ارائه روشی جدید برای برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال با در نظر گرفتن بهره برداری بهینه و ایمن

مهدی صمدی، دانشجوی دکتری برق [۱] mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir
محمد حسین جاویدی، استاد گروه برق [۲] h-javidi@um.ac.ir
[۱و۲] آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده - برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال جزء مهمترین بخشهای برنامه ریزی برای یک سیستم قدرت تجدید ساختار یافته است. علاوه بر تأمین بار بصورت مطمئن و ایمن در آینده، برای حفظ و بهبود رقابت در بازار برق، توسعه شبکه انتقال امری ضروری می باشد.

در این مقاله روشی جدید برای برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال ارائه شده است. در تابع هدف پیشنهادی، هزینه های احداث شبکه جدید، هزینه بهره برداری، هزینه پرداختی بابت انرژی تأمین نشده مورد انتظار و همچنین قیود امنیتی لازم لحاظ شده است. در نظر گرفتن هزینه بهره برداری در حالت نرمال و حادثه با رعایت احتمال رخداد حوادث در تابع هدف و همچنین رعایت محدودیتهای نرخ بارگیری ژنراتورها در هنگام حوادث از مزایای روش پیشنهادی می باشد. برای حل این مسئله بهینه سازی شامل متغیرهای عدد صحیح، از الگوریتم ژنتیک طراحی شده برای این مسئله استفاده شده است.

برای در نظر گرفتن عدم قطعیتها برنامه برای چهار سناریوی احتمالی اجرا شده و در نهایت با استفاده از آنالیز ریسک، طرح بهینه با حداقل پشیمانی انتخاب می شود. نتایج شبیه سازی بر روی شبکه ۱۴ باسه IEEE کارایی روش پیشنهادی را نشان می دهد.

کلید واژه- بهره برداری بهینه و ایمن، توسعه شبکه انتقال، حوادث سیستم، هزینه خاموشی، EENS

۱- مقدمه

در سالهای اخیر اکثر کشورها فرایند تجدید ساختار را تجربه کرده اند. شبکه انتقال جزء مهمترین بخشهای یک سیستم قدرت تجدید ساختار یافته می باشد، چون فراهم کننده بستر مورد نیاز برای رقابت شرکت کنندگان در بازار برق است. اگر شبکه انتقال به موقع و به اندازه کافی توسعه پیدا نکند، رقابت که از اصلی ترین شاخصه‌های بازار برق محسوب می شود، خدشه دار می‌شود[۱]و[۲].

پس از تجدید ساختار در برق عدم قطعیتها افزایش و اهداف توسعه انتقال دستخوش تغییر شده است. لذا ارائه روشهای جدید و مناسب برای توسعه انتقال ضروری به نظر می‌رسد[۳].

معمولاً در هر مدلسازی تعدادی پارامتر وجود دارند که تعیین آنها به صورت قطعی امکان پذیر نیست. از این پارامترها به عنوان موارد دارای عدم قطعیت نام برده می شود. عدم قطعیتها به دو دسته تقسیم می شوند: تصادفی و غیر تصادفی. عدم قطعیت های تصادفی تکرار پذیر بوده و از مشاهده عملکرد گذشته آنها می توان تابع توزیع احتمال آنها را بدست آورد. برای مثال قیمتهای پیشنهادی تولیدکنندگان در دسته عدم قطعیتهای تصادفی قرار می گیرد. عدم قطعیت های غیر تصادفی تکرار ناپذیر بوده، لذا نمی توان توزیع مشخصی برای آنها تخمین زد. عدم قطعیت در رشد بار در آینده و همچنین برنامه توسعه واحدهای تولیدی از این نوع می باشند[۴].

در بسیاری از مدلهای ارائه شده برای مسئله توسعه شبکه انتقال علاوه بر هزینه سرمایه گذاری برای احداث خطوط جدید، هزینه بهره برداری از شبکه - بدست آمده از برنامه پخش بار بهینه- نیز در تابع هدف لحاظ می شود. واضح است که در نظر گرفتن هزینه خاموشیهای احتمالی ناشی از حوادث ممکن در سیستم در تابع هدف، باعث کاملتر شدن مدل خواهد شد.

