بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل

ارائه مدلی جدید برای مسئله برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال

استاد راهنما :

دکترعلی اکبر قره ویسی

استاد مشاور :

دکتر علی اکبر قره ویسی

مؤلف :

میترا میرحسینی

تیر ماه ۱۳۸۹

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی برق

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمیشود.

دانشجو : **میترا میرحسینی**

استاد راهنما : **دکتر علی اکبر قره ویسی**

استاد مشاور :

داور ۱ : **دکتر محمود سموات**

داور ۲ : **دکتر سیدمحمدعلی محمدی**

نماینده ی تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع : **دکتر محمد حسین باقری پور**

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : **دکتر غلامرضا پورابراهیم**

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

پدرم پیوسته راهنمای پویندگیم، مادرم جاودانه روشنگر زندگیم و همسرم پشتیبان بالندگی ام.

تشکر و قدردانی :

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر علی اکبر قره ویسی برای مساعدت و رهنمودهای ارزشمندشان در طی انجام مراحل رساله و جناب آقای مهندس سید حامد موسوی راد که از مشاوره ایشان بهره بسیار برده ام تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده:

امروزه سیستم قدرت مدرن شامل سیستم های انتقال به هم پیوسته بسیار پیچیده در مقیاس بزرگ می باشند، بنابراین برنامه ریزی توسعه انتقال اخیراً یک مسئله بهینه سازی سیستم قدرت مهم می باشد. مسئله TEP یک مسئله ترکیبی در مقیاس بزرگ، پیچیده و غیرخطی شامل ماهیت عدد صحیح مختلط می باشد که در آن تعداد جوابهای کاندید قابل ارزیابی با افزایش سایز سیستم بصورت نمایی افزایش می یابد. TEP مشخص می کند کجا و چه تعداد خطوط جدید باید به شبکه انتقال اضافه شود و همزمان هزینه ساخت و بهره برداری را با برقراری قیود اقتصادی و فنی حداقل می سازد. برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال بایستی کفایت مورد نیاز خطوط برای تحویل قدرت ایمن به مراکز بار را ارضا نماید. در این پایان نامه روش جامعی برای برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال معرفی می شود که در آن تمام خطوط کاندید برای دستیابی به یک جواب بهینه دقیق آزمایش می شوند.

کلید واژه: برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال، برنامه ریزی ریاضی، شاخص حساسیت، روش نقطه میانی

فهرست مطالب:

فصل ۱ ۱

۱.۱. مقدمه ۲

۲.۱. مرور مسئله برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال استاتیکی ۲

۳.۱. پیش زمینه تاریخی ۶

فصل ۲ ۹

۱.۲. روشهای ابتکاری ۱۰

۱.۱.۲. روش ابتکاری سازنده CHA ۱۱

۲.۲. روشهای فرا ابتکاری ۱۵

۱.۲.۲. الگوریتم ژنتیک GA ۱۶

۲.۲.۲. الگوریتم Tabu Search ۱۹

۳.۲.۲. الگوریتم Simulated Annealing ۲۵

۴.۲.۲. الگوریتم GRASP ۲۹

فصل ۳ ۳۳

۱.۳. بررسی موردی الگوریتم های فرا ابتکاری بر روی سیستم ۴۶ باسه شمال- شمال غرب برزیل ۳۴

فصل ۴ ۳۶

۱.۴. معرفی الگوریتم ۳۷

۲.۴. الگوریتم جامع با استفاده از روشی ابتکاری ۳۹

۳.۴. الگوریتم جامع با استفاده از الگوریتم Interior Point Method ۴۱

فصل ۵ ۴۹

۱.۵. بررسی موردی ۵۰

۲.۵. اعمال الگوریتم جامع با استفاده از روش ابتکاری بر روی سیستم پیشنهادی ۵۲

۳.۵. اعمال الگوریتم جامع با استفاده از الگوریتم Interior Point Method بر روی سیستم

پیشنهادی ۵۳
۴.۵. نتیجه گیری ۵۵

پیوستها ۵۶

منابع ۵۷

فصل اول

- مقدمه
- پیش زمینه تاریخی

۱.۱. مقدمه:

هدف برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال شامل تعیین یک طرح توسعه (بهینه) شبکه برق با مداراتی که شرایط عملیاتی را برای یک بار پیش بینی شده تحت یک برنامه توسعه تولید خاص برقرار می سازد، می باشد.

