یک روش ترکیبی برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال

حمید خراسانی[۱] **مسعود رشیدی نژاد**[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان
khorasani.hamid@gmail.com
۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان
mrashidi@uk.ac.ir

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک ویژه، الگوریتم سازنده ابتکاری، فاز بهبود، وارد کردن نویز به هزینه خطوط

چکیده: در این مقاله با ترکیب الگوریتم سازنده ابتکاری و الگوریتم ژنتیکی ویژه یک روش موثر برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط‌های انحصاری پیشنهاد می شود. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی دارای چندین مشخصه مختص به خود است که آن را مناسب‌تر از دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسئله TEP نشان می‌دهد. مهمترین مشخصه این است که در این الگوریتم فازی به نام فاز بهبود وجود دارد، به این معنی که اگر جواب به دست آمده (کرموزم) پس از مراحل انتخاب، ترکیب و جهش جوابی ناممکن برای مسئله باشد، این جواب تبدیل به جوابی ممکن می‌شود. دراین مقاله به منظور حل مسئله TEP از یک الگوریتم سازنده ابتکاری مناسب در فاز بهبود الگوریتم ژنتیک پیشنهادی استفاده شده است. همچنین با به کارگیری مدل خطی ساده شده و وارد کردن نویز به هزینه خطوط، با روشی جدید، نسل اول با کیفیتی برای الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید. در نهایت مقایسه نتایج بدست آمده با سایر روش‌ها از دید زمان حل مسئله و کیفیت، موثر بودن این روش را تایید می‌کند.

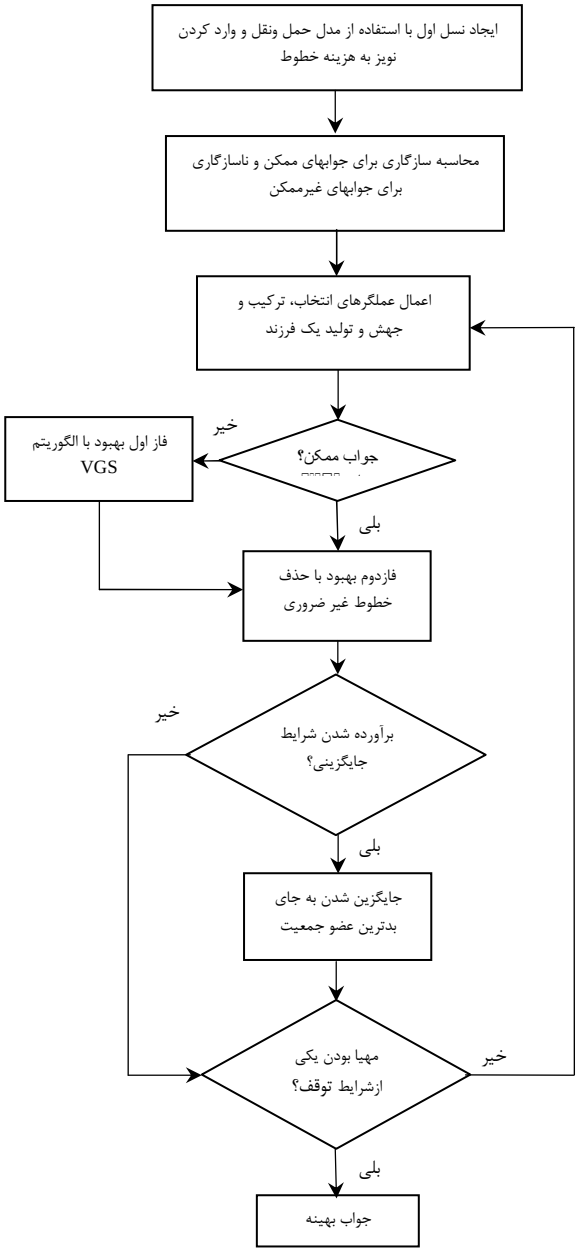
کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک ویژه، الگوریتم سازنده ابتکاری، فاز بهبود، وارد کردن نویز به هزینه خطوط

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۹/۴/۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۹/۱۲
نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر مسعود رشیدی نژاد
نشانی نویسنده‌ی مسئول : دانشکده مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol.9- No.1 Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

۱- مقدمه

شبکه انتقال یکی از اجزای مهم سیستم قدرت است که وظیفه رساندن انرژی الکتریکی از تولید کنندگان به مصرف کنندگان را دارد. با توجه به رشد روافزون بارهای الکتریکی شبکه‌های انتقال نیز باید توسعه یابند. توسعه انتقال باید به موقع و مناسب باشد بطوریکه نیازمندی‌های فنی را برآورده ساخته واقتصادی نیز باشد. به همین منظور توسعه شبکه انتقال از قبل باید برنامه ریزی شود. هدف از برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط‌های انحصاری مشخص کردن محل و تعداد بهینه خطوط جدیدی است که باید به شبکه اولیه اضافه شوند تا شبکه از کیفیت لازم برخوردار باشد به عبارتی قادر باشد بدون قطع بار، توان درخواستی را از منابع تولید به بارها انتقال دهد و در عین حال نیز کمترین هزینه ممکن را در پی داشته باشد. اطلاعات موجود عبارتند از: الگوی تولید و مصرف برای حوزه زمانی مطالعات طراحی، ساختار شبکه موجود، مجموعه خطوط کاندیدا که در این مجموعه، نوع خط با تمام مشخصات مشخص می باشد، هزینه تجهیزات و هزینه‌های تولید. از نظر افق طراحی مساله TEP به دو گروه استاتیک و دینامیک تقسیم می شود. در روش استاتیک که به STEP موسوم است، با حذف عامل زمان و تغییرات آن که بر میزان پیش‌بینی رشد مصرف بار موثر است و بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و غیره، محل و نوع خط انتقال مشخص می شود. این روش به دو سوال کجا و چگونه، در حوزه مطالعات برنامه‌ریزی پاسخ می دهد. اما در روش دینامیکی رفتار سیستم در هر مرحله از طراحی ارزیابی می شود. در این روش طراحی‌های هر مرحله بر مراحل بعدی موثر بوده و تغییراتی را بر آنها اعمال می‌نمایند. انجام این روش مشکل بوده و عملاً کمتر از این روش استفاده می شود. در هر حال روش دینامیکی در خصوص احداث خط و برنامه‌ریزی بخش انتقال سیستم به سه سوال، کی، کجا و چگونه باید جواب مقتضی را ارایه دهد. پیچیدگی و افزونگی مسئله دینامیک، ساده سازی آن برای حصول حل در زمان معقول و ممکن را ایجاب می کند. یکی از ساده ترین روشهای حل مسئله، شکستن آن به زیر بخشهای متعدد و حل هر کدام با استفاده از روشهای استاتیک است. این روشها به شبه دینامیک موسوم هستند. در این مقاله طرح یک مرحله‌ای مد نظر ما است هر چند به راحتی قابل تعمیم به طرح چند مرحله‌ای می‌باشد. مسئله توسعه شبکه انتقال اولین بار توسط گارور در سال ۱۹۷۰ مطرح گردید[1] و از آن پس تکنیکهای متنوعی نظیر شاخه و کران[2]، آنالیز حساسیت[3]، تجزیه بندرز[4]، شبیه‌سازی ذوب فلزات[5]، الگوریتم-های ژنتیک[6]و [7]، برنامه‌ریزی دینامیکی[8] و جستجوی ممنوعه [9] برای مطالعه مسئله توسعه انتقال ارایه گریدند. در این مقاله برای حل مسئله TEP از الگوریتم سازنده ابتکاری و الگوریتم ژنتیک خاصی استفاده خواهد شد. خصوصیات ویژه ای که این الگوریتم دارد، آن را برای حل مسئله TEP به مراتب کاراتر از الگوریتم ژنتیک سنتی نشان می‌دهد.