در این مقاله با در نظر گرفتن هزینه مورد انتظار برای بهره-برداری بهینه و ایمن از شبکه، روشی جدید برای توسعه شبکه انتقال ارائه شده است. در نظر گرفتن خروج واحدها و خطوط شبکه و احتمال رخداد آنها در مدل پیشنهادی، رعایت محدودیتهای نرخ بارگیری (ramp-rate) و نیز در نظر گرفتن هزینه خاموشی احتمالی، از مزایای روش پیشنهادی می باشد.

همچنین برای در نظر گرفتن عدم قطعیتهای غیر تصادفی، برنامه برای چهار سناریوی احتمالی اجرا شده و در نهایت با استفاده از آنالیز ریسک، طرح بهینه با حداقل پشیمانی انتخاب می شود.

در بخش دوم مقاله کلیاتی درباره توسعه شبکه انتقال و انواع روشهای حل آن بیان می‌شود. بخش سوم به ارائه روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش چهارم نتایج شبیه سازی‌ها و در بخش پنجم نتیجه گیری ارائه می‌گردد.

۲- توسعه شبکه انتقال

شبکه های انتقال پل ارتباطی بین تولیدکنندگان و مصرف کنندگان توان هستند، لذا هر تنگنا و محدودیتی در انتقال از رقابت کامل در بازار جلوگیری کرده و معمولاً منجر به ایجاد قدرت بازار و بالا رفتن قیمتها می‌شود. بنابراین برای عملکرد مناسب بازارهای برق رقابتی، توسعه و بهره برداری مؤثر از سیستم انتقال بسیار مهم است[۵] و[۶].

تا کنون مدلهای بسیار متنوعی با معیارهای مختلف برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال ارائه شده است، ولی فرمولاسیون مشترکی که مورد قبول همه محققین باشد وجود ندارد[۷].

با توجه به بازه زمانی مورد مطالعه برای طراحی، روشهای برنامه‌ریزی توسعه انتقال به دو حالت استاتیک و دینامیک دسته بندی می‌شوند. اگر طراح در جستجوی طرح بهینه، زمان اضافه شدن خطوط به شبکه را در نظر نگیرد، برنامه‌ریزی استاتیک است. ولی اگر برای طراحی چشم اندازی چند ساله در نظر گرفته شده و زمان احداث خطوط هم تعیین شود برنامه‌ریزی دینامیک خواهد بود[۸].

در مرجع [۹] تعدادی از مدلهای ارائه شده برای مسئله توسعه شبکه انتقال ارائه و دسته بندی شده است.

روشهای متنوعی برای حل مسئله توسعه شبکه انتقال به کار رفته است. از تکنیکهای بهینه سازی کلاسیک می توان به برنامه‌ریزی خطی(LP:Linear Programming)، برنامه‌ریزی دینامیکی، برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی آمیخته با عدد صحیح اشاره کرد[۸]. روشهای دیگری مانند شبیه سازی تبرید[۶]، الگوریتم ژنتیک[۹]، تکنیک "انشعاب و کران"[۱۰]، روشهای تئوری مجموعه‌های فازی[۱۱]، تئوری بازیها[۱۲] و سیستمهای هوشمند[۱۳] نیز برای حل آن استفاده شده اند.

۳- روش پیشنهادی

در مرجع [۱۴] مدل جامعی برای پخش بار بهینه با رعایت قیود امنیتی سیستم ارائه شده است. این مرجع مدل خود را ESCOPF (Expected-Security-Cost Optimal Power Flow) نامیده است. در این مدل برنامه پخش بار بهینه با در نظر گرفتن همزمان دو حالت نرمال (قبل از حادثه) و حادثه، به همراه محدودیتهای نرخ بارگیری اجرا می شود. حوادث در نظر گرفته شده شامل خروج خطوط پر بار بوده و خروج واحدهای تولیدی در نظر گرفته نشده است.

