

طراحی دینامیکی توسعه شبکه انتقال در محیط‌های تجدید ساختار یافته

علی اکبر عبدوس^۱، اصغر اکبری فرود^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

۲- استادیار مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

*سمنان، صندوق پستی: ۳۵۱۳۱۱۹۱۱۱

aakbari@semnan.ac.ir

(دریافت مقاله: شهریور ۱۳۸۷، پذیرش مقاله: تیر ۱۳۸۸)

چکیده - طراحی توسعه انتقال یکی از مهمترین بخشهای طراحی توسعه در سیستم‌های قدرت است. تجدیدساختار در صنعت برق، اهداف طراحی را تغییر داده و آن را با چالش‌های جدیدی روبه‌رو کرده است. در این محیط جدید، طراحی منسجم و جامع، به‌طوری که بر مبنای معیارهای بازار و افق طراحی طولانی مدت باشد، امری ضروری است. در این مقاله، الگوریتم جدیدی برای طراحی دینامیکی توسعه انتقال در محیط‌های تجدید ساختار یافته ارائه شده است. در این الگوریتم، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه عملیاتی سیستم، به‌عنوان معیارهای اقتصادی بازار برق و متوسط هزینه قطع بار در پیشامدهای احتمالی، به‌عنوان معیار قابلیت اطمینان از دیدگاه بازار و هزینه تراکم، به‌عنوان عامل تشویق رقابت در میان شرکت‌کنندگان بازار، استفاده شده است. برای حل مسأله طراحی توسعه انتقال، از الگوریتم ژنتیکی همراه با روش ارضای فازی استفاده شده است. در انتها، روش ارائه شده بر روی شبکه ۸ شینه و شبکه ۳۰ شینه IEEE، آزمایش شده است.

کلید واژگان: طراحی دینامیکی توسعه انتقال، بازار برق، الگوریتم ژنتیکی، روش ارضای فازی.

۱- مقدمه

برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم، وظیفه ایجاد رقابت در میان تولیدکنندگان را نیز بر عهده دارد. در این محیط، هر یک از شرکت‌کنندگان بازار، تصمیم‌های خود را به‌طور مستقل اتخاذ می‌کند و به این دلیل، الگوهای بار به‌طور پیوسته در حال تغییر بوده و لذا عدم قطعیتها افزایش می‌یابد. در این میان، فراهم کردن محیط رقابتی و عادلانه

با ایجاد تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت، روشهای سنتی دیگر پاسخگوی نیازهای طراحی توسعه انتقال نیستند. در سیستم‌های سنتی، هدف، فقط تأمین بار با کیفیت و تداوم قابل قبول است، اما در محیط جدید، سیستم انتقال علاوه بر اتصال بارها و ژنراتورها به یکدیگر

به طوری که دسترسی تمامی شرکت‌کنندگان به آن یکسان باشد، امری ضروری به نظر می‌رسد [۱-۴].

طراحی توسعه انتقال، به‌طور کلی به دو بخش طراحی استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود [۲]. در طراحی استاتیکی فقط یک سال یا دوره خاصی مدنظر است و مشخص می‌شود که چه وسیله‌ای، در چه مکانی از سیستم انتقال باید نصب شود [۵-۱۰]؛ اما در طراحی دینامیکی، طراحی برای یک بازه چندساله انجام می‌شود و علاوه بر نکات طراحی استاتیکی، زمان احداث خطوط نیز باید مشخص شود [۱۱-۱۶].

طراحی استاتیکی توسعه انتقال در محیط‌های تجدید ساختار یافته، اخیراً مورد توجه محققان بوده است. در برخی از این تحقیقات، از ابزارهای احتمالی برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها استفاده شده است [۵-۱۰]. در یکی از این تحقیقات، از ارزیابی ریسک فازی برای انتخاب طرح نهایی استفاده شده است [۵]، و در تحقیق دیگری، طرح نهایی براساس تمایلات سرمایه‌گذاران انتخاب شده است [۶]. در [۷] یک روش ترکیبی از مراجع [۵ و ۶]، برای انتخاب طرح نهایی به‌کار گرفته شده است. در تحقیق دیگری نوعی ابزار احتمالی برای محاسبه تابع توزیع چگالی احتمال برای قیمت‌های حاشیه‌ای ارائه شده و طرح نهایی براساس ارزیابی ریسک فازی انتخاب شده است [۸]. تمایلات مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، اپراتور سیستم و تنظیم‌کننده شبکه که شامل قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری شبکه، هزینه توسعه انتقال، رقابت و آثار محیطی - که هر یک دارای درجه اهمیت مختلفی از دیدگاه شرکت‌کنندگان بازار است - با استفاده از روش تصمیم‌گیری فازی، در طراحی استاتیکی توسعه انتقال در نظر گرفته شده است [۹]. افزایش رفاه اجتماعی در

بازار برق نیز یکی از اهداف طراحی توسعه انتقال است تا طراحی انتخاب شود که تمامی شرکت‌کنندگان بازار از منافع آن بهره‌مند شوند [۱۰]. طراحی دینامیکی توسعه انتقال در بازارهای برق از دیدگاه‌های مشابهی مطالعه شده است. هدف اصلی این تحقیقات، کمینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری همراه با ایجاد سطح مناسبی از قابلیت اطمینان است [۱۱-۱۵]. معیارهای قابلیت اطمینان مختلفی مانند، مقدار انرژی فراهم نشده [۱۱]، مقدار بار قطع شده [۱۲-۱۳] و هزینه بار قطع شده [۱۴-۱۵]، همراه با هزینه‌های توسعه نیز در نظر گرفته شده است. افزایش سود حاصل از توسعه انتقال توان، با استفاده از روش تمبر پستی و کمینه‌سازی هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه قطع بار در [۱۴]، به‌عنوان تابع هدف مسأله طراحی دینامیکی در نظر گرفته شده است. کمینه‌سازی هزینه سرمایه‌گذاری و تراکم و بیشینه‌سازی بازگشت سرمایه به‌طور جداگانه، با در نظر گرفتن شاخصی برای کنترل قدرت بازار نیز، برخی از اهداف در طراحی شبکه انتقال بوده است [۱۶].

متناظر با فرمول‌بندی مسائل دینامیکی، روش‌های بهینه‌سازی متفاوتی برای حل آنها وجود دارد. با توجه به ابعاد مسأله طراحی دینامیکی و پیچیدگی آن، فرمول‌بندی مسأله توسعه دینامیکی دشوار است. لذا از روش‌های ابتکاری مانند شبیه‌سازی بازپخت^۱ [۱۱]، الگوریتم ژنتیکی^۲ [۱۲-۱۴]، برای حل این‌گونه مسائل استفاده شده است. روش بهینه‌سازی ترتیبی نیز برای کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری، قطع بار و هزینه تولید به‌عنوان تابع هدف، به‌کار رفته و بدین ترتیب حجم محاسبات تا مقدار زیادی کاهش یافته است [۱۵].

1. Simulated Annealing
2. Genetic Algorithm

طراحی ارائه شده است. شبیه‌سازی و نتایج عددی در بخش ۴ آورده شده و مقاله در بخش ۵ با بیان نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی پایان می‌یابد.

