

تحلیل و برآورد ظرفیت ترانزیت در شبکه های انتقال به کمک الگوریتم های ژنتیک

محمد امین لطیفی
دانشجوی کارشناسی ارشد برق

حبیب رجبی مشهدی
استادیار گروه برق

محمد باقر اسدی کیایی
دانشجوی کارشناسی ارشد برق
دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

H_mashhadi@ferdowsi.um.ac.i

Ba_as77@stu.um.ac.ir

Am_la99@stu.um.ac.i

اقتصاد انرژی، گذار از ساختار انحصاری به ساختار رقابتی در بازار انرژی الکتریکی تجربه می کنند. فرآیند رقابتی کردن ساختار اقتصادی صنعت برق بر پایه ایده جداسازی الکتریسیته به عنوان یک کالا از انتقال و توزیع آن به عنوان خدمات جانبی شکل گرفته است.

در فضای رقابتی، انرژی الکتریکی همانند یک کالای اقتصادی به صورت کاملاً آزادانه، تحت شرایط معینی بسته به نوع بازار، خرید و فروش می شود. ایجاد فضای رقابتی، به طور کلی در پی کاهش قیمت برق، شفاف تر شدن عملکرد بخش های مختلف و فراهم کردن زمینه های لازم جهت مشارکت بخش خصوصی می باشد [۱].

در ساختار جدید، خطوط انتقال نقش فضای فیزیکی بازار که در آن قراردادهای مختلف بین بازیگران بازار مبادله می شود را بازی می کنند. علاوه بر این، خطوط انتقال رابط بین بازارهای مختلف هستند. خطوط انتقال ساخته شده با ظرفیت بالا، امکان مبادله حجم وسیعی از انرژی و یا به عبارتی ترانزیت توان را فراهم می کنند. در فضای انحصاری، اتصال شبکه ها با رویکرد افزایش قابلیت اطمینان و به عبارتی از دیدگاه مسائل فنی مانند پایداری و صورت می گرفت. ولی در ساختار جدید که بازارهای برق به هم متصل می شوند، خطوط انتقال نقش اتصال بازارهای مختلف به یکدیگر را بر عهده دارند. در این شرایط، مبادله انرژی بین بازارهای مختلف

چکیده: مسأله انتقال توان از طریق یک شبکه انتقال واسط (ترانزیت توان) در فضای رقابتی صنعت برق بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته است. در ساختار جدید صنعت برق، مبادله انرژی بین بازارهای مختلف برق که بر اساس معادلات اقتصادی بازار اتفاق می افتد، به طور برنامه ریزی شده و حتی غیر برنامه ریزی شده از طریق ترانزیت توان در شبکه های انتقال انجام می شود. از اینرو برای شبکه های انتقال، محاسبه ظرفیت ترانزیتی در راستاهای مختلف شبکه و مطالعات مختلفی که بایستی در این زمینه صورت گیرد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله ضمن تحلیل مسأله ترانزیت توان، یک راه حل برپایه الگوریتم ژنتیک جهت محاسبه ترانزیتی ارائه می شود. انعطاف پذیری الگوریتم ژنتیک این امکان را فراهم می آورد که فرمول بندی های مختلفی از مسأله انجام شده و مورد مطالعه قرار گیرند. به منظور بررسی کارایی روش، ترانزیت توان در یک شبکه انتقال واقعی طی چند مثال بررسی می گردد.

واژه های کلیدی: ترانزیت توان، ظرفیت شبکه انتقال، الگوریتم ژنتیک، تک پیشامد.

۱- مقدمه

اکنون بسیاری از کشورهای جهان با تغییر قوانین در حوزه

که بر اساس معادلات اقتصادی بازار اتفاق می افتد، به طور برنامه ریزی شده و حتی غیر برنامه ریزی شده از طریق ترانزیت توان در شبکه های انتقال انجام می شود.