در مرجع [۱۵] با بهبود روش فوق توسط افزودن حوادث خروج واحدهای تولیدی، روشی جدید برای تعیین رزرو لازم برای شبکه و توزیع آن ارائه شده است. در این مقاله با استفاده از از مدل ESCOPF در مرجع [۱۵]، تابع هدف جدیدی برای توسعه استاتیک شبکه انتقال ارائه شده، که در آن هزینه مورد انتظار برای بهره برداری بهینه و ایمن، بخوبی لحاظ شده است.

۳-۱- تابع هدف پیشنهادی

ابتدا تابع هدف بکار رفته برای تعیین هزینه مورد انتظار برای بهره برداری بهینه و مطمئن از شبکه معرفی و در ادامه تابع هدف پیشنهادی برای توسعه شبکه ارائه می شود.

برای پرهیز از پیچیدگی غیر ضروری از پخش بار بهینه مستقیم استفاده شده است. اندیسهای بکار رفته در این تابع هدف عبارتند از:

i : اندیس مربوط به هر ژنراتور (N_g : تعداد کل ژنراتورها)

j : اندیس مربوط به هر بار (N_d : تعداد کل بارها)

l: اندیس مربوط به هر خط (N_L : تعداد کل خطوط)

k : اندیس مربوط به هر حادثه، اندیس صفر مربوط به حالت نرمال است. (K : تعداد کل حوادث)

روابط (۱) تا (۱۲) برنامه LP و محدودیتهای آن برای محاسبه هزینه بهره برداری مورد انتظار(Expected Cost) شامل هزینه خاموشی را نشان می دهد.

$$Min \quad E_Cost = p_0 C_0 + \sum_{k=1}^{K} p_k C_k \qquad (۱)$$

$$p_0 = 1 - \sum_{k=1}^{K} p_k \qquad (۲)$$

$$C_0 = \sum_{i=1}^{N_g} C(P_{gi}^0) + \sum_{j=1}^{N_d} VOLL_j . UP_j^0 \qquad (۳)$$

$$C_k = \sum_{i=1}^{N_g} C(P_{gi}^k) + \sum_{j=1}^{N_d} VOLL_j . UP_j^k \qquad (۴)$$

p_k : احتمال رخداد حادثه k

C_0: هزینه کل در حالت نرمال (قبل از حادثه)

C_k: هزینه کل در هنگام وقوع حادثه k

$VOLL_j$: ارزش بار از دست رفته در باس jام

UP_j^k: توان تأمین نشده در باس jام در حادثه kام

قیود مسئله عبارتند از:

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi}^k + \sum_{j=1}^{N_d} UP_j^k = \sum_{j=1}^{N_d} P_{dj}^k \qquad (۵)$$

$$B^k \theta^k = P_g^k - P_d^k + UP^k \qquad (۶)$$

$$P_l = P_{mn} = \frac{\theta_m - \theta_n}{x_{mn}} \qquad (۷)$$

$$P_{gi_\min}^k \le P_{gi}^k \le P_{gi_\max}^k \qquad (۸)$$

$$UP_{j_\min}^k \le UP_j^k \le UP_{j_\max}^k \qquad (۹)$$

$$P_{l_\min}^k \le P_l^k \le P_{l_\max}^k \qquad (۱۰)$$

$$P_{gi}^k \ge P_{gi}^0 - down_ramp_i \qquad (۱۱)$$

$$P_{gi}^k \le P_{gi}^0 + up_ramp_i \qquad (۱۲)$$

P_{gi}: توان تولیدی ژنراتور iام

P_{dj}: توان مصرفی باس jام

P_l: توان عبوری از خط lام

$down_ramp_i$ و up_ramp_i: به ترتیب حداکثر قابلیت کاهش و افزایش توان ژنراتور iام (پس از وقوع حادثه)

پس از اجرای برنامه و یافتن نقطه بهینه تابع هدف، مقادیر P_{gi}^0 که چگونگی بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه در حالت نرمال را مشخص می کنند بدست می آید. همچنین کل خاموشی در حالت نرمال (UP_0) از رابطه (۱۳) بدست می آید:

$$UP_0 = \sum_{j=1}^{N_d} UP_j^0 \qquad (۱۳)$$

جزئیات بیشتر مربوط به خروجیهای این برنامه LP در مرجع [۱۵] آمده است. نهایتاً تابع هدف پیشنهادی برای مسئله توسعه استاتیک شبکه انتقال بصورت رابطه (۱۴) می باشد:

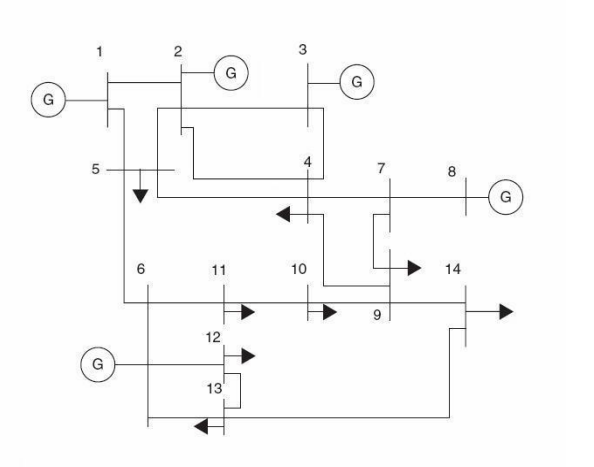
$$Min \quad f = Inv + E_Cost + \alpha * UP_0 \qquad (۱۴)$$

در این رابطه Inv مجموع هزینه سرمایه گذاری لازم برای احداث خطوط جدید و α مقدار بزرگی برای جریمه جوابهای همراه با خاموشی در حالت نرمال، می باشد. (همانطور که گفته شد مقادیر E_Cost و UP_0 پس از حل برنامه LP بدست می آیند.)

با توسعه شبکه و بهره برداری از سیستم مطابق روش پیشنهادی بدست آمده از اجرای این مدل، علاوه بر تأمین شدن قیود امنیتی لازم، میزان هزینه سرمایه گذاری برای احداث شبکه جدید، هزینه بهره برداری و همچنین هزینه پرداختی بابت انرژی تأمین نشده مورد انتظار، حداقل خواهد بود.

۳-۲- شبکه مورد مطالعه

برای آزمایش مدل پیشنهادی از شبکه ۱۴ باسه استاندارد IEEE استفاده شده است. دیاگرام تک خطی این شبکه که شامل ۵ ژنراتور، ۱۱ باس دارای مصرف و ۲۰ خط ارتباطی بین باسها می باشد، در شکل۱ به نمایش در آمده است. اطلاعات مربوط به قیمت دهی ژنراتورها و میزان تولید و مصرف باسهای این شبکه در مرجع [۱۵] آمده است. البته ظرفیت ژنراتورها مطابق برنامه توسعه تولید در نظر گرفته شده و مقادیر بارها مطابق نرخ رشد بار مفروض تغییر می‌کند که جزئیات بیشتر در بخش ۳-۴ ارائه شده است.



شکل۱: دیاگرام تک خطی شبکه ۱۴ باسه استاندارد IEEE

کلیه خطوط موجود به‌عنوان خطوط نامزد برای اضافه شدن به شبکه در نظر گرفته شده اند. مقدار هزینه سرمایه گذاری برای احداث تمام خطوط جدید برای برابر 1500$/h فرض شده است.

۳-۳- روش بهینه سازی به کار رفته

برای حل این مسئله بهینه سازی که مسئله ای شامل متغیرهای عدد صحیح می باشد از الگوریتم ژنتیک طراحی شده