۲- مدل عملیاتی بازار

در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته، اپراتور مستقل سیستم، ژنراتورها را به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌کند که بارها با حداقل هزینه تأمین شود و به‌طور همزمان امنیت و کیفیت در سیستم قدرت نیز برقرار باشد. هریک از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، مقدار حداقل و حداکثر توان تولیدی و مصرفی خود را به اپراتور مستقل سیستم اعلام می‌کنند. سپس قیمت حاشیه‌ای محلی و مقدار تولید و مصرف هر ژنراتور و بار، پس از اجرای پخش بار بهینه توسط اپراتور مستقل سیستم به دست می‌آید [۸].

مدل ریاضی محاسبه قیمت حاشیه‌ای محلی در زیر ارائه شده است. پخش بار بهینه به صورت نوعی مسأله بهینه‌سازی، مدل‌سازی می‌شود. تابع هدف، مقدار هزینه کلی عملیاتی شبکه است که شامل هزینه تولید ژنراتورها و هزینه قطع بار می‌شود. معادلات پخش بار، قیود توان خطوط، قیود ژنراتور و رابطه بار، قیود مسأله بهینه‌سازی است. تابع هدف و قیود در معادلات (۱) تا (۵) نشان داده شده است. سیستم قدرت با N_b شین، N_g ژنراتور، N_l بار و N_l خط مفروض است؛ مسأله بهینه‌سازی به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\text{Min } J(P_G, P_D) = P_{\text{Base}} [C_G^T P_G + C_D^T (P_D^{\text{max}} - P_D)] \quad (1)$$

$$\text{s.t: } B\delta = P_G - P_D - P_{\text{tie}} \quad (2)$$

$$-P_l^{\text{max}} \leq H\delta \leq P_l^{\text{max}} \quad (3)$$

آنچه باید مدنظر قرارگیرد این است که ارائه روشی انعطاف‌پذیر که تصمیم‌گیرندگان مختلف بتوانند طرح بهینه را بر مبنای انتظار خود از معیارهای فنی و اقتصادی برگزینند، ضروری است. مقالات ارائه شده در طراحی دینامیکی توسعه انتقال، توجه خود را بیشتر بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های مربوط به قطع بار در پیشامدهای احتمالی - به عنوان معیار قابلیت اطمینان - معطوف کرده و معیارهای بازار برق را کمتر بررسی کرده‌اند. ایجاد رقابت، دسترسی یکسان برای تمامی شرکت‌کنندگان بازار و انعطاف‌پذیری عملیاتی شبکه، معیارهایی است که در ضمن طراحی توسعه در محیط‌های تجدید ساختار یافته باید مورد توجه قرار گیرند. از طرف دیگر، به دلیل پیچیدگی فرمول‌بندی مسائل طراحی دینامیکی و زمان زیاد لازم برای یافتن جواب بهینه و مشکلات همگرایی در الگوریتم طراحی، بیشتر مقالات مرتبط با محیط‌های تجدید ساختار یافته، بر طراحی استاتیکی مبتنی است.

در این مقاله، نوعی روش توسعه انتقال بر اساس معیارهای بازار - که بیانگر خواسته‌های شرکت‌کنندگان بازار است - در افق طراحی چند ساله ارائه می‌شود تا طرحی منسجم، با هدف ایجاد رقابت، قابلیت اطمینان و انعطاف عملیاتی با کمترین هزینه ممکن به دست آید. از آنجا که طراحی توسعه انتقال ذاتاً مسأله‌ای از نوع بهینه‌سازی غیرخطی گسسته است، از الگوریتم ژنتیکی - که ابزار بهینه‌سازی قدرتمندی است - استفاده شده است. به علاوه، هریک از اهداف طراحی دارای درجه اهمیت متفاوتی است که تصمیم‌گیرنده، به روش ارضای فازی با تغییر تابع عضویت متناظر با هر یک از این اهداف، می‌تواند نظر خود را اعمال و طرح بهینه را مطابق با سطح ارضای مورد نظر خود، به دست آورد.

در ادامه، ابتدا در بخش ۲ به مدل عملیاتی بازار پرداخته و در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی و مراحل

۳- الگوریتم پیشنهادی و مراحل طراحی

۳-۱- ارائه شاخص‌های طراحی

هدف اصلی طراحی توسعه انتقال در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته، فراهم ساختن محیطی رقابتی و بدون تبعیض برای تمامی شرکت‌کنندگان بازار است. برای رسیدن به این هدف، لازم است برخی ملاک‌ها برای اندازه‌گیری میزان رقابت در بازار تعریف شده و میزان تأثیر هر طرح در بهبود این ملاک‌ها مشخص شود. بنابراین ملاک‌های قابلیت اطمینان سیستم و معیارهای فنی همراه با معیارهای اقتصادی باید در سخت‌ترین شرایط بارگذاری در پیک بار تعیین شوند. به‌طور کلی، اضافه کردن طرح‌های انتقال، موجب بهبود عملکرد شبکه می‌شود، اما تأثیر اضافه شدن خطوط بر معیارهای طراحی، متفاوت است. لذا بررسی هر معیار به تنهایی، برای انتخاب طرح نهایی کافی نیست و ملاک‌ها باید به‌طور همزمان بهینه شوند. از طرف دیگر، توجیه هزینه‌ها در محیط‌های رقابتی بسیار مهم است. بنابراین، هزینه‌های طراحی توسعه انتقال، باید در کنار سایر معیارهای بازار مدنظر قرار گیرد. ملاک‌های زیر به‌منظور سنجش طرح‌های توسعه انتقال تعریف شده است.

۳-۱-۱- هزینه تراکم

هزینه تراکم خط، هزینه فرصت برای انتقال توان از طریق آن خط است. شکل (۱) را در نظر بگیرید که خط i ام شبکه در آن نشان داده شده است. قیمت‌های حاشیه‌ای محلی شین i_1 و i_4 برابر Imp_{i_1} و Imp_{i_4} است. لذا هزینه تراکم خط i یا هزینه فرصت انتقال توان الکتریکی از شین i_1 به شین i_4 برابر است با:

$$CC_i = (Imp_{i_4} - Imp_{i_1})P_{i_{i_1}} \quad i = 1, 2, \dots, N_l \quad (7)$$

$$P_G^{\min} \leq P_G \leq P_G^{\max} \quad (4)$$

$$P_D^{\min} \leq P_D \leq P_D^{\max} \quad (5)$$

که $J(P_G, P_D)$ هزینه عملیاتی کل سیستم، P_{Base} توان اکتیو مینا، C_G و C_D بردار پیشنهادی قیمت تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، P_G و P_D بردارهای توان اکتیو تولیدی و مصرفی، P_{tie} بردار توان خروجی در ناحیه مورد مطالعه با دیگر نواحی همسایه، B ماتریس ژاکوبین خطی‌سازی شده، H ماتریس خطی‌سازی شده فلوی خطوط، δ بردار زوایای ولتاژ برحسب رادیان، P_G^{\max} و P_G^{\min} بردارهای قیود حداقل و حداکثر توان تولیدی توسط ژنراتورها، P_D^{\max} و P_D^{\min} بردارهای قیود حداقل و حداکثر توان مصرفی توسط بارها و P_l^{\max} بردار رابطه خطوط است.

تابع هدف رابطه (۱)، نمایانگر هزینه نهایی سیستم است. بخش اول رابطه (۱)، نشان‌دهنده هزینه لازم برای تولید ژنراتورها است. مجموع بخش‌های دوم و سوم، بیانگر هزینه قطع بار است. از آنجا که بخش دوم ثابت است، تابع هدف به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$\text{Min } J(P_G, P_D) = P_{Base} [C_G^T P_G - C_D^T P_D] \quad (6)$$

رابطه (۲) بیانگر محدودیت پخش بار DC و رابطه (۳) بیانگر محدودیت‌های توان خطوط است. رابطه‌های (۴) و (۵) به‌ترتیب بیانگر محدودیت‌های تولید و بار است. در این روش، از تلفات شبکه صرف‌نظر شده است. پس از حل مسأله، قیمت‌های حاشیه‌ای محلی با محاسبه ضرایب لاگرانژ رابطه (۲)، به‌دست می‌آید.