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال[1] می تواند براساس مدلهای استاتیکی (STNEP) و دینامیکی (DTNEP) بررسی شود. یک مدل استاتیکی سعی در کشف یک ساختار شبکه ای بهینه برای یک سناریوی موجود تولید وبار دارد (کجا و چه نوع تجهیزاتی باید در مسیر بهینه سازی که هزینه های عملیاتی و نصب را حداقل می سازد نصب شود). یک مدل دینامیکی خیلی پیچیده تر می باشد و هدف آن در کنار سوالات کجا و چه، تعیین زمان نصب اضافات شبکه نیز می باشد که بنابراین یک طرح سرمایه گذاری در طول دوره های متوالی زمان ایجاد می کند.

در این پایان نامه ، ما برنامه ریزی توسعه انتقال استاتیک را بررسی می کنیم که به عنوان یک مثال خوب برای کاربرد روشهای فرا ابتکاری در مسائل توسعه شبکه می باشد.

۲.۱. مرور مسئله برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال استاتیکی:

برای برنامه ریزی طولانی مدت بعضی فرضیات در نظر گرفته می شود، برای مثال، تخصیص توان راکتیو در لحظه اول در نظر گرفته نمی شود و در مطالعات برنامه ریزی عملیاتی اجرا می شود نکته مهم اصلی در این مرحله تعیین و شناسایی راه (مسیر) قدرت اصلی که احتمالا جزئی از سیستم توسعه یافته خواهد شد، می باشد. اساساً مدل پخش بار DC بیشترین کاربرد را دارد وبه عنوان مرجع در نظر گرفته می شود چون در اصل، تحلیل شبکه با این مدل شرایط اصلی مطالعات طراحی عملیاتی را برآورده می سازد.

زمانی که مدل پخش بار DC، شبکه قدرت را ارائه می دهد مسئله برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال بصورت زیر فرموله می شود[1]:

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega} c_{ij}\, n_{ij} \qquad (1)$$

$$subject\ to$$

[1] TNEP:Transmission Network Expanssion Planning

$$Sf + g = d \qquad (2)$$

$$f_{ij} - \gamma_{ij}\left(n_{ij}^0 + n_{ij}\right)\left(\theta_i - \theta_j\right) = 0 \qquad (3)$$

$$\left|f_{ij}\right| \le \left(n_{ij}^0 + n_{ij}\right)\overline{f_{ij}} \qquad (4)$$

$$0 \le g \le \bar{g}$$

$$0 \le n_{ij} \le \overline{n_{ij}}$$

$$n_{ij}\ integer;\ f_{ij}\ and\ \theta_j\ \ unbounded$$

$$(i,j) \in \Omega$$

که در آن c_{ij} هزینه مدار در مسیر $i-j$ ، γ_{ij} سوسپتانس مدار، n_{ij} تعداد مدارات اضافه شده در مسیر $i-j$، n_{ij}^0 تعداد مدارات در حالت ابتدایی، f_{ij} پخش بار در مسیر $i-j$، $\overline{f_{ij}}$ حداکثر پخش بار در مسیر $i-j$، v هزینه سرمایه گذاری، S ترانهاده ماتریس تلاقی شاخه – گره، f بردار شامل المانهای f_{ij}، g برداری شامل المانهای g_k (تولید در باس k) که مقدار ماکزیمم آن برابر $\bar{g}$ می باشد، $\overline{n_{ij}}$ تعداد خطوطی که میتواند در مسیر $i-j$ اضافه شود، d بردار دیماند شبکه و Ω مجموعه تمام مسیرهای ممکن می باشد.