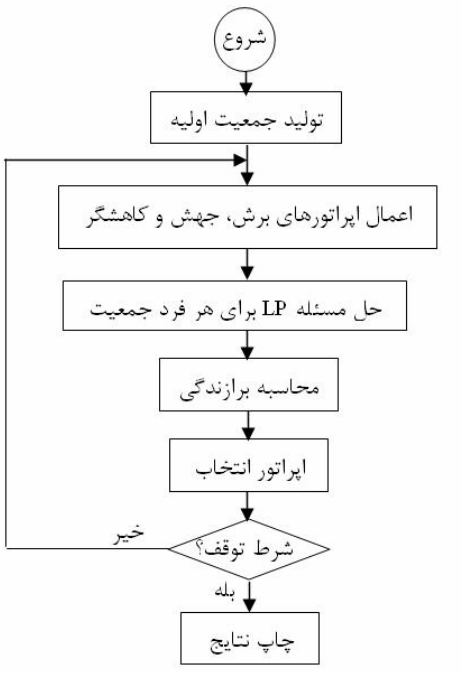
برای این مسئله استفاده گردیده است. پس از تولید طرحهای تصادفی پیشنهادی در جمعیت اولیه، در بخش تعیین برازندگی برنامه LP فراخوانی می شود که از اجرای آن مقدار هزینه مورد انتظار (E_Cost) و همچنین خاموشی در حالت نرمال (UP_0) تعیین می شود. سپس با احتساب هزینه احداث خطوط جدید، مقدار تابع هدف طبق رابطه (۱۴) بدست می آید.

برای کدینگ متغیرهای مسئله که در اینجا گسسته هستند، الفبای دسیمال به کار رفته که هر بیت نشان دهنده تعداد خطوطی است که باید به مسیر بین دو باس اضافه شود. در شکل۲ چگونگی کدینگ مسئله نشان داده شده است.

Line1	Line2	.....	Line20

شکل۲: نمایش کروموزوم به کار رفته برای کدینگ

قابل ذکر است که علاوه بر عملگرهای معمول GA یعنی انتخاب و برش و جهش، از عملگر جدیدی به نام کاهشگر استفاده شده است. با توجه به ماهیت مسئله و این که هر بیت نماینده یک خط انتقال با هزینه بالا برای احداث می باشد، از این عملگر بهره گرفته شده است. عملکرد این اپراتور به این صورت است که به صورت تصادفی از مقدار بیتهایی که مقدار غیر صفر دارند، یک واحد کم می کند؛ اگر برازندگی فرد حاصل بهتر بود، این فرد جایگزین فرد قبل خواهد شد. در شکل۳ فلوچارت حل مسئله رسم شده است.



شکل۳: فلوچارت حل مسئله

۳-۴- به کارگیری آنالیز ریسک

برای مدلسازی عدم قطعیت های غیر تصادفی از تکنیک آنالیز ریسک استفاده شده است. آنالیز ریسک راه حل ممتازی است که پشیمانی طراح را پس از بازبینی تصمیماتی که ممکن است بهینه نباشند، ولی احتمال رخداد در آینده دارند، حداقل می کند[۱۶].

روند کار به این صورت است که ابتدا پشیمانی هر طرح در یک سناریو، که برابر مقدار تفاضل تابع هدف متناظر هر طرح با بهترین طرح همان سناریو است، محاسبه می شود. سپس بیشترین پشیمانی به دست آمده از یک طرح در همه سناریوها، تعیین می شود. طرح متناظر با کمترین مقدار به دست آمده در مرحله آخر، طرح برگزیده خواهد بود. بیان ریاضی این مطلب در رابطه (۱۵) نشان داده شده است.

$$\underset{i}{Min}\{\underset{k}{Max}(f_{ik} - f_k^{op})\} \qquad (۱۵)$$

در این فرمول ($f_{ik} - f_k^{op}$) مقدار پشیمانی طرح i در سناریو k است. واضح است این پارامتر برای بهترین طرح هر سناریو برابر صفر خواهد بود.

برای تکمیل روش برای هر سناریو یک امکان وقوع در نظر گرفته شده، و این مورد در انتخاب طرح بهینه لحاظ می گردد. برای نیل به این هدف باید حداکثر پشیمانی وزن دار طرحها در سناریوهای مختلف، حداقل شود. یعنی از رابطه (۱۶) استفاده شود[۱۷].

$$\underset{i}{Min}\{\underset{k}{Max}\{w_k(f_{ik} - f_k^{op})\}\} \qquad (۱۶)$$

در این رابطه، w_k وزن مربوط به هر سناریو که برابر امکان رخداد آن در نظر گرفته می شود، می باشد.