شکل(۱): نمودار فرایند حل مسئله

از جمله مهمترین این خصوصیات وجود فازی به نام فاز بهبود در این الگوریتم است که در این مقاله از یک نوع الگوریتم سازنده ابتکاری در این فاز استفاده شده است. روند حل مسئله در شکل(۱) نشان داده شده است. مطابق با شکل ۱ ابتدا با استفاده از مدل حمل و نقل وارد کردن نویز به هزینه خطوط، جمعیت اولیه‌ای مناسب برای الگوریتم ژنتیک بدست می‌آید. پس از ساختن جواب اولیه برای الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم با اعمال عملگرهای انتخاب، ترکیب و سپس جهش یک فرزند را به وجود می‌آورد. این فرزند مجدداً توسط الگوریتم سازنده ابتکاری بهبود می‌یابد بدین معنی که اگر نیاز به خط جدید داشت به آن خط اضافه می‌شود. پس از این مرحله کلیه خطوط ترکیب جدید (فرزند) چک شده که اگر خط زیادی به آن اضافه شده بود، حذف شود.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

حال این فرزند در صورتی جزء جمعیت قرار داده می شود که دو شرط داشته باشد: اولاً از بدترین عضو جمعیت، بهتر باشد. ثانیاً با بقیه جواب‌ها متمایز باشد. متمایز بودن اعضای جمعیت از همگرایی الگوریتم ژنتیک در نقاط بهینه محلی جلوگیری می‌کند. در این مقاله از الگوریتم سازنده ابتکاری که توسط آقایان Villasana، Garver وSolan مطرح شد در فاز اول بهبود الگوریتم ژنتیک استفاده خواهد شد[10]. روند مقاله بدین ترتیب می باشد: در قسمت دوم مدل ریاضی مسئله بیان می‌شود. در قسمت سوم الگوریتم سازنده ابتکاری و در قسمت چهارم الگوریتم ژنتیک ویژه مورد بررسی قرار خواهند گرفت و در قسمت پنجم و ششم به ترتیب آنالیز نتایج و نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- مدل سازی ریاضی

چهار مدل ریاضی برای مسئله TEP در محیط انحصاری وجود دارد. از این چهار مدل، سه مدل آن در محیط DC و یک مدل آن در محیط AC است. از آنجا که طراحی برای مدل AC در این مقاله مد نظر نیست، در مورد این مدل بحث نمی شود و سه مدل دیگر که به مدل های DC، حمل و نقل و هیبریدی معروف هستند مورد بحث قرار می‌گیرند.

۲-۱- مدل DC

وقتیکه پخش بار DC قدرت در شبکه های انتقال نیرو مبنای مطالعات برنامه‌ریزی باشد و در افق یکساله یا استاتیک به توسعه شبکه پرداخته شود از مدل ریاضی آن که صورت زیر است، استفاده می شود.

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega} c_{ij} n_{ij} + \alpha \sum_{k} r_k \qquad (۱)$$

$$sf + g + r = d \qquad (۲)$$

$$f_{ij} - \gamma_{ij}(n_{ij}^0 + n_{ij})(\theta_i - \theta_j) = 0 \forall (i,j) \in \Omega_0 \qquad (۳)$$

$$\left| f_{ij} \right| \le (n_{ij}^0 + n_{ij})\, \bar{f}_{ij} \forall (i,j) \in \Omega_0 \qquad (۴)$$

$$0 \le g \le \bar{g} \qquad (۵)$$

$$0 \le n_{ij} \le \bar{n}_{ij} \qquad (۶)$$

$$0 \le r \le d \qquad (۷)$$

در این فرمولها (۷-۱) n_{ij} عدد صحیح و θ بدون حد می باشد. f_{ij} , $\bar{f}_{ij}$, n_{ij} , γ_{ij} , c_{ij} به ترتیب عبارتند از هزینه احداث خط در مسیر $i-j$ سوسپتانس مدار در مسیر $i-j$ تعداد خطهای اضافه شده در مسیر $i-j$ ماکزیمم توان عبوری و توان عبوری از مسیر $i-j$، مجموع سرمایه‌گذاری با v و ماتریس اتصالات مربوط به شاخه-گره با s نشان داده است. g بردار با المانهای g_k، مقدار تولید در باس‌های سیستم قدرت می باشد و $\bar{g}$ بردار ماکزیمم ظرفیت تولید نیروگاه‌ها است. r_k بردار تولید مجازی نیروگاه‌ها و یا به عبارت دیگر میزان مصرفی است که امکان تامین آن توسط نیروگاه‌ها وجود ندارد. هدف نهایی این مدل، کاهش هزینه‌های احداث خطوط جدید و کاهش میزان انرژی تامین نشده در چهار چوب محدودیت‌های فنی و اقتصادی می‌باشد. در این مدل محدودیت شماره دو قانون جریان کیرشهف (KCL)، محدودیت سوم قانون اهم، محدودیت چهارم ظرفیت مجاز خطوط انتقال و محدودیت‌های پنجم، ششم و هفتم ظرفیت تولید، سقف مصرف و حداکثر خاموشی را کنترل می‌کنند. باتوجه به اینکه محدودیت سوم یک محدودیت غیرخطی است و متغیرهای این مسئله (n_{ij}) دارای ماهییت اعداد صحیح می باشند. این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح (MINLP) است.

۲-۲- مدل حمل و نقل

اگر در مدل DC ارایه شده در قسمت قبل محدودیت سوم که بصورت غیرخطی عمل می‌کند غیر فعال شود، یک مدل ساده‌تر و خطی حاصل می‌شود که به مدل حمل و نقل معروف است. حل این مدل و جواب‌های بدست آمده ازآن ضرورتا یک جواب موجه برای مدل DC نخواهد بود. مدل حمل و نقل یک مدل خطی عدد صحیح(MILP) است.

۲-۳- مدل هیبریدی

در واقع مدل هیبریدی، ترکیبی از مشخصات مدل DC و مدل حمل و نقل است. روش‌های مختلفی برای فرموله کردن مدل هیبریدی وجود دارد. جهت استفاده از خاصیت خطی بودن مدل حمل و نقل، فرض می‌شود که معادله دوم در مدل DC برای همه گره‌های شبکه رعایت شود و معادله سوم فقط برای مدارهای موجود ارضا گردد (نه برای مدارهای اضافه شده). اگر معادلات دو وسه بدین صورت درآیند مدل هیبریدی حاصل می گردد.