قید اول بقای توان در هر گره را نشان می دهد که قانون KCL در شبکه DC معادل را نشان می دهد قید دوم قانون KVL را نشان می دهد که غیرخطی می باشد. مسئله TNEP که در بالا ارائه شده یک مسئله عدد صحیح مختلط غیرخطی [۲] می باشد. این یک مسئله ترکیبی سخت می باشد که می تواند منجر به انفجار ترکیبی در تعداد احتمالات شود. اما اگر قیود integrality متغیرهای n_{ij} با $n_{ij} > 0$ آرام[۳] شود مدل DC تبدیل به یک مسئله غیرخطی[۴] می شود.

مدل DC بطور گسترده در مسایل برنامه ریزی توسعه استفاده می شود اما ، الگوریتم هایی که قابلیت تأمین جواب بهینه برای سیستم های بزرگ و پیچیده را دارند و از این مدل استفاده می کنند تا به حال گزارش نشده است. با در نظر گرفتن مشکلات برای از عهده برآمدن این مسئله، مدل DC آرام شده با تکنیک های بهینه سازی در دسترس به کار گرفته شده است. بیشترین مدلهای آرام شده، مدلهای انتقال و مدلهای ترکیبی هستند.

[2] NLMIP: Non Linear Mixed Integer Programming
[3] Relax
[4] NLP: Non Linear Programming

مدل انتقالی برای اولین بار توسط گارور [2] ارائه شده و از نقطه نظر ریاضی او یک مدل DC آرام شده را در نظر می گرفت. بنابراین در مدل انتقالی ، قیود مربوط به قانون دوم کیرشهف (KVL) حذف می شوند و مدل انتقالی بصورت زیر در می آید:

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega} c_{ij}\, n_{ij} \qquad (5)$$

$$subject\ to$$

$$Sf + g = d \qquad (6)$$

$$|f_{ij}| \le (n_{ij}^0 + n_{ij})\overline{f_{ij}} \qquad (7)$$

$$0 \le g \le \bar{g}$$

$$0 \le n_{ij} \le \overline{n_{ij}}$$

$$n_{ij}\ integer;\ f_{ij}\ unbounded$$

$$(i,j) \in \Omega$$

مدل انتقالی می تواند با یک مسئله برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیب ارائه شود. گارور یک الگوریتم تصادفی سودمند برای مدل انتقالی ارائه داد. معمولا جوابهای بدست آمده با مدل انتقالی برای فرمولاسیون DC امکانپذیر نیستند. بعلاوه، اگر قید (n_{ij}) آرام شود مسئله یک مسئله برنامه ریزی خطی (LP) می شود.

مدل خطی ترکیبی[5] (HLM) با ریلکس کردن قیود (7) یعنی $|f_{ij}| \le (n_{ij}^0 + n_{ij})\overline{f_{ij}}$ درمدل DC بر تمام مدارات اضافه شده به سیستم بدست می آید. باید توجه داشت که قیود (7) برای مداراتی که متعلق به طرح اولیه اند همگی خطی اند. مدل ترکیبی بصورت زیردر می آید:

$$\min v = \sum_{(i,j)\in\Omega} c_{ij}\, n_{ij} \qquad (8)$$

$$subject\ to$$

$$Sf + S^0 f^0 + g = d$$

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

$$|f_{ij}^0| \le n_{ij}^0 \overline{f_{ij}} \qquad \forall (i,j) \in \Omega_0$$

[5] Hybrid Linear Model

$$|f_{ij}| \leq n_{ij}\overline{f_{ij}} \qquad \forall (i,j) \in \Omega$$

$$0 \leq g \leq \bar{g}$$

$$0 \leq n_{ij} \leq \overline{n_{ij}}$$

$$n_{ij}\ integer;\ f_{ij}\ and\ \theta_j\ \ unbounded$$

که S^0 ترانهاده ماتریس تلاقی شاخه گره است که از مدارات موجود در طرح اولیه تشکیل شده است. S ترانهاده ماتریس تلاقی شاخه گره کامل، f بردار با پخش بار مدارات جدید می باشد و f^0 بردار بخش بار مدارات در طرح اولیه است. باید توجه داشت که در جواب بهینه، مدارات جدید نیاز به برآورده ساختن قانون KVL ندارند. بنابراین، مدارات جدید(که خصوصیات یکسانی با مدارات موجود ارائه می دهند) ممکن است پخش بار متفاوتی با مدارات موازی خود در طرح اولیه داشته باشند (مدارجدید تنها بایستی قانون KCL را رعایت کند درحالی که مدار طرح اولیه باید هر دو قانون را رعایت کند). Garver, Villasana [3] مدل ترکیبی را ارائه دادند و مدل خود برای یک الگوریتم تصادفی سودمند که جوابهای خوبی برای مدل DC داشت تنظیم کردند.

۳.۱. پیش زمینه تاریخی:

برای یک مدت زمان طولانی، تنها وسیله برای مسئله TNEP در طولانی مدت مسائل آنالیز مثل پخش بار بود. یکی از روشهایی که سعی کرد این مسئله را حل نماید در سال ۱۹۷۰ توسط گارور[2] بود. گارور مسئله را بصورت یک مسئله پخش بار فرمولبندی کرد واز یک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی برای پیدا کردن مستقیم‌ترین مسیرها از تولید تا بار استفاده کرد. تمام مسیرها می‌توانند نیرو را منتقل کنند ولی مسیرهایی که خطوط انتقال اولیه ندارند جریمه می‌شوند تا مسیر جریان را از طریق شبکه موجود ترغیب کنند. افزایش خطوط شبکه براساس بیشترین اضافه بار ساخته می‌شود ویک جریان خطی جدید محاسبه می‌شود.

Kaltenbatch [4] نیز در سال ۱۹۷۰ یک ترکیب استفاده از برنامه‌نویسی دینامیکی و خطی را ارائه داد. برنامه‌ریزی خطی برای یافتن حداقل هزینه افزایش ظرفیت برای تطابق دادن تغییرات بار و تولید مورد نیاز بود. پس از آن، از برنامه‌ریزی دینامیکی برای جستجوی نقطه‌های نزدیک نقطه بهینه سرمایه‌گذاری استفاده شد.

EL-Abiad, Dusonchet [5] یک برنامه‌ریزی دینامیکی محض ارائه دادند اما بعلت تلاشهای محاسباتی بالا، کاربرد آن بسیار محدود شد.

مفهوم شبکه متصل با مدل پخش بار DC ترکیب شده به وسیله Puntel , Fishcl [6] ارائه شد. این روش تغییرات سوسپانس لازم را برای مینیمم کردن هزینه تقویت انتقال را تولید می‌کند. یک روند تصادفی به نام " روش نزدیکترین همسایه"[6] برای پیدا کردن نزدیکترین مقدارگسسته سوسپانسها استفاده می‌شد.

در ۱۹۷۹، Monticelli [7] استفاده از ابزار تقابلی برای برنامه‌ریزی انتقال را طرح کرد. برای رتبه‌بندی کردن خطوط اضافه شده ممکن ، این روش ازیک تحلیل حساسیت در برنامه‌ریزی غیرخطی مربوط به سوسپانسهای شبکه با شاخص حداقل تلاش استفاده می‌کند که نتیجه آن یک مسئله بهینه‌سازی است که جواب آن مساوی جواب بخش بار DC می‌باشد.

استفاده از تحلیل حساسیت برای برنامه‌ریزی انتقال اولین بار توسط De Champs [8] ارائه شد. آنها از تحلیل حساسیت سوسپتانس در یک روش برنامه‌ریزی خطی استفاده کردند که قیود آن معادلات پخش بار DC در کنارحدود تولید وشار می‌باشد. هدف، دستیابی به حداقل انقطاع بار مورد نیاز برای کم کردن تمام خطاهای بهره‌برداری در شبکه می‌باشد.