برای مدل کردن عدم قطعیت های غیر تصادفی و استفاده از آنالیز ریسک، چهار سناریوی فرضی برای آینده سیستم در نظر گرفته شده است. برنامه برای این حالتها اجرا و سپس بر اساس جدول پشیمانی تشکیل داده شده طرح بهینه انتخاب می شود.

۳-۵- سناریوهای در نظر گرفته شده

افق برنامه ریزی، چهار ساله در نظر گرفته شده که جدول۱ ظرفیت تولید در انتهای افق برنامه ریزی را نشان می دهد. بار انتهای دوره که توسط نرخ رشد سالیانه مفروض افزایش یافته، مبنای محاسبات می باشد. سناریوهای در نظر گرفته شده برای آینده سیستم عبارتند از:

سناریو اول (حالت پایه): افـزایش بـار بـا نـرخ سـالیانه ۷٪ و ظرفیت تولید نصب شده مطابق ردیف اول جدول۱.

سناریو دوم (کاهش نرخ رشد مصرف): افـزایش بـار بـا نـرخ سالیانه ۶٪ و تولید نصب شده مطابق ردیف اول جدول۱.

سناریو سوم (افزایش نرخ رشد مصرف): افزایش بـار بـا نـرخ سالیانه ۸٪ و تولید نصب شده مطابق ردیف اول جدول۱.

سناریو چهارم (تغییر برنامه توسعه تولید): افزایش بار با نرخ سالیانه ۷٪ و تولید نصب شده مطابق ردیف دوم جدول۱.

جدول۱: حداکثر توان تولیدی هر ژنراتور در آینده

Gmax	G1 (MW)	G2 (MW)	G3 (MW)	G6 (MW)	G8 (MW)
سناریو ۱و۲و۳	۲۵۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۰۰
سناریو۴	۲۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰

برای امکان رخـداد هـر سـناریو، مقـادیری مطـابق جـدول۲ فرض شده است.

جدول۲: امکان رخداد سناریوها در آینده

سناریو	۱	۲	۳	۴
امکان رخداد (w_k)	٪۷۵	٪۱۰	٪۵	٪۱۰

۴- نتایج شبیه سازی

شـبیه سـازی روش پیـشنهادی و اجـرای آن بـرای چهـار سناریوی ذکر شـده، سـه طـرح مناسـب بـرای توسـعه شـبکه را بصورت جدول۳ پیشنهاد داده است.

جدول۳: طرحهای بهینه پیشنهادی در هر سناریو

خطوط پیشنهادی	طرح بهینه سناریو	
۲-۱ و ۵-۱	طرح a	سناریو ۱
۴-۲	طرح b	سناریو ۲و۴
۲-۱ و ۵-۱ و ۳-۲ و ۴-۲	طرح c	سناریو ۳

برای بکار گیری آنـالیز ریـسک جهـت انتخـاب طـرح بهینـه نهایی، مقـدار تـابع هـدف بـرای همـه طرحهـا محاسـبه شـده و جدول۴ تشکیل گردیده است. دیمانسیون مقادیر جـدول۴ ($/h) می باشد.

جدول۴: مقدار تابع هدف طرحهای پیشنهادی در سناریوهای مختلف

	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم
طرح a	۱۴۰۴۰	۱۳۱۸۰	۱۷۶۵۷۰	۱۳۷۲۹
طرح b	۲۴۲۸۵	۱۲۵۰۷	۴۰۶۷۰۰	۱۲۶۴۹
طرح c	۱۵۵۲۷	۱۴۷۳۹	۱۶۴۲۳	۱۵۲۹۶

با ضرب مقادیر هر سـتون در احتمـال رخـداد آن سـناریو و محاسبه تفاضل مقادیر بدست آمده با مقـدار بهینـه هـر سـناریو، جدول پشیمانی وزن دار بصورت جدول۵ تشکیل می گردد.