اختلاف قیمت بین بازارهای مختلف نیز اهمیت این قضیه را دوچندان کرده است. از دیدگاه تئوری اقتصاد، اتصال بازارهای مختلف مانع از ایجاد قدرت بازار شده و رقابت بیشتر را دامن می زند. علاوه بر تنوع، قیمت بین بازارهای مختلف، بحث محیط زیست هم می تواند عاملی تأثیرگذار در این راستا باشد. به علت اهمیتی که محیط زیست در عصر حاضر پیدا کرده و نگاه جدید به این قضیه، ممکن است انتقال توان در مسیرهای خاص تقویت شود.

همچنین لازم به ذکر است که علاوه بر مسأله انتقال توان با برنامه ریزی از طریق یک شبکه واسط، ممکن است در فضای رقابتی این انتقال توان بین دو بخش مختلف، به طور ناخواسته عبور توان از شبکه های مجاور را موجب شود. به عبارت دیگر ممکن است قوانین فیزیکی حاکم بر خطوط انتقال، موجب انتقال توان در مسیرهای غیر از مسیر انتقال مورد نظر شود. به طور خلاصه می توان گفت در مسأله انتقال توان از شبکه انتقال واسط، مسائل متعددی برای طرفین قرار داد و شبکه واسط مطرح می شود.

در بحث ترانزیت توان در سیستم های انتقال، مسایل مختلفی مطرح می شود و تاکنون تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته است. بخشی از این تحقیقات درباره قابلیت اطمینان سیستم و چگونگی متأثر شدن آن از ترانزیت توان است [۲،۳]. بخشی دیگر درباره فرمول بندی پخش بار به هنگام ترانزیت توان است [۴]. زمینه مطالعاتی دیگر چگونگی محاسبه مقدار توان قابل ترانزیت، نحوه بستن قراردادها و معیارهای انتخاب قراردادهای مختلف ترانزیت توان می باشد [۵-۸].

یکی از مواردی که در هر یک از مطالعات مختلف مربوط به ترانزیت توان مطرح می شود، برآورد ظرفیت شبکه انتقال واسط است [۹،۱۰]. در این مقاله، یک روش جدید بر اساس الگوریتم ژنتیک (GA^1) جهت محاسبه حداکثر توان قابل

ترانزیت، برای مسیرهای مختلف پیشنهادی جهت انتقال توان ارائه می شود. ویژگی این روش مبتنی بر GA ، این است که حالت های مختلفی را می توان به دلیل انعطاف پذیری GA مدلسازی نمود. در این راستا، ضمن برآورد ظرفیت فوق در حالت عملکرد نرمال شبکه، به منظور افزایش دقت محاسبات، اثرات تک پیشامدهای^۲ مختلف، با در نظر گرفتن احتمال وقوع هر یک از آنها مورد مطالعه قرار می گیرد.

بخش بعدی به فرمول بندی و تحلیل مساله اختصاص یافته است. در بخش سوم، الگوریتم ژنتیک به اختصار معرفی می گردد. فرمول بندی برآورد ظرفیت ترانزیت توسط الگوریتم ژنتیک در بخش چهارم صورت می گیرد. در بخش پنجم مقاله نتایج شبیه سازی های انجام شده ارائه می گردد. بخش انتهایی نیز به جمع بندی اختصاص یافته است.

۲- توصیف مسأله:

یک شبکه انتقال نمونه (شکل ۱) را در نظر می گیریم. این شبکه با توجه به وضعیت جغرافیایی که دارد، می تواند امکان های مختلفی برای انتقال و ترانزیت توان داشته باشد. بدیهی است که انتقال توان از شبکه به صورت ترانزیت، امنیت شبکه را متأثر خواهد کرد. بنابراین ضروری است ظرفیت ترانزیتی مجاز شبکه انتقال در راستاهای مختلف محاسبه گردد. در این زمینه شاخص های مختلفی جهت ارزیابی شبکه انتقال از نظر قابلیت ترانزیت توان تعریف می گردد. از مهم ترین این شاخص ها می توان به حاشیه قابل اطمینان انتقال (TRM^3)، قابلیت انتقال کل (TTC^4) ظرفیت قابل انتقال در دسترس (ATC^5) اشاره نمود [۱۱،۱۲].