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega} c_{ij} n_{ij} + \alpha \sum_{k} r_k \qquad (۸)$$

$$sf + s^0 f^0 + g = d \qquad (۹)$$

$$f_{ij}^0 - \gamma_{ij} n_{ij}^0 (\theta_i - \theta_j) = 0 \forall (i,j) \in \Omega_0 \qquad (۱۰)$$

$$\left| f_{ij}^0 \right| \le n_{ij}^0 \bar{f}_{ij} \forall (i,j) \in \Omega_0 \qquad (۱۱)$$

$$\left| f_{ij} \right| \le n_{ij} \bar{f}_{ij} \forall (i,j) \in \Omega \qquad (۱۲)$$

$$0 \le g \le \bar{g} \qquad (۱۳)$$

$$0 \le n_{ij} \le \bar{n}_{ij} \qquad (۱۴)$$

$$0 \le r \le d \qquad (۱۵)$$

تابع (۸) به عنوان تابع هدف مدل فوق از دو جزء تشکیل شده است. جزء اول در واقع تابع هزینه خطوط کاندیدا و جزء دوم میزان انرژی تامین نشده سیستم در چارچوب قیود فنی سیستم می باشد. در این مدل هدف کاهش هزینه احداث خطوط جدید و میزان انرژی تامین نشده می باشد. s_0 ماتریس ترانهاده تلاقی گره و شاخه در سیستم توسعه نیافته است. f_0 بردار پخش بار در سیستم اولیه است و المنتهای آن f_{ij}^0 می باشد. s ماتریس ترانهاده تلاقی کلی سیستم است و f بردار پخش بار در سیستم کلی و المنتهای آن f_{ij} می‌باشند. 0 نشان دهنده سیستم در حالت اولیه می‌باشد. در مدل هیبرید

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol.9-No.1 Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

شارش توان در مدارهای اولیه از مدارهایی که بعداً اضافه می‌شوند متفاوت می‌باشند. شارها در مدار قدیم با f_{ij}^{0} و در مدار جدید با f_{ij} نشان داده شده است که این‌ها با هم متفاوت می‌باشند. در مدل ارایه شده تنها مدارها در حالت اولیه بایستی قانون KVL را برآورده سازند. این محدودیت در رابطه (۱۰) نشان داده شده است.

۳- الگوریتم سازنده ابتکاری

در این قسمت مفهوم الگوریتم سازنده ابتکاری به طور کامل توضیح داده خواهد شد. الگوریتم سازنده ابتکاری الگوریتمی قدرتمند و پرکاربرد در حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال می‌باشد که سرعت بالا و مقاوم بودن از ویژگی‌های منحصر به فرد آن است. بر طبق این الگوریتم مسئله توسعه شبکه انتقال با یک فرایند تکراری حل می‌شود. بدین ترتیب که در هر مرحله مهمترین خط از بین خطوط کاندید با استفاده ازمعیاری به نام شاخص حساسیت شناسایی شده و به شبکه اضافه می‌شود. سپس شبکه با اضافه شدن این خط به روز شده و مراحل دو باره تکرار می‌شوند. روند اضافه شدن خطوط تا جایی ادامه پیدا می‌کند تا دیگر شبکه نیاز به خط جدید نداشته باشد. در پایان این مراحل یک توپولوژی با کیفیت قابل قبول برای شبکه انتقال به دست می‌آید. روند حل مسئله با این الگوریتم طبق مراحل زیر می‌باشد:

۱_ توپولوژی پایه شبکه را به عنوان آخرین توپولوژی فرض شده و مدل ریاضی مسئله انتخاب می‌شود..

۲_ بسته به مدل ریاضی یک مدل خطی (LP) یا غیرخطی (NLP) حل شده تا پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص حساسیت به دست آیند. اگر شاخص حساسیت مورد استفاده بیان می کند که شبکه نیاز به خط جدید ندارد فرایند اضافه کردن خط متوقف شده و مرحله ۴ اجرا می شود.

۳_ با استفاده ازشاخص حساسیت مهمترین خط شناسایی شده، این خط به شبکه اضافه شده، شبکه به روز شده و مرحله ۲ اجرا می‌شود.

۴_ خطوط اضافه شده به شبکه به ترتیب نزولی قیمت مرتب شده، اولین خط از شبکه بیرون کشیده شده و یک LP برای مسئله حل می‌شود. اگر خارج کردن این خط از شبکه برای شبکه مشکل ایجاد نکرد خط از شبکه بیرون نگه داشته می‌شود در غیر این صورت خط حفظ می‌شود. این روند ادامه پیدا کرده تا تمام خطوط تست شوند.

همانطور که از روند حل مسئله مشخص است تشخیص مهمترین خط در هر مرحله برای اضافه کردن آن به شبکه با معیاری به نام شاخص حساسیت انجام می‌گیرد. بنابراین در این نوع الگوریتم‌ها شاخص حساسیت نقشی کلیدی را بازی می کند بطوری که هر تعریفی از آن جوابی با توپولوژی متفاوت ارایه می‌دهد. تاکنون درمقالات زیای برای حل مسئله توسعه شبکه انتقال از الگوریتم‌های سازنده ابتکاری استفاده شده است که هر کدام از آنها معیار مختلفی را برای تعریف شاخص حساسیت به کار برده‌اند. اما همه آن‌ها را می‌توان در دو گرو کلی جای داد:

- الگوریتم‌هایی که از عملکرد الکتریکی سیستم برای تعریف شاخص حساسیت استفاده می‌کنند.
- الگوریتم‌هایی که از مدل ریلکس شده ریاضی مسئله برای تعریف شاخص حساسیت استفاده می‌کنند.

الگوریتم‌هایی مانند کمترین مقدار قطع بار[11] وکمترین تلاش[12] جزگروه اول و الگوریتم‌هایی مانند گارور[1] و VGS[10] جزء گروه دوم هستند. علاوه بر این الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های دیگری هم وجود دارند که از مدل ریاضی کامل DC و AC استفاده می‌کنند[13,14] اما اسم خاصی برای آنها آورده نشده است. این الگوریتم ها هم جز گروه دوم هستند. الگوریتم کمترین مقدار قطع بار می‌کوشد در هر مرحله خطی را شناسایی کند که بیشترین مقدار قطع بار را در آن مرحله از شبکه بزداید پس برای این الگوریتم شاخص حساسیت، میزان کاهش قطع بار تعریف می‌شود. الگوریتم کمترین تلاش می‌کوشد در هر مرحله خطی را شناسایی کند که بهترین پخش بار را برای سیستم نتیجه می‌دهد. به عبارتی این الگوریتم خطی را شناسایی می‌کند که ازتعداد خطوط بیشتری اضافه بار را بزداید. پس برای این الگوریتم هم شاخص حساسیت تعداد خطوطی است که اضافه بار از آن‌ها گرفته شده است. امتیاز دو الگوریتم متعلق به گروه اول ارایه جواب‌های ممکن برای مدل DC و عیب آنها عدم دخالت دادن قیمت خطوط در تصمیم‌گیری برای انتخاب مهمترین خط به منظور اضافه کردن به شبکه و در نتیجه دور شدن از جواب بهینه می‌باشد. از الگوریتم‌هایی که مدل ریاضی مسئله را به کار می‌برند الگوریتم گارور است. الگوریتم گارور از مدل حمل و نقل (TM) استفاده می‌کند. روند حل مسئله با این الگوریتم به این ترتیب است که پس از ریلکس کردن متغیر n_{ij} مدل انتقال که یک مدل خطی آمیخته با اعداد صحیح است تبدیل به یک مدل خطی ساده می‌شود. حال در هر تکرار یک بار مسئله خطی حل شده تا پارامترهای مورد نیاز شاخص حساسیت که به صورت (۱۶) تعریف می شود به دست آیند.