CC_i : هزینه تراکم خط i (\$/hr)

N_i : تعداد خطوط شبکه

N_b : تعداد شین‌های شبکه

لذا در این مقاله برای مدل‌سازی اثر طرح k در تراکم سیستم، در طول سالیان طراحی، شاخصی به‌عنوان هزینه کلی شبکه در طول افق طراحی پیشنهاد می‌شود که در این شاخص اثر نرخ بهره نیز در نظر گرفته شده است. این شاخص بر طبق رابطه (۱۰) عبارت است از:

$$CC^k = \sum_{p=1}^{np} \frac{TCC^p}{(1+r)^p} \quad (10)$$

CC^k : هزینه تراکم کلی شبکه پس از اضافه کردن

طرح k ام در افق طراحی

TCC^p : هزینه تراکم سیستم برای سال p ام

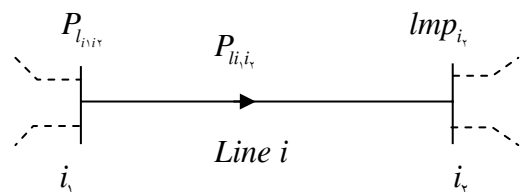
np : تعداد سال‌ها در افق طراحی

r : نرخ بهره

یک شبکه انتقال قدرت مفروضی را در نظر بگیرید و فرض کنید چند طرح برای توسعه انتقال پیشنهاد شده است. طرحی که محدودیت‌های شبکه را بیشتر کاهش می‌دهد، سبب می‌شود که ژنراتورهای ارزاتری به مدار وارد شوند. بنابراین، این طرح سبب می‌شود که اختلاف قیمت‌های حاشیه‌ای کمتر شده و در نتیجه هزینه تراکم کمتر شود. به بیان دیگر، تغییر در هزینه تراکم پس از اضافه کردن طرح توسعه، معیاری صحیح برای اندازه‌گیری میزان تسهیل رقابت در شبکه است.

۳-۱-۲- هزینه متوسط قطع بار در رخدادهای احتمالی

در شرایط غیرعادی مانند خروج یکی از خطوط شبکه، ساختار خوب شبکه می‌تواند از قطع بار بر اثر رخداد احتمالی پیشامده، جلوگیری کند. فراهم کردن شبکه‌ای با قابلیت اطمینان بالا در رخدادهای احتمالی شبکه، یکی از اهداف در طراحی توسعه انتقال است. مصرف‌کنندگان



شکل ۱ خط i ام یک شبکه

هزینه تراکم نهایی شبکه یا هزینه فرصت انتقال توان از طریق شبکه برای سال p ام در افق طراحی و در پیک بار، از رابطه (۸) به دست می‌آید. اگر هیچ تراکمی در شبکه وجود نداشته باشد، مگاووات بعدی توسط ارزاترین ژنراتور برنامه‌ریزی نشده (ژنراتور حاشیه‌ای)، تأمین می‌شود و قیمت‌های حاشیه‌ای محلی، در تمامی شین‌ها برابر بوده و در نتیجه، هزینه تراکم برابر صفر است:

$$TCC^p = \sum_{i=1}^{N_i} CC_i = \sum_{i=1}^{N_i} (lmp_{i_t} - lmp_{i_1}) P_{l_{i_1,i_t}} \quad (8)$$

TCC^p : هزینه نهایی تراکم شبکه برای سال p ام

بر حسب \$/MWhr

اثبات می‌شود که هزینه تراکم نهایی در سال p ام در افق طراحی و در پیک بار، برابر است با مجموع پرداخت توسط بارها، منهای مجموع دریافت‌ها توسط ژنراتورها، یعنی:

$$TCC^p = \sum_{j=1}^{N_b} P_{d_j}^p lmp_j - \sum_{j=1}^{N_b} P_{g_j}^p lmp_j \quad (9)$$

$P_{d_j}^p$: توان مصرفی در شین j در سال p ام بر حسب MW

$P_{g_j}^p$: توان تولیدی در شین j در سال p ام بر حسب MW

$$ALC^p = \frac{1}{N_i^p} TLC^p \quad (13)$$

در این مقاله برای محاسبه اثر طرح k ام در هزینه قطع بار سیستم در سالیان طراحی، شاخصی به‌عنوان متوسط هزینه قطع بار سیستم برای طرح k ام، با در نظر گرفتن اثر نرخ بهره ارائه می‌شود (رابطه ۱۴):

$$alc^k = \sum_{p=1}^{np} \frac{ALC^p}{(1+r)^p} \quad (14)$$

alc^k : ارزش فعلی هزینه قطع بار سیستم برای طرح k ام
 ALC^p : هزینه قطع بار سیستم در سال p ام

۳-۱-۳- هزینه عملیاتی سیستم

هزینه عملیاتی عبارت است از مجموع هزینه ژنراتورها و هزینه قطع بار. هنگامی که یک طرح توسعه به شبکه اضافه می‌شود، هزینه عملیاتی ژنراتور تغییر می‌یابد. بنابراین در ملاک‌های طراحی، هزینه ژنراتورها باید ملحوظ شود. هزینه عملیاتی سیستم برای طرح k ام، پس از اضافه کردن خطوط انتخاب شده، برای هر سال به‌طور جداگانه، با اجرای پخش بار بهینه و به‌دست آوردن مقدار $J(P_G^p, P_D^p)$ مطابق رابطه (۱۵) و قیود (۲) - (۵)، محاسبه می‌شود:

$$OC^p = J(P_G^p, P_D^p) \quad (15)$$

P_G^p, P_D^p : بردار توان اکتیو بار و تولید در سال p ام در افق طراحی در پیک بار

OC^p هزینه عملیاتی سیستم برای سال p ام در افق طراحی در این مقاله، برای محاسبه اثر طرح k ام در هزینه عملیاتی سیستم در طول سالیان طراحی، شاخصی به‌عنوان

به دو دلیل مهم با قطع بار روبه‌رو می‌شوند: اول، خطوطی که توان را به بارها انتقال می‌دهند متراکم شده باشند، دوم، هرگاه قیمت‌های حاشیه‌ای محلی بر روی شین از قیمت پیشنهادی توسط مصرف‌کنندگان فراتر رود. لذا هرچه مصرف‌کنندگان با قطعی کمتری در رخدادهای احتمالی روبه‌رو شوند، قابلیت اطمینان سیستم افزایش خواهد یافت. بنابراین با کاهش هزینه قطع بار در پیشامدهای احتمالی، احتمال رخداد تراکم کمتر شده و لذا شبکه قابلیت اطمینان بیشتری خواهد داشت. در این مقاله برای هر طرح پیشنهادی توسعه انتقال، هزینه قطع بار در پیک بار سال p ام، هنگامی که خط i ام خارج شده، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$LC_i^p = (P_d^p - P_d^{i,p}) C_d \quad (11)$$

P_d^p : بردار حداکثر تقاضای بار در سال p ام در افق طراحی
 $P_d^{i,p}$: بردار توان اکتیو بار تأمین شده در سال p ام در افق طراحی پس از خروج خط i ام
 $(P_d^p - P_d^{i,p})$: مقدار قطع بار بر اثر خروج خط i ام در سال p ام در افق طراحی
 LC_i^p : هزینه قطع بار در هنگام خروج خط i ام در سال p ام در افق طراحی
 هزینه کلی قطع بار در سیستم بر اثر خروج خطوط شبکه در سال p ام در افق طراحی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TLC^p = \sum_{i=1}^{N_i^p} LC_i^p = \sum_{i=1}^{N_i^p} \max (P_d^p - P_d^{i,p}) C_d \quad (12)$$

N_i^p : تعداد خطوط نصب شده تا سال p ام در افق طراحی
 متوسط هزینه قطع بار کلی در یک سیستم در سال p ام، از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

همزمان کمینه سازد تا نیاز شرکت کنندگان بازار، به طور همزمان برآورده شود. الگوریتم ژنتیکی، برای یافتن طرح بهینه در فضای جستجو به کار گرفته شده است. به منظور برآوردن معیارهای طراحی به طور همزمان نیز از روش ارضای فازی استفاده شده است. مراحل طراحی به ترتیب زیر است.

