگاه اول است ، زیرادرحقیقت بهینه‌سازی توان رآکتیوازهمان ابتداتعیین مسیرخطوط انجام گرفته است .

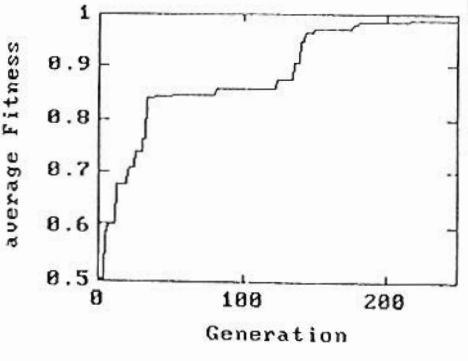


شکل ۵ :شبکه بهینه بدست آمده بادیدگاه دوم ،خازن های نصب شده درباسها:

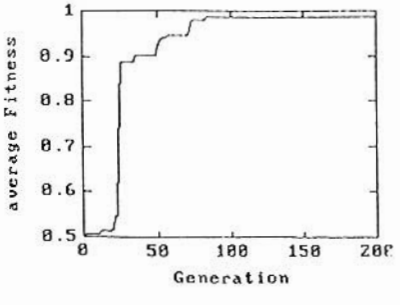
$q_2=0.87\ q_3=1.2\ q_4=0.43\ q_5=0.17\ q_6=0.78\ q_7=0.43\ q_{10}=0.21\ q_{11}=0.87 q_{12}=0.87$ (MVAR)

همچنین ،به منظور افزایش سرعت همگرایی وفرارازنقاط بهینه محلی ،می‌توان ازروش های تغییر وفقی یادینامیکی احتمال های جهش وجابجایی (Adaptive Genetic Algorithm) براساس برازندگی هرکروموزوم درحدودتعیین شده استفاده نمود.شکل های ۶ و۷ ،متوسط برازندگی جمعیت را برحسب تعدادتکرار،به ترتیب بااحتمال جهش وجابجایی ثابت وفقی نشان می دهند .همانطور که دیده می‌شوددرحالت انتخاب وفقی احتمال جهش وجابجایی ،الگوریتم سریع‌تربه پاسخ بهینه همگرامی شود.ازطرف دیگردرمواردی که الگوریتم دریک نقطه برای مدتی متوقف می شودبااعمال تحریک به آخرین‌جواب بدست آمده امکان بررسی نقاط دیگرفضای جستجووفرارازنقاط بهینه محلی فراهم می‌شود.

به منظورمقایسه روش ارائه شده باسایر روشهایی که درتحقیقات دیگرمورداستفاده قرارگرفته‌اند،الگوریتم این تحقیق بادیدگاه های اول ودوم بروی شبکه های مربوط به تحقیقات دیگر،اجراگردیده است .نتایج این آزمایشات نشان می دهدکه روش ارائه شده امکان دستیابی به جواب‌های بهتری رافراهم می کند [۹]



شکل ۶:متوسط برازندگی جمعیت برحسب تعدادتکراربامقادیرثابت Pc = 0.9,Pm = 0.08



شکل ۷ :متوسط برازندگی جمعیت برحسب تکراربااانتخاب وفقی مقادیر Pm و Pc

۶ - نتیجه گیری

دراین مقاله روشی جدیدبرای بهینه سازی ساختارتوزیع ارائه شده است .مزایای روش این تحقیق در مقایسه باسایرروشهای بهینه سازی توزیع نیرومی توان بطورخلاصه چنین بیان کرد.

۱ - بهینه سازی سیستم توزیع بادرنظرگرفتن چندین هدف به صورت هم زمان

۲ - انعطاف پذیری روش درمقابل تغییراهداف بهینه سازی شبکه

۳ - بررسی کارآمد کلیه قسمتهای مختلف فضای جستجوبرای دست یابی به جواب

۴ - حل مسأله بدون هیچگونه تقریب

۵ - سادگی روش درمقایسه باسایرروش های موجوددراین زمینه

۶ - اطمینان ازرسیدن به جواب بهینه مطلق بارعایت شرایط خاص دراستفاده ازالگوریتم ژنتیک

همچنین دراین تحقیق نشان داده شده است که اهداف مختلف درطراحی سیستم توزیع ازیکدیگر مستقل نبوده وبادرنظرگرفتن هم زمان آنهاامکان دست یابی به جوابهای بهتری امکان‌پذیراست .

منابع

[1] M.ponnavaikko, K.S.P. Rao,S.S.Venkata;"distribution System planning Throgh aQuadratic Mixed Integer Programming ";IEEE Trans.on Power Delivery, Vo1.2No.4,Octobr 1987,PP.1157-1163

[2] T. Gonen, J.r. Roado ;"Optiimal-Stage Planning of Power Distridution System";IEEE Trans.on Power Delivery, Vo1.2,No.2, April 1987, pp. 512-519

[3] K. Nara, H. Kuwabara, K. Aoki, M. Kitagawa, T. Ishihara;"Distsibution Systems Expansion Planning dy Multi-Stage Branch Exchange";IEEE Trns. on Power Systems, Vo1.7,No.1,February 1992,pp.208-214

[4] J.T. Boardman, C.C. Meckiff ;"A Branch & Bound Formulation to an Electricity Distributin Planning problem "; IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vo1. 104,No. 8,August 1985, pp.2112-2118

[5]V.Glamocanin;"Optimal Loss Reduction Of Distribution Networks";IEEE Trans.On Power Systems,Vol.5,No.3,August 1990,pp.774-782

[۶] ف.س. هیلیر،ج.ج.لیبرمن ،"برنامه ریزی ریاضیات "،ترجمه محمد مدرس واردوان آصف وزیری ، چاپ رامین ، ۱۳۷۰

[7]G. Rudolph ;"Convergence Analysis Of Canonical Genetic Algorithms";IEEE Trans.OnNeural Networks, Vol.5,No.1,Ganuary 1994,pp.96-101

[8] D.E. Goldberg;"Genetic Algorithms In Search, Optimization ,and Machine Learning"; Addison-Wesley Publishing Company, 1989

[۹] پ.بی تعب ،"طراحی بهینه شبکه های توزیع نیروبااستفاده ازروشهای هوشمند"،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه تربیت مدرس ،۱۳۷۴