$$IS_{ij} = \max\{n_{ij}\, \bar{f}_{ij}, n_{ij} \neq 0\} \qquad (۱۶)$$

مدل گارور دو مشکل اساسی داشت: اول اینکه توپولوژی به دست لزوما یک جواب ممکن برای مدل DC نبود، بدین معنی که وقتی جواب به دست آمده با مدل DC تست می شد سیستم دچار قطع بار می شد. دوم اینکه در مراحلی که n_{ij} به دست آمده از حل مسئله LP خیلی کوچک می شد (معمولا در مراحل آخر) درانتخاب مهمترین خط اشتباه رخ می‌داد. از دیگر الگوریتم‌های متعلق به گروه دوم الگوریتم VGS است. مدل ریاضی استفاده شده در این الگوریتم مدلی جدید به نام مدل هیبریدی بود. اصلی‌ترین حسن این الگوریتم ارایه جواب‌های ممکن برای مدل DC بود. از جمله الگوریتم‌های ابتکاری مهم دیگر را می توان در مراجع [15,16] پیدا کرد. دراین مقاله از الگوریتم گارور برای ساختن جمعیت اولیه و از الگوریتم VGS برای بهبود جواب‌ها استفاده شده است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.9- No.1 Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

۴- الگوریتم ژنتیک ویژه

الگوریتم ژنتیک در واقع روشی فراابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی می‌باشد. مانند همه الگوریتم‌های فراابتکاری این الگوریتم نیز از قوام بالایی برخوردار است و مخصوصا وقتی ابعاد مسئله بزرگ می‌شود، جایی که روش های کلاسیک مانند تجزیه بندر و الگوریتم شاخه و کران به مشکل برخورد می کنند کارایی خود را بیشتر نشان می‌دهد. به عنوان مثال برای حل مسئله TEP وقتی از مدل حمل ونقل استفاده می‌شود در سیستم های بزرگ تجزیه بندر به ندرت همگرا شده[4] و الگوریتم شاخه و کران زمان زیادی را برای همگرا شدن نیاز دارد[17] در حالی که الگوریتم ژنتیک برای همان مسئله جوابی با کیفیت به مراتب بالاتر و در زمانی کوتاه‌تر ارایه می‌دهد[7]. الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط هلند فرمول‌بندی شد[18]. اگر نظر علم ریاضی الگوریتم ژنتیک روشی است که می تواند برای مسائل بهینه‌سازی با ابعاد بزرگ که دارای جواب‌های بهینه محلی زیادی هستند، با احتمال بالا جواب بهینه را به دست آورد[19,20]. در این مقاله از الگوریتم ژنتیکی خاص برای حل TEP استفاده می‌شود. این الگوریتم چندین مشخصه مختص به خود دارد از جمله ۱) اعضاء جمعیت به دو دسته ممکن و غیرممکن تقسیم می‌شوند. برای بیان ارزش جواب‌های ممکن معیاری به نام سازگاری و برای جواب‌های ناممکن معیاری به نام ناسازگاری تعریف می شود. ۲) بر خلاف الگوریتم ژنتیک سنتی در هر تکرار تنها یک فرزند به وجود آمده و به جمعیت اضافه می‌شود. ۳) مرحله ای به نام بهبود وجود دارد که فرزند پس از عبور از این مرحله به جمعیت اضافه می‌شود. ۴) جواب‌های غیرممکن دور انداخته نمی‌شوند بلکه در سراسر محاسبات شرکت می‌کنند. این روند تا جایی پیش می‌رود تا همه اعضاء جمعیت به جواب‌های ممکن تبدیل شوند. از این مرحله به بعد تنها اعضایی به جمعیت زیاد شده یا جایگزین می‌شوند که از بدترین عضو جمعیت بهتر باشند.

در الگوریتم استفاده شده چندین ویژگی جود دارد که آن را مناسب‌تر از دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل TEP نشان می دهد، از جمله: ۱) اعضا جمعیت با هم متفاوت هستند این ویژگی باعث می‌شود الگوریتم در نقاط بهینه محلی همگرا نشود. ۲) وقتی تعداد جواب‌های ممکن کافی نباشد جواب‌های غیرممکن هم در تولید نسل شرکت می‌کنند. ۳) مرحله‌ای به نام بهبود وجود دارد که در حل TEP بسیارموثر است. ۴) جایگزینی منطقی وجود دارد به این معنی که تنها وقتی عضوی از جمعیت حذف می‌شود که فرزندی با ویژگی‌های بهتر به وجود آمده باشد. این نوع جایگزینی می‌تواند از نخبه‌گرایی هم موثرتر باشد.

۴-۱- کدسازی

یکی از مهمترین فاکتورها در نمایش یک راه‌حل کدسازی آن است. کدسازی مطلوب ممکن است از پیچیدگی‌های مسئله بکاهد و بر عکس کدسازی نامطلوب بر پیچیدگی‌های مسئله می‌افزاید. یک کرومزم می‌تواند راه‌حلی برای مسئله بهینه‌سازی باشد یا به عبارتی بهتر توپولوژی تشکیل شده از خطوط انتقال است که با توجه به قیمت پیشنهادی می‌تواند به سیستم اضافه شود. در یک مسئله بهینه‌سازی کروموزوم‌ها بوسیله یک بردار از ژن‌ها تشکیل می‌شوند هر ژن نماینده یک خط انتقال است. بنابراین هر بردار از خطوط انتقال جدید تشکیل شده است که می‌تواند به سیستم اضافه شوند تا سیستم از عملکرد مطلوبی برخوردار گردد. مقدار هر عضو این بردار می‌تواند از صفر تا مقدار ماکزیمم خطوط تغییر کند. یک نمونه از این جواب‌ها در شکل(۲) نشان داده شده است.