۳-۲-۱- تعیین توابع عضویت برای هریک از شاخص‌های طراحی با استفاده از روش ارضای فازی

۳-۲-۱-۱- روش ارضای فازی

مسئله طراحی توسعه انتقال، نوعی مسأله بهینه‌سازی آمیخته غیرخطی و دارای چند تابع هدف است. از طرفی، تصمیم‌گیرندگان دارای سطوح ارضای مختلف و اهداف متفاوت در اعمال نظر خود برای درجات اهمیت مختلف نسبت به هریک از ملاک‌های طراحی توسعه است، لذا برای مشخص کردن سطح ارضای اهداف مورد نظر، روش ارضای فازی می‌تواند در حل مسائل با چندین تابع هدف بسیار مؤثر باشد [۱۷]. هریک از مجموعه‌های فازی توسط معادلاتی که تابع عضویت نامیده می‌شود، نشان داده می‌شود. مقدار بیشتر این تابع، بیانگر سطح ارضای بالاتری است. این تابع، دارای یک حد پایین و یک حد بالا است و تابعی از نوع یکنواخت نزولی انتخاب می‌شود. شکل (۲) چنین تابع عضویتی را نشان می‌دهد. قیود مرزی با $f_q^{\max}(\bar{X})$ و $f_q^{\min}(\bar{X})$ برای هریک از توابع هدف $f_q(\bar{X}), q=1-n$ نشان داده می‌شود تا یک تابع عضویت $\mu_{fq}(\bar{X})$ ، برای هر $f_q(\bar{X})$ به دست آید. تصمیم‌گیرنده به طور کامل ارضا می‌شود، اگر $\mu_{fq}(\bar{X})$ برابر یک شود و ارضا نمی‌شود، هرگاه این مقدار برابر صفر شود. تابع عضویت q ام به صورت رابطه (۱۸)

هزینه عملیاتی سیستم برای طرح k ام، با در نظر گرفتن اثر نرخ بهره ارائه می‌شود (رابطه ۱۶). ارزش فعلی برای هزینه کلی سیستم در طول سال p ام در افق طراحی با استفاده از رابطه (۱۶) به دست می‌آید. مقدار کمتر این معیار نشان می‌دهد که ژنراتورهای ارزانتر، توان بیشتری تولید می‌کنند که این نیز خود باعث افزایش رفاه اجتماعی و رقابت می‌شود:

$$oc^k = \sum_{p=1}^{np} \frac{OC^p}{(1+r)^p} \quad (16)$$

oc^k هزینه عملیاتی سیستم برای طرح k ام است

۳-۱-۴- هزینه سرمایه‌گذاری

شامل هزینه‌های مسیر، دکل انتقال، سیم‌ها و دیگر لوازم جانبی است. طراحی توسعه انتقال باید براساس هزینه انجام شده باشد. از این دیدگاه، طرح بهینه با بهترین بهبود در معیارهای طراحی و کمترین هزینه حاصل می‌شود. برای در نظر گرفتن طرح k ام در هزینه سرمایه‌گذاری سیستم در طول سالیان طراحی، شاخصی به عنوان "هزینه سرمایه‌گذاری برای طرح k ام" با در نظر گرفتن اثر نرخ بهره، ارائه می‌شود (رابطه ۱۷):

$$ic^k = \sum_{p=1}^{np} \frac{IC^p}{(1+r)^p} \quad (17)$$

ic^k : هزینه سرمایه‌گذاری برای طرح k ام

IC^p : هزینه سرمایه‌گذاری برای احداث خطوط در

سال p ام افق طراحی

۳-۲- مدل‌سازی ریاضی و روش حل

هدف این مقاله، ارائه روشی به منظور یافتن طرح بهینه‌ای است که معیارهای طراحی ذکر شده را به طور

cc^{max} و alc^{max} محاسبه می‌شود که مقدار تابع عضویت متناظر آنها برابر صفر است. فقط، برای معیار هزینه سرمایه‌گذاری، بیشترین هزینه احداث خطوط یعنی ic^{max} در طول افق طراحی را برابر با هزینه احداث حداکثر تعداد مجاز گرانترین خطوط و مقدار تابع عضویت متناظر با آن را برابر ۰/۱ در نظر می‌گیریم. از طرف دیگر، مقادیر ایدئال برای معیارهای هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه تراکم و هزینه متوسط قطع بار زمانی حاصل می‌شود که صفر شوند، $ic^{min} = 0$ ، $cc^{min} = 0$ و $alc^{min} = 0$ ، اما برای هزینه عملیاتی سیستم این مقدار برابر با هزینه تأمین بارها توسط ژنراتورهایی با حداقل قیمت در طول سالیان افق طراحی است، که در این صورت، مقدار توابع عضویت متناظر با آنها برابر با حداکثر مقدارش است؛ یعنی، $\mu(ic^{min}) = 1$ ، $\mu(oc^{min}) = 1$ و $\mu(alc^{min}) = 1$.

۳-۲-۲- ایجاد جمعیت اولیه

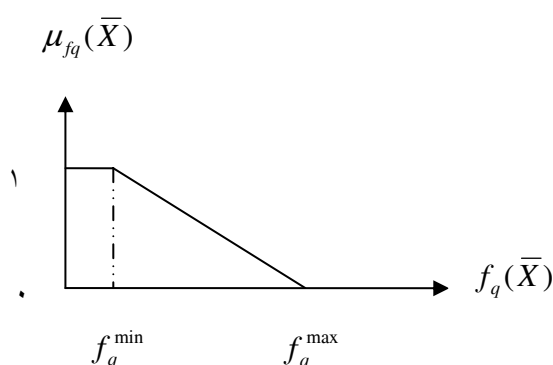
کدگذاری متغیرها، اولین قدم در الگوریتم ژنتیکی است. هر متغیر توسط یک رشته بیت، نشان داده می‌شود. هر یک از رشته بیت‌ها، یک کروموزوم را تشکیل می‌دهد که نماینده یک طرح توسعه است، برای طراحی چندساله، کروموزوم‌ها به صورت یک ماتریس $(n \times m)$ نشان داده شده‌اند. n بیانگر سال‌های افق طراحی و m تعداد کاندیداهای طراحی است. به عنوان مثال در کدبندی شکل (۳)، در شاخه ۳-۲ یک بار در سال اول و بار دیگر در سال n ام احداث می‌شود.