---

[6] Nearest Neighbor Method

در Villasna,1984 [9] دو روش برای اعمال به برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال ارائه داد. اولین آن بصورت ترکیب مدل پخش بار DC با یک مدل انتقالی فرمول‌بندی شد. زمانی که مدل DC، پخش بار را برای تاسیسات انتقال موجود محاسبه می‌کند، مدل انتقالی برای محاسبه شار «اضافه بار» استفاده می‌شود. این روش شامل بهبود در روش گارور می‌باشد. روش دوم از فرمولاسیون عدد صحیح مختلط خطی استفاده کرد.

استفاده از طرحهای تجزیه ریاضی برای این مسئله با روش Pereira [10] شروع شد. درآن کار از تجزیه Benders برای تجزیه مسئله کلی به دو زیر مسئله استفاده شد. زیر مسئله سرمایه‌گذاری Master که برنامه توسعه آزمایشی را انتخاب می‌کند و زیر مسئله بهره‌برداری که تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری آزمایشی را تحلیل می‌کند و قیود نقض شده عملیاتی را از طریق متغیرهای سرمایه‌گذاری ازطریق برش Benders نشان می‌دهد . این قیود جدید (برشهای Benders) بایست به زیر مسئله سرمایه‌گذاری اضافه شده و یک تکرار Benders جدید دوباره باید تکرار شود تا همگرایی حاصل شود.

در Nunes , Pinto , 1990 [11] از طرح تجزیه Benders ترکیب شده با الگوریتم بر شماری ضمنی استفاده کردند. برای کاهش محاسبات از دو تکنیک استفاد کردند: کاهش امکان ناپذیری الکتریکی و کاهش هزینه.

اما، مسئله یک مسئله غیرخطی و غیر محدب است. بنابراین برش‌های Benders خطی ممکن است نواحی امکان پذیر به استثنای جواب بهینه را حذف کنند. برای مانورکردن این تله، Monticelli و Romero [12] از روش تجزیه مرتبه‌ای شامل سه مرحله استفاده کردند. اولین مرحله برنامه ریزی انتقال را با استفاده از تجزیه Benders را تنها با نظر گرفتن مدل انتقالی برای زیر مسئله بهره برداری حل کرده و قیود درستی متغیرهای سرمایه‌گذاری را آرام می کند. مرحله دوم مدل شبکه را به یک مدل هایبرید (مرکب) تبدیل می‌کند (مدل DC برای شاخه‌های موجود و مدل انتقالی برای شاخه‌های جدید). در انتها، آخرین مرحله مدل DC را برای تمام شاخه‌های زیر مسئله بهره‌برداری در نظرگرفته و زیر مسئله سرمایه‌گذاری را با یک الگوریتم بر شماری ضمنی حل می‌کند.

بعد ازآن ، Oliveira [13] ازیک طرح مشابه تجزیه مرتبه‌ای شامل دو مرحله با کمی تفاوت استفاده کرد. اولین مرحله تنها مدل انتقالی را در نظر می‌گیرد اما قیود درستی سرمایه‌گذاری را Relax نمی‌کند و مرحله دوم مثل آخرین مرحله روش قبل است با این وجود تفاوت عمده بین دو روش چگونگی حل زیرمسئله سرمایه گذاری Master می‌باشد. زمانی که روش قبل مسئله را تا رسیدن به نقطه بهینه با استفاده از الگوریتم برشماری ضمنی حل می‌کرد در این روش از یک

الگوریتم تصادفی تنها با هدف رسیدن به یک جواب امکان‌پذیر استفاده می‌شد تا بتواند بار محاسباتی حل یک توالی زیرمسائل سرمایه‌گذاری ترکیبی را کم کند.