با توجه به ماهیت مسأله ترانزیت، معمولاً در این بحث فرض بر این است که نتایج پخش بار DC از دقت کافی برخوردار است. در صورتی که به دلیل شرایط ویژه شبکه، مشکلات و لتاژی وجود داشته باشد، فرض فوق معتبر نبوده و بایستی از مدل های دقیق تر پخش بار استفاده نمود.

¹ Genetic Algorithm

² Single contingency

³ Transmission Reliability Margin

⁴ Total Transmission Capacity

⁵ Available Transfer Capability

بردار توان تزریقی و بردار زاویه ولتاژ باس‌های شبکه متناظر با ساختار s ام می‌باشند و NSC تعداد تک پیشامدهایی است که برای مطالعه لحاظ شده‌اند و L_s شماره خطی است که دچار حادثه شده است. با حل این مسأله بهینه‌سازی، حداکثر توان ترانزیتی که امنیت شبکه را به خطر نمی‌اندازد، محاسبه می‌شود. بدیهی است لحاظ کردن بدترین حالت برای محاسبه مقدار ترانزیت توان بسیار محافظه‌کارانه بوده و نمی‌تواند ملاک خوبی برای تصمیم‌گیری باشد.

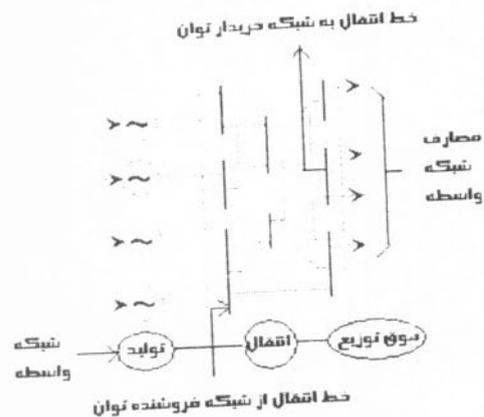
با فرض مشخص بودن احتمال بروز تک‌پیشامدها، می‌توان معیار تصمیم‌گیری برای مقدار ترانزیت را به صورت یک امید ریاضی تعریف کنیم. به این ترتیب به حداکثر توان قابل ترانزیت به صورت یک متغیر تصادفی نگاه می‌کنیم. به این ترتیب می‌توانیم مسأله را به صورت زیر فرمول‌بندی کنیم.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \quad \sum_{j=1}^M \text{Pr}(j) * P_{trans}(j) \\ & \text{Subject to:} \quad \begin{cases} P = B\theta \\ -F_j \leq P_j \leq F_j \quad j=1, \dots, NLI \\ P_s = B_s \theta_s \quad s=1, \dots, NSC \\ (-F_j \leq P_j \leq F_j)_s \quad j=1, \dots, NLI, j \neq L_s \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

$P_{trans}(j)$ توان ترانزیتی در وضعیت j می‌باشد و M تعداد ساختار مختلفی است که شبکه در آن کار می‌کند (اعم از حالت نرمال یا بروز تک پیشامد). و $\text{Pr}(j)$ هم احتمال حضور شبکه در حالت عملکرد j ام است. به جز ساختار عملکرد در حالت نرمال که به احتمال بالایی شبکه در آن وضعیت قرار دارد، $M-1$ ساختار بعدی بر اساس تک‌پیشامدهای محتمل تعریف می‌شوند.

۳- الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک از جمله تکنیک‌های محاسباتی و جستجو می‌باشد که بر پایه مدل‌های تکامل بیولوژیکی طراحی شده‌اند. این الگوریتم، برای حل مسایل بهینه‌سازی پیچیده و غیر محدب مناسب می‌باشد. به علاوه برای جستجو در محیط‌های ناشناخته و یا فضاهایی که بزرگ هستند، الگوریتم بسیار مؤثر



شکل ۱: شبکه انتقال واسطه نمونه

برای به دست آوردن حداکثر مقدار ترانزیت در یک مسیر مشخص از یک شبکه انتقال، با یک مسأله بهینه‌سازی به صورت زیر مواجه خواهیم بود.