۱-۵	۲-۳	۲-۷	۳-۱	۳-۵	۳-۸	۴-۷	۵-۲
۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰
...
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰

شکل ۳ کدگذاری طراحی چند مرحله‌ای

تعیین می‌شود که f_q^{min} حداقل مقدار و f_q^{max} حداکثر مقدار تابع هدف q ام و n تعداد توابع هدف است:

$$\mu_{f_q}(\bar{X}) = \begin{cases} 0 & \text{if } f_q(\bar{X}) \geq f_q^{max} \\ \frac{f_q^{max} - f_q(\bar{X})}{f_q^{max} - f_q^{min}} & \text{if } f_q^{min} < f_q(\bar{X}) < f_q^{max} \\ 1 & \text{if } f_q(\bar{X}) \leq f_q^{min} \end{cases} \quad (18)$$



شکل ۲ تابع عضویت برای معیارهای تصمیم‌گیری

۳-۲-۱- تعیین توابع عضویت برای معیارهای طراحی

پیش از حل مسأله، شبکه پایه را برای شرایط سال مبنا در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم که هیچ خطی در مدت افق طراحی احداث نشود، اکنون معیارهای طراحی را برای پیک بار در طول سالیان افق طراحی با توجه به روابط ارائه شده در بخش ۳ محاسبه می‌کنیم. این مقدار برای معیار هزینه سرمایه‌گذاری بهترین است، زیرا هیچ‌گونه عمل احداث خط انجام نشده، اما برای معیارهای هزینه تراکم، هزینه عملیاتی سیستم و متوسط هزینه قطع بار، بدترین است؛ زیرا احداث خطوط جدید، به بهبود این معیارها کمک می‌کند. با این محاسبات، مقادیر حداکثر معیارهای هزینه عملیاتی سیستم، هزینه تراکم و هزینه متوسط قطع بار، یعنی، oc^{max} ،

تحریک به کار روند. این روش می تواند فشار انتخابی ثابتی را در جستجوی تکاملی وارد کرده و از مشکلات پیش آمده در چرخ رولت جلوگیری کند. [مراجع ارائه شود

۳-۲-۴-۲- عمل ترکیب برای رشته های صحیح

عملگر ترکیب k نقطه ای، عملگر معمول برای رشته های صحیح است. این ترکیب می تواند برای هر رشته ای با الفبای دلخواه به کار رود. فرض کنید یک جفت با طول l داده شده است و k عدد تصادفی r_1, r_2, \dots, r_k بین 1 و $l-1$ با توزیع یکنواخت و بدون تکرار تولید شود. سپس یک کروموزوم جدید با کنار هم قرار دادن قسمت هایی از رشته های جفت (که توسط r_1, r_2, \dots, r_k جدا شده اند)، به طور متناوب، تولید می شود؛ یعنی قسمت اول از جفت اول و قسمت دوم از جفت دوم، قسمت سوم از جفت اول تا آخر. همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده، کروموزوم جدید شامل قسمتهایی از کروموزوم های اول و دوم است. k برابر یک در نظر گرفته شده و ترکیب برای هر سال به طور جداگانه اعمال شده و $r_1 = 2$ و $r_n = 6$ انتخاب شده است.

۱-۵	۲-۳	۲-۷	۳-۱	۳-۵	۳-۸	۴-۷	۵-۲	مرحله ۱
۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	کروموزوم ۱
...	...	...	...	...	...	...	...	مرحله n
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	

۱-۵	۲-۳	۲-۷	۳-۱	۳-۵	۳-۸	۴-۷	۵-۲	مرحله ۱
۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	کروموزوم ۲
...	...	...	...	...	...	...	...	مرحله n
۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	

۱-۵	۲-۳	۲-۷	۳-۱	۳-۵	۳-۸	۴-۷	۵-۲	مرحله ۱
۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	فرزند
...	...	...	...	...	...	...	...	مرحله n
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	

شکل ۴ نمایش عمل ترکیب

۳-۲-۳- تعیین مقدار عضویت هر یک از افراد جمعیت

بعد از مشخص کردن توابع عضویت، از تصمیم گیرنده خواسته می شود که سطوح دلخواه مرجع از توابع عضویت، را که مقادیر عضویت مرجع $q = 1-n$ μ_{rq} نیز نامیده می شود مشخص سازد. سپس برای دستیابی به راه حل ارضاکننده، مسأله زیر حل می شود:

$$\min_{X \in \Omega} \{ \max_{q=1-n} | \mu_{rq} - \mu_{fq}(\bar{X}) | \} \quad (19)$$

که Ω مجموعه راه حل ها و μ_{fq} ، q امین تابع عضویت و μ_{rq} ، q امین مقدار عضویت مرجع است. اگر تصمیم گیرنده، بالاترین سطح ارضا را برای تمامی مقادیر عضویت مرجع بخواهد یعنی $\mu_{rq} = 1$ ، مسأله بالا به شکل جدید زیر تبدیل می شود:

$$\begin{aligned} & \min_{q=1-n} \{ \max | \mu_{rq} - \mu_{fq}(\bar{X}) | \} \\ & = \min_{q=1-n} \{ \max | - \mu_{fq}(\bar{X}) | \} \\ & = \max_{q=1-n} \{ \min \mu_{fq}(\bar{X}) \} \end{aligned} \quad (20)$$

این بدان معنا است که تصمیم گیرنده خواهان به دست آوردن راه حلی است که به طور همزمان بالاترین سطح ارضا را برای تمامی توابع هدف به دست آورد. بدین ترتیب مقدار تابع برازش برای هر یک از افراد جمعیت، با استفاده از رابطه [۱۹ و ۲۰] به دست می آید.

۳-۲-۴- ایجاد نسل جدید

۳-۲-۴-۱- انتخاب کروموزوم ها به منظور انجام عمل

ترکیب و تحریک

انتخاب براساس رتبه، احتمال انتخاب را براساس مقادیر تابع برازش کروموزوم ها محاسبه نمی کند، بلکه ابتدا کروموزوم ها را بر طبق مقادیر تابع برازش مرتب سازی و متناظر با تقدمشان انتخاب می کند تا برای انجام ترکیب و

۳-۲-۳- عمل جهش

جهش بیتی با انجام تحریک بیتی، به آسانی با تغییر بیت از ۰ به ۱ یا از ۱ به ۰ با احتمال مشخص انجام می‌شود. این احتمال، عدد جهش یا نرخ جهش نامیده می‌شود. در شکل (۵)، عمل جهش برای هر سال با به‌کارگیری روش بالا نشان داده شده است. برای سال اول، بیت دوم و برای سال n ام افق طراحی، بیت پنجم برای عمل جهش انتخاب شده است.

	۱-۵	۲-۳	۲-۷	۳-۱	۳-۵	۳-۸	۴-۷	۵-۲	
مرحله ۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	
کروموزوم جهش یافته	...	...	...	...	...	...	...	...
مرحله n	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	

شکل ۵ نشان عمل جهش بیتی

نرخ بهره ده درصد و نرخ رشد بار سالیانه نیز ده درصد است.

۴-۱- خطوط کاندیدا

در طراحی انتقال، از آنجا که نصب خط بین هر دو شین امکان پذیر وجود دارد، طرح‌های توسعه انتقال متعددی وجود خواهند داشت. در مجموع $n(n-1)/2$ کاندیدا برای شبکه n شینه وجود دارد. بسیاری از این کاندیداها قیود طراحی را نقض می‌کنند و باید حذف شوند. بسیاری از انتخاب‌ها بر پایه دانش و شناخت کارشناسان شبکه انجام می‌شود، اما در برخی مقالات خطوطی که مترام شده یا بین شین‌هایی که اختلاف قیمت‌های حاشیه‌ای مکانی آنها زیاد است، کاندیداهای خطوط انتقال انتخاب می‌شوند [۵-۹]. در بخشی از نتایج عددی این مقاله، دو روش بالا، ارزیابی و مقایسه شده است.