جدول۵: جدول پشیمانی وزن دار طرحها در سناریوهای مختلف

طرح	پشیمانی سناریوی اول	پشیمانی سناریوی دوم	پشیمانی سناریوی سوم	پشیمانی سناریوی چهارم	حداکثر پشیمانی هر طرح
a	۰	۶۸	۸۰۰۸	۱۰۸	۸۰۰۸
b	۷۶۸۴	۰	۱۹۵۱۴	۰	۱۹۵۱۴
c	۱۱۱۵	۲۲۳	۰	۲۶۵	۱۱۱۵

کمترین مقدار در ستون آخر جـدول۵ در ردیـف سـوم قـرار دارد. لذا نتیجه می شود با در نظر گرفتن عدم قطعیت های فرض شده، (با توجه به رابطه (۱۶)) طرح c بهینه ترین طرح می باشد.

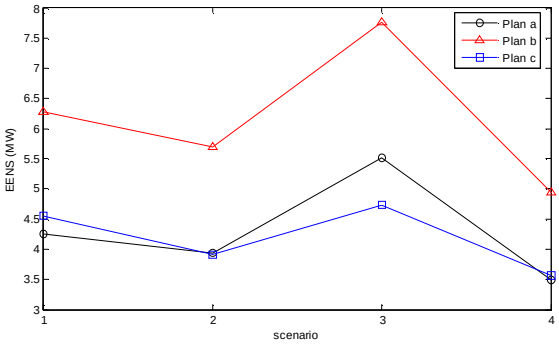
همـانطور کـه قـبلاً توضـیح داده شـد خروجـی برنامـه LP چگونگی بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه را مشخص می کنـد. با توسعه شبکه مطابق طرح c، تولید ژنراتورهای شبکه (در حالت نرمال یعنی قبل از حادثه) به‌ترتیب برابر مقادیر زیر خواهد بود:

PG0={26.14 132.73 80.00 189.89 183.45}(MW)

همچنین میزان انرژی تأمین نشده مورد انتظار(EENS) -که از شاخصهای مهم و متداول ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه است- در بدترین حالت برابر است با:

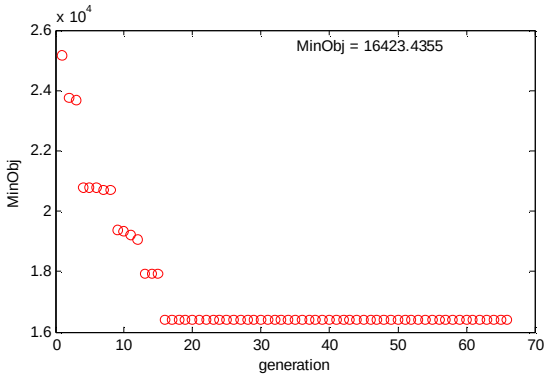
EENS = 4.7381 MW

در شکل۴ تغییرات این شاخص برای سه طرح پیشنهادی در سناریوهای مختلف رسم شده است. ملاحظه می شود که EENS مربوط به طرح b در تمام سناریوها مقدار بیشتری نـسبت بـه دو طرح دیگر دارد، لذا از این لحاظ طرح مناسبی برای توسعه شبکه نمی باشد. همچنین ملاحظه می شود با در نظر گـرفتن شـاخص EENS در هر چهار سناریو نیز، طرح c بهترین طرح می باشد.



شکل۴: تغییرات EENS طرحهای پیشنهادی در هر سناریو

در شکل۵ روند بهبود جواب منتهی به طرح بهینه (طرح c) در طی گذشت نسلهای GA ارائه شده است.



شکل۵: تغییرات تابع هدف در طول تغییرات نسل GA

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال ارائه شده، که در آن علاوه بر هزینه احداث خطوط، هزینه مورد انتظار برای بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه نیز در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن همزمان حالت نرمال و حادثه و احتمال رخداد حوادث در سیستم و همچنین هزینه های خاموشی های احتمالی در روش پیشنهادی، از مزایای این روش می باشد. با رعایت قیود بارگیری و دیگر قیود لازم، امنیت سیستم در آینده نیز تأمین می شود.

برای حل مسئله که شامل متغیرهای عدد صحیح می باشد، الگوریتم ژنتیکی طراحی و بکار رفته است که در بخش تعیین برازندگی آن یک برنامه LP فراخوانی می شود.