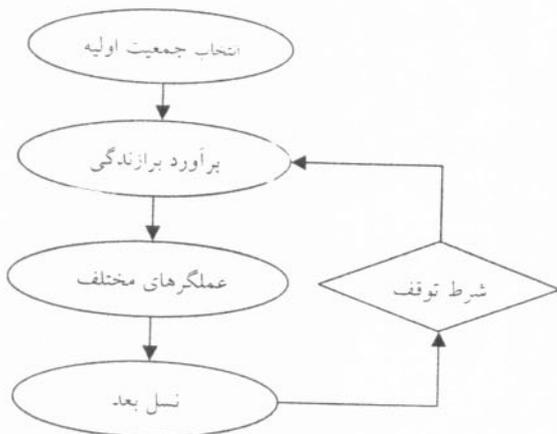
$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \quad P_{trans}(m, n) \\ & \text{Subject to:} \quad P = B\theta \\ & \quad \quad \quad -F_j \leq P_j \leq F_j \end{aligned} \quad (1)$$

m و n اندیس باس‌های متناظر با ترانزیت مورد نظر، P_j توان انتقالی روی خط j ام با احتساب ترانزیت، F_j حداکثر توان قابل عبور از خط j ام، NLI تعداد خطوط موجود در شبکه، P بردار توان تزریقی، B ماتریس ادمیتانس شبکه و θ بردار زاویه ولتاژ باس‌های شبکه در حالت نرمال می‌باشد. در ضمن پارامتر F_j به گونه‌ای انتخاب می‌شود که قیود مربوط به بهره‌برداری مطمئن لحاظ شود.

با حل مسأله بهینه‌سازی مطرح شده، می‌توان حداکثر مقدار قابل ترانزیت را در مسیرهای مختلف به دست آورد. برای اینکه مدل دقیق‌تری از واقعیت داشته باشیم، بایستی اثرات مربوط به بروز پیشامدهای احتمالی را در نظر بگیریم. با این فرض که احتمال وقوع تک‌پیشامدهای مختلف بر اساس تجربه سال‌های قبل مشخص شده باشد، مدل ریاضی مسأله به صورت زیر تغییر خواهد کرد.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} \quad P_{trans}(m, n) \\ & \text{Subject to:} \quad \begin{cases} P = B\theta \\ -F_j \leq P_j \leq F_j \quad j=1, \dots, NLI \\ P_s = B_s \theta_s \quad s=1, \dots, NSC \\ (-F_j \leq P_j \leq F_j)_s \quad j=1, \dots, NLI, j \neq L_s \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

بود. همچنین در صورتی که چندین مسیر در امتدادهای مختلف شبکه انتقال جهت مبادله وجود داشته باشد، با



شکل ۲: روندنمای عملکرد الگوریتم ژنتیک

توجه به تأثیر ترانزیت در مسیرهای مختلف بر یکدیگر، مسأله بسیار پیچیده شده و سناریوهای مختلفی مطرح می‌شود که در این شرایط استفاده از روش‌های کلاسیک بسیار پیچیده می‌گردد.

از این رو در این مقاله روش الگوریتم ژنتیک به منظور حل مسأله بهینه‌سازی، مورد نظر انتخاب شده است. یکی از مزایای اصلی الگوریتم ژنتیک، انعطاف پذیری آن در مدل‌سازی ساختارهای مختلف است. همین انعطاف‌پذیری باعث می‌شود که GA به سادگی انواع مختلف قیدهای غیر خطی و وابسته به زمان، متغیرهای گسسته و پیوسته را برای کلاس وسیعی از مسایل بهینه‌سازی فرمول‌بندی و حل نماید.

الگوریتم ژنتیک که برای حل مسأله ترانزیت توان استفاده شده، با کدگذاری مناسب می‌تواند برای حل مسایل (۲) و (۳) نیز به کار رود و بر خلاف LP فقط کافی است یک بار اجرا شود. نتیجه اجرای الگوریتم به طور همزمان، حداکثر توان عبوری از مسیر مورد نظر را در حالت نرمال و شرایط وقوع تک‌پیشامدها محاسبه می‌کند. در ادامه نحوه کدگذاری مورد استفاده به طور نمونه برای مسأله (۳) مطرح می‌شود.