۴-۲- شبکه ۸ شینه

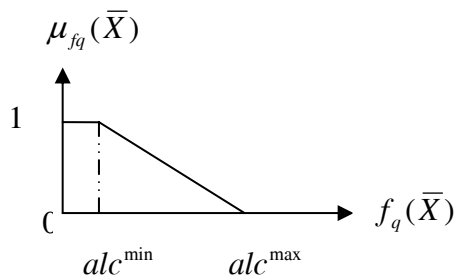
در این مسأله، فرض کرده‌ایم که هر خط در هر سال فقط برای یک بار و در طول افق طراحی پنج ساله حداکثر تا دو بار می‌تواند نصب شود (دو مداره)، در عین حال تعداد خطوط نصب شده در هر سال نباید از دو بیشتر شود. در این شبکه آزمون که مشخصات آن در [۹] آورده شده، مقدار متوسط بار و تولید، به ترتیب به‌عنوان پیک بار و حداکثر میزان تولید ژنراتورها در سال مبنا در نظر گرفته شده و فرض شده هیچ تولید جدیدی در سالیان افق طراحی ایجاد نشود و هیچ ژنراتوری نیز از رده خارج نشود. در اینجا با توجه به کوچک بودن ابعاد مسأله، ۱۱ خط به‌عنوان کاندیداهای خطوط انتقال در نظر گرفته شده است. فهرست این خطوط و هزینه‌های احداث آنها در جدول (۱) آورده شده است.

۳-۲-۵- تکرار ایجاد جمعیت جدید

تکرار مراحل ۳-۴ و ۴-۴، تا معیار توقف عمل تکرار تحقق یابد. معیار توقف می‌تواند شامل تعداد تکرارهای انجام شده، کوچک بودن تغییرات تابع برآزش از مقدار مشخص شده یا زمان اجرای برنامه باشد.

۴- شبیه‌سازی و نتایج عددی

در این بخش چگونگی به‌کارگیری ابزار فوق برای طراحی توسعه انتقال همراه با نتایج عددی بر روی شبکه ۸ شینه و شبکه ۳۰ شینه IEEE آورده شده است. طول افق طراحی پنج سال در نظر گرفته شده و



شکل ۶ تابع عضویت برای معیار قطع بار بدون افزایش درجه اهمیت آن

جدول ۲ شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه بدون افزایش درجه اهمیت قطع بار

خطوط	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
۱-۲	۱	۰	۰	۰	۰
۱-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۱-۵	۰	۰	۰	۰	۰
۲-۳	۰	۰	۰	۰	۰
۳-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۴-۵	۱	۰	۰	۰	۰
۵-۶	۰	۰	۰	۰	۰
۶-۱	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۸	۰	۰	۰	۰	۰
۸-۳	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۳ مقادیر توابع عضویت برای بهترین طرح توسعه در جدول ۲

	$\mu(ic)$	$\mu(oc)$	$\mu(cc)$	$\mu(alc)$
مقادیر عضویت	۰/۸۵۱۷	۰/۸۸۵	۰/۸۶۸۴	۰/۸۵۹۷

جدول ۴-۲-۲ شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه با افزایش درجه اهمیت قطع بار

با توجه به اینکه در مورد بالا تعداد خطوط کمی برای توسعه انتقال پیشنهاد شده است، سرمایه‌گذار می‌تواند برای بهبود کیفیت شبکه، سطح ارضای خود از هزینه قطع بار را افزایش دهد. برای این کار می‌تواند، شکل تابع عضویت را به صورت شکل (۷) تغییر دهد. این بدان معنا

جدول ۱ فهرست کاندیداهای انتخابی و هزینه‌های احداث آنها برای شبکه ۸ شینه

خطوط کاندید	هزینه احداث (میلیون دلار)	خطوط کاندید	هزینه احداث (میلیون دلار)
۱-۲	۳۰	۵-۶	۳۵
۱-۴	۲۵	۶-۱	۳۵
۱-۵	۳۰	۷-۴	۲۲
۲-۳	۳۰	۷-۸	۱۸
۳-۴	۲۵	۸-۳	۴۵
۴-۵	۲۸		

جدول ۴-۲-۱ شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه بدون افزایش درجه اهمیت قطع بار

با استفاده از این شبکه نشان خواهیم داد که در شرایط مختلف تصمیم‌گیری، خطوط مختلفی برای طراحی توسعه انتخاب می‌شوند. یعنی با توجه به اهمیت معیارها و انتظار تصمیم‌گیرنده از توسعه انتقال در بهبود هر یک از این معیارها، تصمیمات متفاوتی اتخاذ خواهد شد. برای هر معیار طراحی، یک تابع عضویت در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۶) تابع عضویت برای متوسط هزینه قطع بار، نشان داده شده است. alc^{max} مقدار بیشینه متوسط هزینه قطع بار است. این مقدار با استفاده از رابطه ۱۴، با محاسبه مجموع متوسط هزینه قطع بار در طول سالیان افق طراحی، بدون احداث خط جدیدی، به دست می‌آید. alc^{min} هزینه قطع بار در شرایط ایدئال که برابر صفر است. برای سایر معیارهای طراحی، توابع عضویت به روش مشابهی به دست می‌آید. در این طراحی، سطح ارضا برای تمامی معیارها برابر با حداکثر مقدار آنها انتخاب می‌شود؛ یعنی $\mu_{r1} = \mu_{r2} = \mu_{r3} = \mu_{r4} = 1$. هدف آن است که ملاک‌های تعریف شده بالا همگی به طور همزمان به بالاترین سطح ارضای خود برسند. نتایج طراحی توسعه در این حالت در جدولهای ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۵ مقادیر توابع عضویت برای بهترین طرح توسعه در

جدول ۴

	$\mu(ic)$	$\mu(oc)$	$\mu(cc)$	$\mu(alc)$
مقادیر عضویت	۰/۷۲۸۴	۰/۷۳۴۸	۰/۷۵۶۹	۰/۷۳۹۵

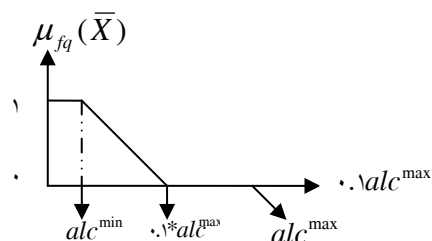
۴-۲-۳- شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه با تعیین مقادیر مرجع دلخواه

تصمیم‌گیرنده می‌تواند با توجه به سطح انتظار خود از معیارها، مقادیر مشخصی را برای هر یک از سطوح ارضای خود از ملاک مورد نظر، در نظر گیرد. لذا طرحهایی انتخاب می‌شوند که سطوح ارضای فازی متناظر با تابع عضویت آن، به مقادیر عضویت مرجع نزدیکتر باشند. در اینجا مقادیر عضویت مرجع را برابر $\mu_{r1} = 0/6$ ، $\mu_{r2} = 0/75$ ، $\mu_{r3} = 0/8$ و $\mu_{r4} = 0/95$ انتخاب می‌کنیم. آنچه باید در اینجا مورد توجه قرار گیرد آن است که جواب به دست آمده لزوماً بهترین جواب برای بهبود تمامی معیارها نیست، بلکه بهترین جواب برای ارضای تصمیم‌گیرنده با سطوح مرجع دلخواه است. طرح بهینه‌ای که متناظر با مقادیر عضویت مرجع بالا انتخاب می‌شود، در جدول ۶ آورده شده است. جدول ۷، مقادیر توابع عضویت را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود این مقادیر به مقادیر مرجع بسیار نزدیک است، اما لزوماً برابر نیستند.