۱-۲	۲-۳	۲-۴	۳-۵	۵-۶
۱	۲	۰	۱	۳

شکل(۲): یک نمونه جواب برای TEP

این جواب نشان می‌دهد که بین باس ۱ به ۲ یک خط، بین باس ۲ به ۳ دو خط، بین باس ۲ به ۴ صفر خط، بین باس ۳ به ۵ یک خط و بین باس ۵ به ۶ سه خط به شبکه اضافه شده است. روش ارایه شده در این مقاله می‌تواند با خطوط انتقال متفاوت بین باس‌ها کار کند. در اینجا فرض می‌شود خطوط انتقال جدید همانند خطوط انتقال نصب شده باشد. تعداد کروموزوم‌ها در مسئله بستگی به سایز مسئله دارد.

۴-۲- انتخاب نسل اول

تولید جواب‌های اولیه جهت شروع به کار الگوریتم ژنتیک می تواند رندوم باشد یا بوسیله مدل‌های ساده شده تولید شود. تولید رندوم ممکن است در مسایل بزرگ باعث دوری جواب از مقدار بهینه شود، لذا در این مقاله با روشی جدید و سریع که تاکنون در سیستم‌های قدرت استفاده نشده جواب‌های اولیه باکیفیتی تولید می‌شوند. این جواب‌ها با اضافه کردن نویز به قیمت خطوط حاصل می‌شوند. برای تولید هر جواب نویزی متفاوت به قیمت خطوط اضافه می‌شود و یک بار مدل حمل و نقل خطی شده حل می‌شود و توپولوژی جدیدی معرفی می‌گردد. میزان اغتشاش به متغیرهای w_1 و w_2 در معادله (۱۷) بستگی دارد. هر چه w_1 بزرگتر و w_2 کوچکتر باشد جواب‌های متفاوت‌تری تولید می‌شوند. فرمول‌بندی مدل حمل و نقل با اضافه کردن نویز به قیمت خطوط به صورت زیر می‌باشد.

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega}(w_1 c_r + w_2 c_{ij}) n_{ij} \qquad (۱۷)$$

$$sf + g + r = d \qquad (۱۸)$$

$$\left| f_{ij} \right| \le (n_{ij}^0 + n_{ij})\, \bar{f}_{ij} \forall (i,j) \in \Omega_0 \qquad (۱۹)$$

$$0 \le g \le \bar{g} \qquad (۲۰)$$

$$0 \le n_{ij} \le \bar{n}_{ij} \qquad (۲۱)$$

متغیرها قبلا تعریف شده‌اند. با وجود آنکه n_{ij} یک متغیر گسسته است اما در این معادله به صورت یک متغیر پیوسته در نظر گرفته می‌شود تا این معادله به یک معادله خطی ساده تبدیل شود. حال که این مسئله به یک مسئله خطی تبدیل شده است می توان آن را با یک

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol.9-No.1 Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

حلگر مناسب حل کرد. برای تولید هر جواب اولیه، این مسئله یک‌بار و هر بار با اضافه کردن اغتشاشی متفاوت حل می‌شود. بعد از حل مسئله، برای هر مسیر عددی برای n_{ij} بدست می‌آید که این عدد یک عدد حقیقی است. با توجه به آنکه تعداد خطوط بایستی به صورت اعداد صحیح باشند این اعداد به اعداد صحیح گرد می‌شوند. یک نمونه از این جوابها در شکل(۲) نشان داده شده است.

۴-۳- تابع هدف و سازگاری

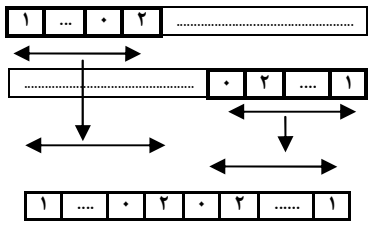
پس از تولید جواب‌های اولیه، امکان‌پذیر بودن یا نبودن آنها می‌تواند به راحتی با حل LP مشخص شود. جواب ممکن جوابی است که وقتی با مدل DC تست می‌شود میزان قطع بار آن صفر باشد. برای چنین جوابی سازگاری با میزان هزینه سرمایه‌گذاری سنجیده می‌شود. جواب غیرممکن وقتی با مدل DC تست می‌شود قطع بار دارد. برای جواب-های غیرممکن ناسازگاری تعریف می‌شود که این ناسازگاری با میزان قطع بار سنجیده می‌شود. درحل مسایل بهینه‌سازی مقید با GA جواب‌های غیرممکن یا دور انداخته می‌شوند یا در جواب‌های ممکن ادغام می‌شوند. اما درالگوریتم پیشنهادی جواب‌های ممکن با معیاری به نام سازگاری و جواب‌های غیر ممکن با معیاری به نام ناسازگاری ارزش‌دهی می‌شوند و هر کدام از این دو نوع جواب‌ها در جایی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. نکته اینکه در همه مراحل الگوریتم از جمله انتخاب و جایگزینی، جواب‌های ممکن همواره ارزش بیشتری نسبت به جواب‌های غیر ممکن دارند حتی اگر هزینه برای آنها بیشتر باشد.

۴-۴- انتخاب

پروسه انتخاب یک پرسه رقابتی بین والدین است. هر یک از والدین تلاش می‌کنند تا در مسابقه برای انتخاب شدن برنده شوند. روند انتخاب به این صورت است که ابتدا تعداد K عضو از جمعیت به طور رندوم برای مسابقه دادن انتخاب می‌شوند. توضیح اینکه هر یک از اعضا جمعیت در این مرحله شانس یکسانی برای انتخاب شدن دارند. سپس بین K عضو انتخاب شده رقابتی برپا می‌شود تا دو یا سه عضو برای ترکیب انتخاب شوند. اعضا انتخاب شده باید با هم متفاوت باشند. رقابت بین K عضو به این صورت است که ابتدا عضوی برنده می شود که سازگاری بهتری داشته باشد. به عبارتی کروموزم از بین جواب‌های ممکن انتخاب می‌شود و در صورتی که تعداد اعضاء ممکن درون مجموعه K از سه عدد کمتر باشد به ناچار از بین جوابهای ناممکن کروموزم یا عضوی که ناسازگاری بهتری(میزان قطع بار کمتر) دارد برای ترکیب انتخاب می‌شود. برای مسایل بزرگ زیاد کردن اعضاء جمعیت و به تبع آن زیاد کردن اعضاء انتخاب شده برای رقابت در سرعت همگرایی مسئله می‌تواند موثر باشد.

۴-۵- ترکیب

در مرحله ترکیب دو یا سه عضو انتخاب شده با هم ترکیب می‌شوند و تنها یک فرزند را به وجود می‌آورند. اگر تعداد اعضاء انتخاب شده برای ترکیب دو عدد باشد از همبری تک نقطه‌ای استفاده می‌شود و اگر سه باشد از همبری دو نقطه‌ای استفاده می‌شود. این نقطه یا نقاط به صورت رندوم انتخاب می‌شود. شکل (۳): نمونه ای از ترکیب تک □□□ ای نشان می دهد.