شکل ۳ ساختار کروموزوم انتخاب شده را که شامل $10M$ بیت می‌باشد، نشان می‌دهد. برای کدگذاری متغیر حداکثر توان قابل ترانزیت جهت ساختار نرمال شبکه 10 بیت در نظر گرفته شده

می‌باشد. بهینگیاز الگوریتم ژنتیک این است که برای جستجو، از یک جمعیت استفاده می‌کند.

سنگاه از جمعیت برای جستجو و محاسبات، به نوعی سنده پردازش موازی در حل مسایل است. اولین مرحله استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسایل، تعریف دقیق صورت مسأله و سپس کدگذاری آن است، به صورتی که هر عضو از جمعیت، یک جواب ممکن برای مسأله مورد نظر می‌باشد. پس از تولید یک جمعیت اولیه به صورت کاملاً تصادفی، به هر عضو از جمعیت مقداری را به عنوان درجه برازندگی^۶ نسبت می‌دهیم. برازندگی هر فرد در جمعیت بر اساس تابع هدف مسأله بهینه‌سازی مورد نظر و همچنین شرایط برقراری قیود مختلف مسأله تعریف می‌شود.

در مرحله بعدی با استفاده از عملگرهای انتخاب^۷، برش^۸ و جهش^۹ نسل بعدی از جمعیت تولید می‌شوند که براساس تئوری تکامل از نظر مقدار متوسط برازندگی، نسل بعد وضعیت بهتری را خواهد داشت. روندنمای شکل ۲ نحوه کارکرد الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد [۱۳، ۱۴].

۴- جگونگی استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسأله ترانزیت توان

محاسبه مقدار حداکثر توان قابل ترانزیت از مسیرهای مختلف به صورتی که در فرمول‌بندی مسأله (۱) مطرح شد، با توجه به ماهیت خطی قیود مساوی و نامساوی، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (LP^{10}) قابل حل است. ولی به هر حال برای مسأله بهینه‌سازی بصورت (۲) و (۳) بوسیله LP ، فرمول‌بندی مسأله دشوار خواهد بود و در مواردی بایستی برای هر ساختار شبکه متناظر با حوادث مختلف، یک بار برنامه LP اجرا شود. علاوه بر این مشکل، چنانچه قیود بیشتری را برای مسأله ترانزیت در نظر بگیریم به طوری که قیود غیرخطی را هم در بر گیرد، مثل قیود ولتاژ، پخش بار کامل و ... دیگر LP پاسخگو نخواهد

⁶ Fitness

⁷ Selection

⁸ Cross over

⁹ Mutation

¹⁰ Linear Programming

مسأله (۱) که فقط حالت نرمال شبکه بررسی شده است. در جدول ۳، ستون دوم ذکر شده است. مشخص است که مسیر جدول ۱: مشخصات شبکه مورد مطالعه

تعداد خط	تعداد ترانس ۴۰۰/۱۳۲	تعداد باس	سطح ولتاژ
۱۰۴	۶	۶۴	۱۳۲Kv
۵		۵	۴۰۰Kv

جدول ۲: مسیرهای پیشنهادی برای ترانزیت توان

شماره باس	شماره باس	شماره مسیر
فروش توان	خرید توان	
۱۹	۵	۱
۲۴	۶۷	۲
۶۴	۱۱	۳

جدول ۳: حداکثر توان قابل ترانزیت در مسایل (۱)، (۲) و (۳) برای شبکه ۶۹ باس

شماره مسیر	حداکثر توان قابل ترانزیت		
	مسأله (۱)	مسأله (۲)	مسأله (۳)
۱	۱۵۹	۱۷/۵	۱۵۱/۵
۲	۲۴۲	۶۶/۵	۲۳۹/۵
۳	۹۸/۵	۳۲/۵	۹۷/۵