جدول ۶ شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه با تعیین مقادیر مرجع دلخواه

سال پنجم	سال چهارم	سال سوم	سال دوم	سال اول
۰	۰	۱	۰	۱-۲
۰	۰	۰	۰	۱-۴
۱	۰	۱	۰	۱-۵
۰	۰	۰	۰	۲-۳
۰	۱	۰	۰	۳-۴
۰	۰	۰	۱	۴-۵
۰	۰	۰	۰	۵-۶
۰	۰	۰	۰	۶-۱
۰	۰	۱	۰	۷-۴
۱	۰	۰	۱	۷-۸
۰	۰	۰	۰	۸-۳

است که تصمیم‌گیرنده حداقل تا ۱۰ درصد هزینه قطع بار بیشینه، دارای پایین‌ترین سطح ارضا و حداکثر تا هزینه قطع بار صفر، دارای بالاترین سطح ارضا است. بدین ترتیب فشار بر روی ملاک متوسط هزینه قطع بار افزایش یافته و به دنبال آن سرمایه‌گذاری بیشتری بر روی شبکه مورد نیاز است. صحت این موضوع در نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدولهای ۴ و ۵ آورده شده است. مقایسه این نتایج با جدولهای ۲ و ۴ نشان می‌دهد که برای بهبود معیار متوسط قطع بار، به احداث خطوط بیشتری نیاز است تا در هنگام پیشامدهای احتمالی، هزینه قطع بار کمتر شده و قابلیت اطمینان شبکه افزایش یابد.



شکل ۷ تابع عضویت قطع بار با افزایش درجه اهمیت آن

جدول ۴ شبیه‌سازی سیستم ۸ شینه با افزایش درجه اهمیت قطع بار

خطوط	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
۱-۲	۱	۰	۰	۰	۰
۱-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۱-۵	۰	۰	۰	۰	۱
۲-۳	۰	۰	۰	۰	۰
۳-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۴-۵	۰	۱	۰	۰	۰
۵-۶	۰	۰	۰	۰	۰
۶-۱	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۴	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۸	۱	۰	۰	۰	۱
۸-۳	۰	۰	۰	۰	۰

۴-۳-۱- کاندیداها از میان خطوط متراکم انتخاب شوند در صورت انتخاب کاندیداها از خطوط متراکم، طرح بهینه به صورت جدول ۸ است. مقادیر توابع عضویت متناظر با جواب بهینه، در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۸ شبیه‌سازی سیستم ۳۰ شینه با استفاده از خطوط متراکم به‌عنوان کاندیداهای توسعه انتقال

خطوط	هزینه میلیون دلار	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
۲-۴	۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۲-۶	۶۵	۱	۰	۰	۰	۰
۶-۸	۳/۲	۰	۰	۱	۰	۰
۶-۱۰	۳/۲	۰	۱	۱	۰	۰
۹-۱۱	۶۵	۱	۰	۰	۱	۰
۱۲-۴	۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲-۱۳	۶۵	۰	۰	۱	۰	۰
۱۵-۱۸	۲/۸	۰	۰	۰	۱	۰
۱۸-۱۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱-۲۲	۳/۲	۱	۱	۰	۰	۰
۲۲-۲۴	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۱
۲۳-۲۴	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴-۲۵	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۵-۲۶	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۷-۲۹	۱/۶	۰	۱	۰	۱	۰
۲۴-۳۰	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۱
۲۹-۳۰	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۶-۲۸	۳/۲	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۹ مقادیر توابع عضویت برای بهترین طرح توسعه انتخابی در جدول ۸

	$\mu(ic)$	$\mu(oc)$	$\mu(cc)$	$\mu(alc)$
مقادیر عضویت	۰/۳۳۸۹	۰/۲۵۰۱	۰/۲۴۸۴	۰/۲۱۷۹

جدول ۷ مقادیر توابع عضویت برای بهترین طرح توسعه در جدول ۶

	$\mu(ic)$	$\mu(oc)$	$\mu(cc)$	$\mu(alc)$
مقادیر عضویت	۰/۵۰۲۴	۰/۷۶۸۳	۰/۷۵۸۶	۰/۸۴۵۲

۴-۳- شبکه ۳۰ شینه IEEE

برای نمایش کارایی الگوریتم ارائه شده، از سیستم آزمون ۳۰ شینه IEEE با مشخصات آورده شده در [۸]، استفاده شده است، با این تفاوت که مقدار میانگین بار و تولید، به‌عنوان مقادیر پیک بار و حداکثر تولید، در سال مبنا در نظر گرفته شده و از انحراف معیار بار صرف‌نظر شده است. البته با بزرگتر شدن شبکه، افزایش تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار لازم در الگوریتم ژنتیکی برای همگرایی بهتر الگوریتم بهینه‌سازی نیاز است. برای سیستم ۳۰ شینه فرض شده که طول افق طراحی ۵ سال و حداکثر خطوط نصب شده در هر سال، ۳ عدد باشد و هر خط نیز حداکثر برای دو بار در طول افق طراحی و یک بار در هر سال می‌تواند انتخاب شود. همچنین فرض شده که در سال دوم طراحی، ژنراتورهای ۱، ۲، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ ظرفیتهای خود را به ترتیب تا ۲۵۰، ۲۵۰، ۱۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۲۵۰ مگاوات افزایش دهند و در همین سال ژنراتور جدیدی با ظرفیت ۱۵۰ مگاوات بر روی شین ۲۰ و با پیشنهاد قیمت ۲۰ دلار بر مگاوات ساعت نصب شود. در این شبیه‌سازی به بررسی این مسأله می‌پردازیم که اگر خطوط کاندیدا از میان خطوط متراکم‌تر انتخاب شود و یا از میان خطوطی انتخاب شود که شین‌هایی با اختلاف قیمت‌های حاشیه‌ای محلی بزرگتری را به هم متصل می‌کند، کدام کارا تر بوده و تأثیر بیشتری در بهبود معیارهای تصمیم‌گیری دارد.

جدول ۱۱ مقادیر توابع عضویت برای بهترین طرح توسعه انتخابی در جدول ۱۰

	$\mu(ic)$	$\mu(oc)$	$\mu(cc)$	$\mu(alc)$
مقادیر عضویت	۰/۷۳۹۲	۰/۲۴۶۷	۰/۳۳۳۹	۰/۱۱۶۴

مقایسه جدولهای ۹ و ۱۱ نشان می‌دهد که انتخاب کاندیدها از میان خطوط با تراکم بیشتر به بهبود طراحی کمک بیشتری می‌کند. کمترین مقدار جدول ۹، برابر ۰/۲۱۷۹ و برای جدول ۱۱ برابر ۰/۱۱۶۴ است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سرمایه‌گذاری انتقال با استفاده از کاندیدهایی که شین‌هایی با اختلاف قیمت بیشتر را به یکدیگر متصل می‌کند، کمک زیادی به بهبود معیارها نمی‌کند. لذا انتخاب کاندیدها از میان خطوط متراکم‌تر مناسبتر و کاراتر است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله سعی شده که الگوریتمی برای طراحی دینامیکی توسعه انتقال با در نظر گرفتن افق طراحی چندساله و بررسی معیارهایی براساس بازار برق و معیارهای فنی در مدت طراحی، ارائه شود. برای بررسی هزینه‌ها از هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه عملیاتی سیستم استفاده شده است. قابلیت اطمینان، با محاسبه متوسط هزینه قطع بار در پیشامدهای احتمالی ملحوظ شده است. برای تشویق رقابت در بازار برق، هزینه تراکم به‌عنوان یکی از معیارهای طراحی در نظر گرفته شده است.