شکل (۳): نمونه ای از ترکیب تک نقطه ای

۴-۶- جهش

در الگوریتم ژنتیک جهش به خاطر تنوع در جمعیت به وجود می‌آید. در اینجا نقطه جهش به صورت رندوم انتخاب می‌شود. در صورتی که جهش در خانه‌ای رخ دهد که عدد خانه صفر است یک واحد به آن اضافه می‌شود و در صورتی که عدد این خانه ماکزیمم مقدار ممکن خود را داشته باشد یک واحد از آن کم می‌شود و اگر عدد خانه منتخب بین این دو مقدار باشد شانس برابری برای اضافه شدن یا کم شدن به میزان یک واحد دارد.

۴-۷- بهبود فرزند

مرحله بهبود مهمترین شاخص برتری الگوریتم استفاده شده برای حل TEP نسبت به GA سنتی است. بسته به نوع فرزند بهبود می‌تواند در یک یا دو مرحله صورت پذیرد. در صورتی که فرزند جوابی ناممکن برای مسئله باشد نیاز به دو مرحله بهبود دارد. در مرحله اول با استفاده از الگوریتم VGS میزان قطع بار آن در چند مرحله با زیاد کردن خطوط لازم به آن گرفته می شود. در مرحله دوم بهبود که همان مرحله چهارم الگوریتم سازنده ابتکاری است خطوط غیر ضروری از ترکیب حذف می‌شوند. نحوه حذف خطوط غیر ضروری به این صورت است که خطوط اضافه شده به شبکه را به ترتیب نزولی قیمت مرتب کرده، اولین خط را از شبکه بیرون کشیده و LP زیر را برای آن حل می‌کنیم.

$$\min \ \nu = \sum_s r_s$$

$$sf + g = d \qquad (\square\square)$$

$$f_{ij} - \gamma_{ij} n^1_{ij} (\theta_i - \theta_j) = 0$$

$$|f_{ij}| \le (n^1_{ij}) \overline{f_{ij}}$$

$$0 \le g \le \overline{g}$$

در مدل بالا n_{ij}^1 به صورت $n^0_{ij}+n_{ij}$ تعریف می شود. که در اینجا n^0_{ij} و n_{ij} ترتیب توپولوژی اولیه سیستم و خطوط اضافه شده به سیستم می باشد. حال اگر خارج کردن این خط از شبکه برای شبکه

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

مشکل ایجاد نکرد یعنی میزان قطع بار به دست آمده از حل LP صفر شد خط را از شبکه بیرون می‌کشیم در غیر این صورت خط را حفظ می‌کنیم و به سراغ خط بعدی می رویم. اگر فرزند جوابی ممکن برای مسئله باشد فقط فاز دوم بهبود (حذف خطوط غیر ضروری) بر روی آن انجام می‌گیرد.

۴-۸- جایگزینی

در الگوریتم ژنتیک سنتی در هر تکرار نسل به وجود آمده بدون توجه به سازگاری تقریبا بطور کامل جایگزین نسل قبلی می‌شود اما در الگوریتم پیشنهادی روند جایگزینی متفاوت است. در این الگوریتم در هر مرحله تنها یک فرزند به وجود می‌آید و در صورتی در جمعیت قرار داده می شود که دو شرط زیر را داشته باشد:

- از بدترین عضو جمعیت بهتر باشد
- با دیگر اعضا جمعیت متفاوت باشد.

در این صورت فرزند جایگزین بدترین عضو جمعیت می شود. متفاوت بودن اعضاء جمعیت از توقف GA در نقاط بهینه محلی جلوگیری می‌کند.

۴-۹- شرط توقف

الگوریتم پیشنهادی در صورتی متوقف می شود که یکی از دو شرط زیر اتفاق افتاده باشد:

- اینکه تعداد تکرارها به پایان رسیده باشد.
- بهترین عضو جمعیت در تعداد تکرار خاصی که بسته به ابعاد مسئله دارد بهبود پیدا نکرده باشد.

۵- سیستم های مورد مطالعه

در حل مسئله TEP دو نوع طراحی مد نظر است: طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها و طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها. در طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها، مقدار تولید ژنراتورها از قبل مشخص است و قابل تغییر یا به عبارتی برنامه‌ریزی مجدد نیست. اما در طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها مقدار تولید ژنراتورها یک مقدار از قبل مشخص شده نیست و این مقدار پس از حل مسئله بدست می‌آید. در این قسمت هر دو نوع طراحی برای سیستم شش باسه گارور، سیستم ۲۴ باسه IEEE و سیستم ۴۶ باسه جنوب برزیل با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی انجام می‌گیرد ونتایج ارایه می‌شود. برنامه‌نویسی در محیط MATLAB انجام گرفته و به منظور حل مسئله خطی از حلگر linprog در این محیط استفاده شده است. سیستم استفاده شده دارای CPU ۲/۲ گیگا هرتز و RAM ۴ گیگابایت می‌باشد.

۵-۱- سیستم گارور

سیستم گارور یکی از شبکه‌های انتقال نیرو است که به عنوان آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد و جزء شبکه‌های مبنا در زمینه شبکه‌های انتقال نیرو مطرح است. اطلاعات مربوط به این سیستم را می توان در مرجع[21] یافت. در مورد سیستم گارور تعداد جمعیت اولیه برابر با ۱۰، تعداد اعضاء ترکیب برابر با ۲ و تعداد تکرارها برابر با ۵۰ انتخاب شد. همچنین در این مورد از همبری تک نقطه‌ای استفاده شد.

۵-۱-۱- طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها

برای سیستم گارور در ابتدا نحوه تولید نسل اول الگوریتم ژنتیک با یک مثال توضیح داده می‌شود. به این منظور برداری رندوم با سایز تعداد مسیرهای شبکه تولید می‌شود. هر کدام از عناصر این بردار عددی رندوم بین ۰ و ۱ است. به عنوان مثال بردار رندوم زیر با طول ۱۵ برای سیستم گارور تولید می‌شود.

C = [۰/۹۱ ۰/۴۷ ۰/۱۴ ۰/۲۲ ۰/۷۵ ۰/۰۸ ۰/۳۱ ۰/۱۶ ۰/۲۱ ۰/۲۸ ۰/۶۴ ۰/۱۹ ۰/۵۳ ۰/۳۶ ۰/۵۵]

همانگونه که مشخص است این بردار شامل ۱۵ عضو و هر عضو آن عددی رندوم بین صفر و یک است. حال این بردار رندوم در عددی اسکالر ضرب می شود. این عدد می‌تواند قیمت یکی از خطوط کاندید باشد. به عنوان مثال قیمت خطی که باس ۳ را به ۵ وصل می‌کند، ۲۰ است. بنابراین با انتخاب این خط خواهیم داشت:

$$C_r = 20 \times C \qquad (۲۳)$$

حال با در نظر گرفتن تاثیر نویز به میزان ۱۰٪ در قیمت هر مسیر قیمت کلی موثر در تابع هدف (۱۷) به صورت زیر تعریف می شود:

$$w_1 \times C_r + w_2 \times C = 0.1 \times C_r + 0.9 \times C \qquad (۲۴)$$

که در این معادله C بردار هزینه خطوط است. حال که ضرایب تابع هدف به دست آمد، یک بار مسئله خطی (ارایه شده در قسمت ۲-۴) حل شده و جواب زیر برای خطوط به دست می‌آید:

[۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰/۶۸۹۷ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰/۵۱۰۳ ۰ ۰ ۲/۱۵۲ ۰/۴۴۶]

حال این جواب را گرد کرده تا یکی از اعضا جمعیت به دست آید:

[۰ ، ۰ ، ۲ ، ۰ ، ۰ ، ۱ ، ۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰ ، ۱ ، ۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰]

این جواب یکی از اعضاء جمعیت اولیه است و نشان می دهد که به خطوط ۶، ۱۱ و ۱۴ باید به ترتیب ۱، ۱ و ۲ خط اضافه شود. منظور از خط ۶ خطی است که باس۲ را به باس۳، خط ۱۱ باس ۳ را به ۵ و خط ۱۴ باس ۴ را به ۶ وصل می‌کند. پس از ایجاد نسل اول، حل مسئله همانند چارت شکل(۱) است. در نهایت برای طراحی با برنامه‌ریزی مجدد، هزینه طرح به دست آمده برابر با ۱۱۰ میلیون دلار است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol.9-No.1 Spring & Summer 2012
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

این حواب، جواب بهینه برای سیستم گارور می‌باشد. ترکیب خطوط اضافه شده به شبکه اولیه در این حالت به این صورت می‌باشد:

$$n_{3\text{-}5}=1,\ n_{4\text{-}6}=3$$

۵-۱-۲- طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها

برای طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد هزینه طرح به دست آمده برابر با ۲۰۰ میلیون دلار است. این حواب، جواب بهینه برای سیستم گارور می‌باشد. ترکیب خطوط اضافه شده به شبکه اولیه در این حالت به این صورت می‌باشد:

$$n_{2\text{-}6}=4,\ n_{3\text{-}5}=1,\ n_{4\text{-}6}=2$$

۵-۲- سیستم ۲۴ باسه IEEE

این شبکه، دارای چهل ویک خط کاندید و تقاضای کل ۸۵۵۰ مگاوات است و امکان اضافه نمودن حداکثر سه خط جدید به موازات خطوط جدید وجود دارد. تعداد ده ژنراتور برق مصرفی این شبکه را تأمین می‌کنند. اطلاعات مربوط به این سیستم در مرجع[13] آمده است. در مورد این سیستم تعداد جمعیت اولیه برابر با ۲۰، تعداد اعضاء ترکیب برابر با ۳ و تعداد تکرارها برابر با ۱۰۰ انتخاب شد. همچنین در این مورد از همبری دونقطه‌ای استفاده شد.

۵-۲-۱- طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها

برای طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها هزینه طرح به دست آمده برابر با ۱۵۲ میلیون دلار است. این حواب، جواب بهینه برای سیستم ۲۴باسه می‌باشد. ترکیب خطوط اضافه شده به شبکه اولیه در این حالت به این صورت می‌باشد:

$$n_{6\text{-}10}=1,\ n_{7\text{-}8}=2,\ n_{10\text{-}12}=1,\ n_{14\text{-}16}=1$$

۵-۳- سیستم ۴۶ باسه جنوب برزیل

این شبکه یک شبکه ۴۶ باسه، دارای هفتاد و نه خط کاندید و تقاضای کل ۶۸۸۰ مگاوات بار می‌باشد اطلاعات کامل مربوط به خطوط و باسهای این سیستم در مرجع[17] آمده است. در مورد این سیستم تعداد جمعیت اولیه برابر با ۲۰، تعداد اعضاء ترکیب برابر با ۳ و تعداد تکرارها برابر با ۲۰۰ انتخاب شد. همچنین در این مورد از همبری دو نقطه‌ای استفاده شد.

۵-۳-۱- طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها

در مدل طراحی با برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها هزینه به دست آمده برای طرح یافت شده در این مقاله ۷۲۸۷۰میلیون دلار است. ترکیب خطوط اضافه شده به سیستم عبارتند از:

$$n_{2\text{-}5}=1,\ n_{5\text{-}6}=2,\ n_{13\text{-}20}=1,\ n_{20\text{-}21}=2,\ n_{20\text{-}23}=1,$$
$$n_{42\text{-}43}=1,\ n_{46\text{-}6}=1$$

۵-۳-۲- طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها

در طراحی بدون برنامه‌ریزی مجدد ژنراتورها، هزینه طرح به دست آمده در این مقاله۱۶۳۱۷۱میلیون دلار و ترکیب خطوط به دست آمده بدین شرح می باشد:

$$n_{20\text{-}21}=1,\ n_{42\text{-}43}=1,\ n_{46\text{-}6}=1,\ n_{25\text{-}32}=1,\ n_{31\text{-}32}=1,$$
$$n_{28\text{-}31}=1,\ n_{31\text{-}41}=1,\ n_{24\text{-}25}=2,\ n_{40\text{-}41}=1,\ n_{5\text{-}6}=2,n_{23\text{-}24}=1$$

در مورد این طرح هنوز جواب بهینه آن به دست نیامده است ولی این جواب بهترین جوابی است که تا امروز به دست آمده است.
در پایان مقایسه تعداد LPهای حل شده تا رسیدن به جواب بهینه در جدول و همچنین توسط زمان حل مسئله در جدول آمده است.

جدول

جدول (۱): تعداد LPهای حل شده تا رسیدن به جواب بهینه

روش حل مسئله	گارور بدون برنامه‌ریزی	گارور با برنامه‌ریزی	۴۶ باسه با برنامه‌ریزی
EGA[23]	۷۰۰ -۱۰۰۰	۵۰۰ - ۷۵۰	۳۵۰۰ - ۴۵۰۰
SA[23]	۱۰۰۰ – ۱۳۰۰	۸۰۰ - ۱۰۰۰	۴۰۰۰ - ۵۰۰۰
TS[23]	۶۰۰ - ۷۰۰	۴۰۰ - ۵۰۰	۴۱۰۰ - ۶۹۰۰
TS-SA[23]	۶۰۰ - ۷۰۰	۳۶۰ - ۴۷۰	۱۷۰۰ - ۲۵۰۰
TS-EGA[23]	۵۰۰ - ۶۲۰	۳۰۰ - ۵۰۰	۱۴۰۰ - ۱۹۰۰
TS-SA-EGA[23]	۵۵۰ - ۷۰۰	۳۳۰ - ۴۶۰	۱۴۵۰ - ۲۰۰۰
الگوریتم پیشنهادی	**۵۵ – ۷۰**	**۴۰ – ۱۲۰**	**۸۰ – ۱۲۰۰**