شماره ۲ دارای قابلیت ترانزیت توان بیشتری است. ولی در این حالت تک‌پیشامدها در نظر گرفته نشده اند. ستون سوم جدول شماره ۳ مقادیر حداکثر توان قابل ترانزیت برای هر مسیر با احتساب قیود ۴ تک‌پیشامد که منجر به بیشترین اضافه بار می شوند را نشان می‌دهد. مشخص است که باز هم مسیر شماره ۲ قابلیت ترانزیت توان بیشتری را دارد ولی مقدار حداکثر توان قابل ترانزیت در این حالت از مقدار متناظر در ستون دوم جدول ۳ خیلی کمتر است. دلیل امر این است که این مقدار بسیار محافظه‌کارانه محاسبه شده است و در حقیقت مقدار توان قابل ترانزیت بر این اساس به دست آمده است که در بدترین حالت (از جهت رخداد حوادث) هم اضافه بار نداشته باشیم. این در حالی است که احتمال بروز تک‌پیشامدها خیلی کمتر از احتمال حضور در حالت نرمال است.

است. بنابراین با توجه به اینکه یک ساختار برای شرایط نرمال شبکه و $M-1$ ساختار متناظر با $M-1$ پیشامد محتمل در نظر گرفته شده است. طول کروموزوم‌های مسأله برابر $10M$ بیت می‌باشد.

۱	۱
---	-------	---

شکل ۳: یک کروموزوم M ۱۰ بیتی نمونه

با فرض این که مقادیر توان‌های انتقالی در حدود $[0, 500]$ مگاوات می‌باشد، دقت در نظر گرفته شده برای اعداد فوق در این نحوه کدگذاری مناسب و برابر $0/5$ مگاوات است. پس از این مرحله و استخراج اطلاعات کروموزوم، بایستی تابع برازندگی متناظر با هر کروموزوم تعریف شود. رابطه زیر نحوه کلی محاسبه برازندگی کروموزوم K ام را بطور نمونه برای مسأله (۳) نشان می‌دهد.

$$Fitness(k) = \sum_{s \in S} P_s P_{min}(s) - \beta \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} Penalty(s, l) \quad (4)$$

که در این رابطه S مجموعه همه ساختارهای در نظر گرفته شده برای شبکه (شامل ساختار وضعیت نرمال و ساختارهای متناظر با بروز حوادث)، L مجموعه همه خطوط، P_s احتمال قرار داشتن در ساختار S ، β ضریب وزنی جهت در نظر گرفتن توابع جریمه در تعریف برازندگی و $P_{min}(s)$ حداکثر توان قابل انتقال در ساختار s می‌باشد.

تابع جریمه $Penalty(l, s)$ نیز بر اساس این که توان روی خطوط از ظرفیت خط در هر ساختار تجاوز کرده است تعریف می‌شود و مقدار عددی آنها متناسب با شدت نقض قیود مسأله است، به طوری که با افزایش اضافه‌بار خطوط، تابع جریمه به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد.

۵- نتایج شبیه‌سازی:

ایده مطرح شده در این مقاله بر روی یک شبکه ۶۹ باس پیاده شده است که مشخصات این شبکه در جدول ۱ آمده است. مسیرهای پیشنهادی برای ترانزیت توان هم به صورت جدول ۲ می‌باشد. نتایج به دست آمده برای حداکثر توان عبوری در

شود را نیز حل نماید. با توجه به این ابزار، در هر صورت می توان به بررسی ظرفیت ترانزیتی یک شبکه انتقال در راستاهای مختلف پرداخت و پتانسیل های موجود جهت ترانزیت توان را شناسایی نمود. همچنین مطالعات فوق می توانند تصویری کلی از شبکه انتقال را جهت توسعه شبکه ارائه دهند.