همچنین با در نظر گرفتن چند سناریو برای عدم قطعیتهای افق برنامه ریزی و اجرای برنامه برای سناریوهای مختلف، طرح بهینه نهایی با استفاده از آنالیز ریسک انتخاب شده است.

نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی روی شبکه ۱۴ باسه IEEE نشان می دهد، طرح بهینه نهایی علاوه بر هزینه مینیمم، از نظر شاخص قابلیت اطمینان EENS، نیز مقدار مناسبی در سناریوهای مختلف دارد.

مراجع

[1] Jun Hua Zhao; Zhao Yang Dong; Lindsay, P., Kit Po Wong; " Flexible Transmission Expansion Planning With Uncertainties in an Electricity Market", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 24, no. 2, pp479-488, Feb 2009

[2] M. O. Buygi, G. Balzer, H. M. Shanechi, and M. Shahidehpour, "*Network Planning in Unbundled Power Systems*", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 21, no. 3, August 2006

[3] de la Torre, S.; Conejo, A.J.; Contreras, J.,"Transmission Expansion Planning in Electricity Markets", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 23, , no. 2, pp. 238-248, Feb 2008

[۴] مجید علومی بایگی، "توسعه بازار محوری شبکه های انتقال با استفاده از روشهای احتمالی"، رساله دکترا، بهمن ۱۳۸۳

[5] Risheng Fang and David J. Hill, "*A New Strategy for Transmission Expansion in Competitive Electricity Markets*", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 18, No.1, February 2003

[6] R. Romero, R. A. Gallego, and A. Monticelli, "Transmission system expansion planning by simulated annealing", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 11, pp. 364–369, Feb. 1996

[7] C. W. Lee, S. K. K. Ng, J. Zhong and F. F. Wu, "*Transmission expansion planning from past to future*", 2006 IEEE PES Power Systems Conference & Exposition, pp. 257-265, 2006

[8] G. Latorre, R. D. Cruz, and J. M. AreizaA. Villegas, "*Classification of publications and models on transmission expansion planning*", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 18, no. 2, pp. 938–946, May 2003

[۹] مهدی صمدی، "توسعه شبکه انتقال در محیط تجدید ساختار یافته برای افق چند ساله"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، تیر ۱۳۸۸

[10] Jaeseok Choi, A. El-Keib, "A Fuzzy Branch and Bound-Based Transmission System Expansion Planning for the Highest Satisfaction Level of the Decision Maker", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 20, no. 1, February 2005

[11] A.A. El-Keib, Jaeseok Choi, "*Transmission Expansion Planning Considering Ambiguities Using Fuzzy Modeling*", IEEE Power Engineering PSCE, Power System Conference & Exposition, November 2006, pp:207-215

[12] J. Contreras and F. F.Wu, "A kernel-oriented algorithm for transmission expansion planning", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 15, pp. 1434–1440, Nov, 2000

[13] R. C. G. Teive, E. L. Silva, and L. G. S. Fonseca, *"A cooperative expert system for transmission expansion planning of electrical power systems*", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 13, pp. 636–642, May 1998

[14] John Condren, Thomas W. Gedra and Parnjit Damrongkulkamjorn, "Optimal Power Flow With Expected Security Costs" ,IEEE Transaction on Power Systems, vol 21, no.2 ,November 2006

[۱۵] مهدی صمدی، حبیب رجبی مشهدی، "تعیین بهینه مقدار ظرفیت رزرو چرخان و توزیع آن بین واحدها با در نظر گرفتن حوادث احتمالی در سیستم قدرت"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، آبان ۱۳۸۸

[16] M. Parsa Moghaddam, H. Abdi, and M. H. Javidi, "Transmission Expansion Planning in Competitive Electricity Markets Considering Risk Analysis", Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems & Sustainable Development, Greece, July 2006

[17] M. Lu, Z.Y. Dong, and T.K. Saha, "A Framework for Transmission Planning in a Competitive Electricity Market", 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, Asia and Pacific Dalian, China