جدول (۲): متوسط زمان حل مسئله

IEEE 24-bus	گارور	روش حل مسئله

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

	با برنامه‌ریزی (sec)	بدون برنامه-ریزی (sec)	با برنامه‌ریزی (sec)
SA[24]	۵۹/۹۰۸۵	۱/۱۳۹۴	۸۷۸/۶۶۶۹
GA[24]	۶۰/۲۱۱۵	۱/۲۹۸۷	۸۶۷/۳۳۶۶
TS[24]	۶۲/۶۶۸۷	۱/۲۷۷۳	۹۰۵/۱۶۹۶
GA with Local Search[24]	۶۲/۳۸۴۵	۰/۹۹۲۵	۸۳۴/۹۲۳۷
SS[24]	۴۶/۳۵۸۱	۰/۴۶۶۱	۸۶۴/۹
الگوریتم پیشنهادی	**۰/۱۷۵۸**	**۰/۱۳۴۷**	**۱/۳۶۸**

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی موثر برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال در محیط‌های انحصاری با ترکیب الگوریتم سازنده ابتکاری و الگوریتم ژنتیک ارایه شد. در بخشی از مقاله، انواع الگوریتم های سازنده ابتکاری به تفضیل مورد بحث قرار گرفت و دو نوع از این الگوریتم ها در این مقاله به کار گرفته شد. الگوریتم اول، الگوریتم گارور بود که در تولید نسل اول الگوریتم ژنتیک از آن استفاده شد. نکته اینکه در این مورد با وارد کردن نویز به هزینه با شیوه‌ای ابتکاری نسل اول با کیفیتی به دست آمد. الگوریتم دوم مورد استفاده، الگوریتم VGS بود. از الگوریتم VGS به منظور بهبود فرزند به وجود آمده توسط الگوریتم ژنتیک، قبل از اضافه شدن به جمعیت استفاده شد. فاز بهبود اصلی ترین دلیل برتری الگوریتم پیشنهادی بر GA سنتی در حل TEP بود. در پایان مقاله برای نشان دادن کارایی الگوریتم پسشنهادی سه شبکه نمونه تست شد. این الگوریتم توانست برای همه این سیستم ها که جواب بهینه آن‌ها شناخته شده بود، جواب بهینه را با حل تعداد LP کمتر و در نتیجه زمانی کوتاه‌تر به دست آورد.

مراجع

[1] Garver, L.L.: 'Transmission network estimation using linear programming', IEEE Trans.Power App. Syst., 1970, 89, pp. 1688–1697

[2] Haffner, S., Monticelli, A., Garcia, A., and Romero, R.: 'Specialised branch-and-bound algorithm for transmission network expansion planning', IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., 2001, 148, (5), pp. 482–488

[3] M. V. F. Pereira and L. M. V. G. Pinto, "Application of sensitivity analysis of load supplying capacity to interactivetransmission expansion planning," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-104,\ pp. 381–389, Feb. 1985.

[4] S. Binato, M. V. Pereira, and S. Granville,"A new benders decomposition approach to solve power ransmission network design problems," *IEEE Trans. PowerSyst.*, vol. 16, pp. 235–240, May 2001.

[5] R. Romero, R. A. Gallego, and A.Monticelli, "Transmission system expansion planning by simulated annealing," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.11, pp. 364– 369, Feb. 1996.

[6] E. L. Silva, H. A. Gil, and J. M. Areiza,"Transmission network expansion planning under an improved genetic algorithm," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.15, pp. 1168– 1175, Aug. 2000.

[7] H. Askarian Abyaneh, H. Shariati Dehghan, M.H. Javidi and F. Razavi " transmission expansion planning considering security cost under market environment " jornal of IAEEE Iran, vol.6-no.2, pp. 57-70, Fall and Winter 2009.

[8] Y. P. Dusonchet and A. H. El-Abiad, "Transmission planning using discrete dynamic optimization," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-92, no. 2, pp. 1358– 1371, Apr. 1973.

[9] Ramon A. Gallego, Rubén Romero, and Alcir J. Monticelli, *Fellow*, *IEEE* "Tabu Search Algorithm for Network Synthesis " IEEE Trans on power system, vol. 15, no. 2, MAY 2000

[10] Villasana, R., Garver, L.L., and Salon,S.J.: 'Transmission network planning using linear programming', IEEE Trans. Power App. Syst., 1985, 104, (2), pp. 349–356

[11] Pereira, M.V.F., and Pinto, L.M.V.G.: 'Application of sensitivity analysis of load supplying capability to interactive transmission expansion planning', IEEE Trans. Power App. Syt., 1985, 104, (2),pp. 381–389

[12] Monticelli, A., Santos, A. Jr., Pereira, M.V.F., Cunha, S.H., Parker,B.J., and Pra-ca, J.C.G.: 'Interactive transmission network planning using a least-effort criterion', IEEE Trans. Power App. Syst., 1982, 101, (10), pp. 3919–3925

[13] R. Romero, C. Rocha, J.R.S. Mantovani and I.G. Sanchez "Constructive heuristic algorithm for the DC model in network transmission expansion planning" IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 2, March 2005

[14] Marcos J. Rider , Ariovaldo V.Garcia and Ruben Romero "A Constructive Heuristic Algorithm to Short Term Transmission Network Expansion Planning" Proc. Int. Conf.PES General Meeting, June 2004, Denver, Colorado, USA, pp. 2107–2113

[15] Romero, R., Rocha, C., Mantovani, M., and Mantovani, J.R.S.:'Analysis of heuristic algorithms for the transportation model in static and multistage planning in network expansion systems', IEE Proc.Gener. Transm. Distrib., 2003, 150, (5), pp. 521–526

[16] Dechamps, C., and Jamoulle, A.: 'Interactive computer program for planning the expansion of

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol.9-No.1 Spring & Summer 2012

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]

meshed transmission networks', Int. J.Electr. Power Energy Syst., 1980, 2, (2), pp. 103–108

[17] Haffner, S., Monticelli, A., Garcia, A., Mantovani, J., and Romero, R.: 'A branch and bound algorithm for transmission system expansion planning using a transportation model', IEE Proc., Gener. Transm. Distrib., 2000, 147, (3), pp. 149–156

[18] J. H. Holland, Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. The University of Michigan Press, 1975.

[19] D. E. Goldberg, Genetics algorithms in search, optimization and machine Learning, Addison Wesley Reading, Mass., 1989.

[20] Z. Michalewicz, Genetic algorithms + data structures evolution programs, Artificial Intelligence, Springer, Berlin, 1996.

[21] R. Romero, A. Monticelli, A. Garcia, and S. Haffner, "Test systems and mathematical models for transmission network expansion planning,"\ Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., vol. 149, no. 1, pp. 29–36, Jan. 2002.

[22] R. Romero , C. Rocha , J.R.S. Mantovani and E. Asada "Analysis of Villasana-Garver-Solan algorithm and an extension to transmission system multi-stage expansion planning" systems' IEE Proc. Gen. Trans. Distrib., 2003, 150, (5), pp. 521–526

[23] R. Gallego, "Long term transmission systems planning using combinatorial optimization," (in Portuguese) Ph.D. dissertation, State Univ. Campinas, Campinas, Brazil, 1997.

[24] Hiroyuki Mori and Kojiro Shimomugi "Transmission Network Expansion Planning with Scatter Search " IEEE International Conference 2007 , Page(s): 3749 - 3754

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-06-10]