۷- مراجع

- [1] M.Haneault, et al, "A Review of Restructuring in the Electricity Business," 13 th Pscco in Trondheim Jun.1999, PP 19-31
- [2] A.Sorg, et al, "Reliability Calculation of Power Transits," IEEE International Conference on Electric Power Engineering. Power Tech, Budapest 99, 29 Aug - 2 Sept. 1999
- [3] Mijuskovic, "Reliability Indices for Electric Power Wheeling," IEEE Transactions on Reliability, V.43, No.2, Jun.1994, PP 207-209
- [4] T.Young, et al "Optimal Power Flow Formulation In Marker of Retail Wheeling," IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, 31 Jan - 4 Feb.1999, V.1, PP 394-398
- [5] Y.R.Sood, et al "Evolutionary Programming Based Algorithm for Selection Of Wheeling Options," IEEE Power Engineering Society 2001 Winter Meeting, 25 Jan - Feb.2001, V.2, PP 545-552
- [6] W.J.Lee, et al, "Wheeling Charge Under A Deregulated Environment," Industrial Applications, IEEE Transactions, Jan.-Feb.2001, V.37, No.1, PP 178 - 183
- [7] D.Shirmohammadi, et al "Evolution of Transmission Network Capacity Use for Wheeling Transactions," IEEE Transactions on Power Systems, Nov.1989, V.4, No.4, PP 4405-13
- [8] H.H.Happ, "Cost of Wheeling Methodology," IEEE Transactions on Power Sestems, Feb.1994, V.9, No.1, PP 147-156
- [9] M.C.Caramanis, et al, "The Cost of Wheeling and Optimal Wheeling Rates," IEEE Transactions on Power Systems, V.PWRS-1, No.1, Feb.1986, PP 63-73
- [10] "Transmission Services Costing Framework Volume.2: Framework Description and Application," EPRI TR-105121-V2, Project 3216-01, Final Report, Ap.1995
- [11] G.Hamoud, "Assessment of Available Transfer Capability of Transmission Systems, V.15, No.1, Feb.2000, PP 27-32
- [12] "Available Trasfer Capability Definitions and Determination," 1996 North American Electricity Reliability Council Report, Jun.1996
- [13] J.H.Holland, "Adaption in Natural and African Systems," MIT Press, Combridge, Mass.1975
- [14] D.E.Goldberge, "Genetic Algorithm for Power System Optimisation," BIPS Technical Report, Brunal University, Ap.1995

در جدول ۴ و ستون چهارم جدول ۳ پاسخ مسأله (۳) برای شبکه مورد مطالعه آمده است. در جدول ۴ حداکثر توان قابل ترانزیت در حالت بروز هر تک پیشامد ذکر شده است. جدول ۴: حداکثر توان قابل ترانزیت در حالت بروز تک پیشامد های مختلف در مسأله (۳) برای شبکه ۶۹ باس

مسیر	تک پیشامد ۱	تک پیشامد ۲	تک پیشامد ۳	تک پیشامد ۴
۱	۲۴	۱۵۱	۸۰	۷۵
۲	۲۰۰۵	۱۴۳/۵	۱۰۷/۵	۱۷۵/۵
۳	۹۵۵	۳۱/۵	۲۳/۵	۴۳/۵

تابع برازندگی در این مسأله به صورت مقدار متوسط قابل انتظار بیان شده است. به صورتی که احتمال بروز هر تک پیشامد هم در مقدار تابع برازندگی دخالت دارد. بنابراین حداکثر مقدار توان قابل ترانزیت نسبت به مسأله (۲) بیشتر خواهد بود و در ضمن، محافظه کاری آن را هم ندارد. جدول ۵ نتایج محاسبه امید ریاضی ظرفیت قابل ترانزیت در مسأله (۳) را نشان می دهد که به طور قابل ملاحظه ای نسبت به نتایج مسأله (۲) افزایش یافته است.

جدول ۵: امید ریاضی مقدار حداکثر توان قابل انتقال در مسأله (۳) برای شبکه ۶۹ باس

مسیر	امید ریاضی توان قابل انتقال
۱	۱۸۷/۲
۲	۲۸۱
۳	۱۱۶/۸

۶- جمع بندی و نتایج

در این مقاله مسأله ترانزیت توان در شبکه های انتقال قدرت که در فضای رقابتی صنعت برق از اهمیت ویژه ای برخوردار است، مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفت و روشی جدید جهت محاسبه ظرفیت ترانزیتی بر پایه الگوریتم ژنتیک ارائه شد. با توجه به انعطاف پذیری GA در حل مسایل بهینه سازی، فرمول بندی های مختلفی از مسأله فوق ارائه و بررسی یک شبکه انتقال واقعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روش پیشنهادی قادر است مدل های پیچیده تری از مسأله ترانزیت را که در آن شبکه انتقال به صورت واقعی تر مدل