روش تجزیه دیگر، Calovic , Levi [14] در ۱۹۹۱ مسئله برنامه ریزی انتقال را به دو زیرمسئله تقسیم کردند، یکی مربوط به سرمایه‌گذاری و دیگری مربوط به تصمیم‌گیری بهره‌برداری . مسئله سرمایه‌گذاری به عنوان برنامه حداقل هزینه شبکه مشخص شد. بعد از آن، به دو زیر مسئله تقسیم شد که اولی مدل انقطاع بار و بعدی از مدل شبکه محلی برای دستیابی که به جریان بارهای اضافه شده استفاده کرد.

در Latorre-Bayona , 1994 [15] یک روش تصادفی که از مسئله طبیعی تجزیه در زیر مسائل سرمایه‌گذاری و بهره برداری استفاده کرد، ارائه دادند. زیر مسئله سرمایه‌گذاری به وسیله یک روند تصادفی حل می‌شود. جستجو بصورت فرمت یک درخت سازمان می‌یابد و از یک جواب ابتدایی که با استفاده از مدلهای دیگر بدست آمده ، شروع می‌شود. متغیرهای سرمایه‌گذاری (شاخه های درخت) به سه صورت می‌توانند دسته‌بندی شوند: متغیر سوال شده (خطوطی که در طرح اولیه هستند اما متعلق به جواب بهینه نیستند)، متغیرهای جذاب، (خطوطی که استفاد کننده فکر می‌کند جز جواب بهینه باشند) و متغیرهای بی‌حرکت. دسته‌بندی یکی از معیارهای برش (کوتاه سازی) که توسط این روش استفاده می‌شود ، می‌باشد. بقیه حدود عمقی و عرضی درخت جستجو هستند، حدود روی تعداد ارزیابی زیر مسائل بهره برداری وروی تعداد مراحل اشتباه جستجو.

یک مسئله مرتبط ، برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال چند ساله با استفاده از یک روند تصادفی به نام Backward -Forward می‌باشد که توسط Oliveira , Binato [16] ارائه شد. این روش سعی می‌کند که مسیر بهتری را که با ترکیب جوابها که در طول سالها بدست آمده انتخاب کند (از سال اول تا آخر) جواب هر سال براساس تحلیل حساسیت مسئله حداقل انقطاع بار می‌باشد.

فصول این پایان نامه به این صورت می باشد: فصل اول مقدمه و پیش زمینه تاریخی ، فصل دوم روشهای ابتکاری و روشهای فرا ابتکاری، فصل سوم بررسی موردی اللگوریتم های ذکر شده در فصل دوم، فصل چهارم معرفی الگوریتم جامع با استفاده از روش ابتکاری و معرفی الگوریتم جامع با استفاده از روش Interior point method وفصل پنجم شامل بررسی موردی و نتیجه گیری می باشد.

فصل دوم

- روشهای ابتکاری
- روشهای فرا ابتکاری

روشهای ابتکاری

- **الگوریتم ابتکاری سازنده** [۷]

[7] CHA: Constructive Heuristic Algorithm

۱.۱.۲. الگوریتم ابتکاری سازنده:

مقدمه:

Garver [2] مدل انتقالی و یک الگوریتم راه حل را بر اساس یک الگوریتم تصادفی سودمند ارائه داد.