آنچه باید مدنظر قرار گیرد آن است که ملحوظ کردن تمامی معیارها و شرایط متفاوت ناشی از استراتژی‌های متفاوت تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، به‌منظور افزایش سود آنها، به دلیل وسعت ابعاد مسأله میسر نیست. اما تقسیم کردن بارها به سطوح مختلف و ملحوظ کردن عدم قطعیت‌ها کمک زیادی به طراحی دقیق‌تر می‌کند. همچنین

۴-۳-۲- کاندیدها از میان خطوطی انتخاب شوند که شین‌هایی با اختلاف قیمت‌های حاشیه‌ای محلی بزرگتری را به هم متصل می‌کنند

اگر شبکه قدرت را برای شرایط کنونی بررسی کرده و با توجه به شرایط حاکم بر سیستم، قیمت‌های حاشیه‌ای محلی را برای شین‌های سیستم در پیک بار به‌دست آوریم. آنگاه خطوطی را که شین‌هایی با اختلاف قیمت‌های حاشیه‌ای محلی بزرگتری را به هم متصل می‌کنند می‌توان به‌عنوان کاندیدهای توسعه انتقال برگزید. زیرا با توجه به پتانسیل اختلاف قیمت‌های بین شین‌ها، توان از شین‌هایی با قیمت کمتر به شین‌هایی با قیمت بیشتر انتقال پیدا می‌کند که این باعث کاهش تراکم و کاهش اختلاف قیمت بین شین‌ها و افزایش رقابت بین تولیدکنندگان می‌شود. جدول ۱۰ خطوط پیشنهادی برای توسعه انتقال را در هر سال نشان می‌دهد. مقادیر عضویت متناظر با معیارهای طراحی در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۰ شبیه‌سازی سیستم ۳۰ شینه با استفاده از خطوط متصل‌کننده شین‌هایی با اختلاف قیمت بیشتر

خطوط	هزینه میلیون دلار	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
۲-۲۹	۶/۵	۰	۰	۰	۰	۰
۸-۲۹	۶/۵	۱	۰	۱	۰	۰
۱-۲۹	۳/۲	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱-۲۹	۳/۲	۱	۰	۰	۰	۰
۵-۲۹	۶/۵	۰	۰	۰	۰	۰
۲-۳۰	۶/۵	۰	۰	۰	۰	۰
۳-۲۹	۶/۵	۰	۰	۰	۰	۰
۸-۳۰	۲/۸	۰	۱	۰	۰	۰
۱-۳۰	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱-۳۰	۳/۲	۰	۰	۰	۰	۰
۴-۲۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۸-۲۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۷-۲۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۷-۲۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۱
۲۵-۲۹	۱/۶	۰	۰	۱	۰	۰
۲۶-۲۹	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴-۲۹	۱/۶	۱	۱	۰	۰	۰
۲-۲۱	۳/۲	۰	۰	۰	۰	۰

- Risk Assessment,” in Proc. IEEE Int. Conf. on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies., vol. 2, pp. 427-432, 2004
- [6] M. O. Buygi, M. Shahidehpour, H. M. Shanechi and G. Balzer, “Market Based Transmission Expansion Planning: Stakeholders' Desires,” in Proc. IEEE Int. Conf. on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies., vol. 2, pp. 433-438, 2004
- [7] M. O. Buygi, M. Shahidehpour, H. M. Shanechi and G. Balzer, “Market Based Transmission Planning under Uncertainties,” Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to Power Syst., pp. 563-568, Sep 2004.
- [8] M. O. Buygi, G. Balzer, H. M. Shanechi and M. Shahidehpour, “Market Based Transmission Expansion Planning,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, pp. 2060-2067, Nov. 2004.
- [9] M. O. Buygi, H. M. Shanechi, G. Balzer, M. Shahidehpour and N. Pariz, “Network Planning in Unbundled Power System,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, pp. 1379-1387, Aug. 2006.
- [10] S. de la Torre, A. J. Conejo and J. Contreras, “Transmission Expansion Planning in Electricity Markets,” IEEE
- بررسی طرحهای توسعه برای سناریوهای آینده و انتخاب طرحهایی که با این سناریوها هماهنگی بیشتری داشته باشد، می تواند مبنایی برای تحقیقات آینده باشد.
- ### ۶- مراجع
- [1] G. Latorre, R. D. Cruz, J. M. Areiza and A. Villegas, “Classification of Publications and Models on Transmission Expansion Planning,” IEEE Trans. on Power Systems, vol. 18, No. 2, pp. 938-946, May 2003.
- [2] C. W. Lee, Simon K. K. Ng, J. Zhong and F. F. Wu, “Transmission Expansion Planning From Past to Future,” IEEE Power Systems Conference and Exposition, pp. 257- 265, Oct. 29 -Nov. 1. 2006.
- [3] F. F. Wu, F. L. Zheng and F. S. Wen, “Transmission Investment and Expansion Planning in a Restructured Electricity Market,” Energy, vol. 31, pp. 954-966, May-Jun. 2006.
- [4] M. O. Buygi, M. Shahidehpour, H. M. Shanechi and G. Balzer, “Transmission Planning Approaches in Restructured Power Systems,” in Proc. 2003 IEEE Power Tech Conf., 2003, vol. 2, pp. 7.
- [5] M. O. Buygi, M. Shahidehpour, H. M. Shanechi and G. Balzer, “Market Based Transmission Expansion Planning: Fuzzy

- [15] M. Xie, J. Zhong and F. F.Wu. "Multiyear Transmission Expansion Planning Using Ordinal Optimization," IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, No 4, pp 1420-1428, 2007.
- [16] R. Fu, P. Wei, G. Jiang, X. Zhou, Q. Wan and G. Tang, "New Market Power Driven Multistage Transmission Expansion Strategy in Power Market," IEEE Power Engineering Society General Meeting, Page(s):8, pp 18-22 June 2006.
- [17] M. Basu "An Interactive Fuzzy Satisfying Method Based on Evolutionary Programming Technique for Multi-objective Short-term Hydrothermal Scheduling," Electric power system research., vol. 69, pp.277-285, 2004.
- Trans. Power Syst., vol. 23, pp. 238-248, Feb. 2008.
- [11] A. S. D. Braga and J. T. Saraiva, "A Multiyear Dynamic Approach for Transmission Expansion Planning and Long-term Marginal Costs Computation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, pp. 1631-1639, Aug. 2005.
- [12] I. J. Silva, M. j. Rider, R. Romero, and C. A. Murari, "Genetic Algorithm of Chu and Beasley for Static and Multistage Transmission Expansion Planning," IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp.7, 18-22 June 2006.
- [13] I. J. Silva, M. j. Rider, R. Romero, and C. A. Murari, "Transmission Network Expansion Planning Considering Uncertainty in Demand," IEEE Trans Power syst., vol. 21, pp. 1565-1573, 2006.
- [14] Z. Xu, Z.Y. Dong and K.P. Wong, "Transmission Planning in a Deregulated Environment," IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 153, No. 3, May 2006.