بر طبق این الگوریتم مسئله بهینه سازی بر طبق یک روند تکراری حل می شود [17] . در هر مرحله یک خط به شبکه اضافه می شود تا جایی که دیگر نیاز به اضافه کردن خط جدید نباشد . ابتدا مسئله بهینه سازی مدل شده به یک مسئله ریلکس شده تبدیل می شود به این صورت که تعداد متغیرهای خطوط پیوسته فرض می شود سپس با یک حلگر غیر خطی مسئله حل شده و متغیرهای nij که اکنون آنها را پیوسته فرض کرده ایم به دست می آیند اگر متغیرهای nij همگی صفر شدند جواب بهینه به دست آمده است در غیر این صورت با استفاده از شاخص حساسیت با اهمیت ترین خط را به شبکه زیاد کرده و بار دیگر مسئله را حل می کنیم تا جایی که دیگر نیاز به اضافه کردن خط نباشد به بیان دیگر متغیرهای nij همگی برابر با صفر شوند. شاخص حساسیت را ما برای هر خط nij به دست آمده برای آن خط در نظر می گیریم .پس از رسیدن به سیستم انتقال مورد نظردر این مرحله خطوط اضافه شده به شبکه به ترتیب نزولی هزینه شان مرتب شده وبه ترتیب در هر مرحله یکی از این خطوط را از شبکه خارج می کنیم وبرقراری قیود سیستم را بررسی می کنیم اگر قیود برقرار باشند آن خط حذف می شودوگرنه خط باقی می ماند این کار را ادامه می دهیم تا تمام خطوط تست شوند [18].

مراحل حل مسئله:

به منظور دستیابی به طرحی با دسترسی آزاد، برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال در سه مرحله حل می شود . در مرحله اول یک مجموعه از سناریو های تولید را به نحوی به دست می آوریم که بتوانند انواع حالاتی که ممکن است در تولید پیش آید را مدل کنند . در مرحله دوم و با استفاده از الگوریتم سازنده ابتکاری وبه کارگیری مدل غیر خطی طرحی را برای شبکه انتقال به دست می آوریم که کاملا رقابت پذیر است ودر مرحله سوم در صورتی که خطوط غیر ضروری در مرحله قبل به شبکه زیاد شده اند انها را تشخیص داده و حذف می کنیم.

۱. مشخص کردن ترکیبات مختلف تولید

در بازار رقابتی مقادیر تولید ژنراتورها متغیر هستند.فرض می کنیم مقدار تولید هر ژنراتور بین صفر و حداکثر ظرفیت اش قابل تغییر باشد. مجموعه ای از همه ترکیبهایی که از مقادیر حدی فوق ایجاد می شوند بطوریکه مجموع تولید ها برابر مجموع حداکثر بار شود ،را تشکیل می دهیم و با نام مجموعه ترکیبها ی حدی ممکن تولید (PGens) نام گذاری می کنیم هر عضوی از مجموعه PGens یک ترکیب حدی از توانهای تولیدی ژنراتورها است .در هر ترکیب حدی ،توان تولیدی NG-1 ژنراتور یکی از مقادیر حدی حداقل و یا حداکثر تولید آن ژنراتور (۰ و یا PGmax) را دارد و توان تولیدی تک ژنراتور باقیمانده ،ژنراتور مبنا ،برابر تفاضل حداکثر بار سیستم و مجموع تولید NG-1 ژنراتور قبلی است .البته به شرطی که توان تولیدی این ژنراتور در محدوده مجازش قرار گیرد .NG ،تعداد کل ژنراتورهای سیستم است .بدیهی است با توجه به نحوه قیمت دهی ژنراتورها و نوع بازار ممکن است یکی از ترکیبهای مجموعه PGens در بهره برداری واقعی رخ دهد .برای یافتن اعضای مجموعه PGens می توان از فلورچارت شکل (۱.۲) بهره گرفت .مطابق این فلورچات ابتدا اولین ژنراتور بعنوان ژنراتورمبنا(i=1) انتخاب می شود .میزان تولید سایر ژنراتورها در یکی از مقادیر حدی شان در نظر گرفته شده و ترکیبهای مختلفی از آنها بدست می آید .مقدار تولید ژنراتور مبنا برابر تفاضل مجموع بار سیستم و مجموع تولید سایر ژنراتورها قرار داده می شود .در صورتیکه مقدار تولید ژنراتور مبنا در محدوده مجازش قرار داشته باشد ،آن ترکیب از تولید واحدها ،یک ترکیب حدی ممکن است و ذخیره می شود. سپس مراحل قبل را با تغییر ژنراتور مبنا (i=1,2,…,NG) تکرار می کنیم تا تمامی ترکیبهای حدی تولید ژنراتورها بدست آید .