

# انتخاب و جایابی بهینه ادوات FACTS به منظور کاهش تلفات شبکه قدرت به کمک الگوریتم ژنتیک

سعید ابادری<sup>۱</sup>، غضنفر شاهقلیان<sup>۲</sup>، امید قناعتی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشگاه شهرکرد، saeedabazari@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، shahgholian@iaun.ac.ir

۳- کارشناس ارشد، دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، ghanaati.omid@gmail.com

## چکیده

با گسترش روزافزون مصرف انرژی در دنیا، توسعه شبکه‌های قدرت امری ضروری است. اما ایجاد خطوط انتقال جدید مستلزم صرف زمان و هزینه‌های گزاف بوده و لذا در صورت امکان استفاده از همان خطوط با ظرفیت انتقال بالاتر بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. در همین راستا در سال‌های اخیر با معرفی ادوات FACTS به شبکه‌های قدرت، استفاده از آنها در کشورهای صنعتی، جهت افزایش ظرفیت خطوط انتقال متداول شده است. در این مقاله با جایابی بهینه این ادوات در شبکه قدرت توسط الگوریتم ژنتیک، به کاهش هر چه بیشتر تلفات و افزایش ظرفیت انتقال انرژی در خطوط کمک می‌شود و در پایان با شبیه‌سازی شبکه تست شش باسه IEEE و قرار دادن ادوات FACTS در آن این امر اثبات خواهد شد.

## کلمات کلیدی

ادوات FACTS، SVC، TCSC، UPFC، جایابی، الگوریتم ژنتیک

## ۱- مقدمه

قابلیت‌های فراوان و کاربردهای وسیع به سرعت در شبکه‌های انتقال قدرت بکارگرفته شد و تحولی در سیستم‌های انتقال ایجاد کرد. از مشخصه‌های بارز عناصر FACTS می‌توان به رنج عملکرد وسیع، پاسخ سریع و قابلیت اطمینان بالا اشاره کرد. با توجه به استاندارد IEEE، ادوات FACTS سیستم را به یک یا چند مورد از توانایی‌های زیر مجهز می‌نماید. [۱، ۲، ۳]:

- کنترل منظم پخش بار
- حداقل کردن هزینه‌های تولید و بهره‌برداری
- افزایش پایداری دینامیکی
- بالابردن قابلیت بارگیری خطوط با همان ظرفیت گرمایی
- کاهش توان راکتیو لازم در سیستم انتقال

یکی از مهمترین دغدغه‌های امروزه بشر، تأمین انرژی است. انرژی از ارکان اصلی اقتصاد به‌شمار می‌آید و در این میان برق به‌عنوان عالی‌ترین نوع انرژی جایگاه ویژه‌ای دارد. امروزه میزان تولید و مصرف انرژی برق شاخص رشد اقتصادی جوامع و یکی از معیارهای سنجش رفاه محسوب می‌شود. کاهش ذخایر نفت و گاز از یک‌سو و افزایش میزان مصرف انرژی در سطح جهان از سوی دیگر پژوهشگران و محققین را برآن داشت تا برای افزایش راندمان و ارتقای بهره‌وری نیروگاه‌ها، کاهش تلفات و حفظ محیط زیست توجهی جدی به بهینه‌سازی تولید و انتقال انرژی در شبکه‌های قدرت داشته باشند. در همین راستا در سال‌های اخیر با گسترش صنعت الکترونیک قدرت، سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر<sup>۱</sup> (FACTS) به شبکه‌های قدرت ارائه شد و باتوجه به

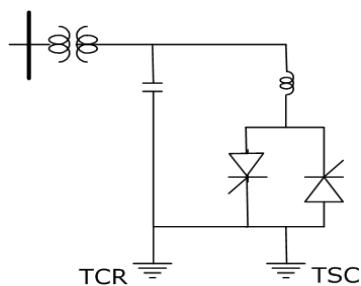
تقریباً آنی کرده است. در شکل (۱) شمایی داخلی از SVC را مشاهده می‌کنیم.

قسمت قابل کنترل راکتانس TCR،  $X_V$  بوده و از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$X_V = \frac{\pi}{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha} \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  زاویه آتش تایریستور می‌باشد. سوسپتانس مؤثر B در TCR به صورت معادله (۲) است.

$$B = \frac{X_V + X_C}{X_V X_C} \quad (2)$$



شکل ۱- شمای مداری (SVC) FC-TCR

## ۲-۲-۲ مدل TCSC

TCSC به عنوان یک راکتانس قابل کنترل تزریق شده به خط انتقال عمل می‌کند. TCSC از یک شاخه حاوی یک بانک خازنی و شاخه‌ای موازی با آن شامل تایریستور کنترل شده و بانک سلفی تشکیل شده که با کنترل شاخه سلفی به اصلاح راکتانس خط می‌پردازد. راکتانس TCSC از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$X_{TCSC} = \frac{X_C X_L}{\frac{X_C}{\pi} [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] - X_L} \quad (3)$$

که در آن  $\alpha$  زاویه آتش تایریستور،  $X_C$  راکتانس خازنی و  $X_L$  راکتانس سلفی می‌باشد. TCSC به صورت سری در خط قرار می‌گیرد و طبق رابطه (۴) با راکتانس خط در ارتباط است.

$$X_{ij} = X_{line} + X_{TCSC} \quad (4)$$

برای مدل‌سازی بهتر TCSC در مسائل بهینه‌سازی آن را به صورت رابطه (۵) تعریف می‌کنند.

$$X_{TCSC} = r_{TCSC} \times X_{line} \quad (5)$$

که در آن  $r$  فاکتور جبران‌سازی TCSC بوده و بسته به این که در کدام نقطه از خط قرار گیرد متفاوت خواهد بود رنج آن بین ۰/۷- تا ۰/۲ قرار دارد. نمای کلی TCSC در شکل (۲) قابل مشاهده است [۸].

جهت استفاده کامل از توانایی‌های عناصر FACTS لازم است تا بهترین مکان برای این عناصر انتخاب شود برای این منظور در برخی مقالات از پخش بار بهینه با هدف افزایش سطح بارگذاری یا کاهش تلفات استفاده شده است [۴]. از روش هیبرید  $TS^2/SA^3$  و به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های تولید این عمل انجام گرفته است [۵] و در تحقیق‌های اخیر از الگوریتم ژنتیک برای جایابی ادوات FACTS برای کاهش هزینه‌ی تولید و سرمایه‌گذاری استفاده شده است [۶]. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با در نظر گرفتن همزمان تلفات (افزایش سطح بارگذاری) و هزینه‌ها به بهینه‌سازی همزمان نوع، مقادیر نامی و مکان می‌پردازیم. حال در ابتدا به مدل‌سازی عناصر FACTS پرداخته سپس یک سیستم نمونه را شبیه‌سازی کرده‌ایم.

## ۲-۲ مدل‌سازی ادوات FACTS

با توجه به اطلاعات موجود در منبع [۷] کنترل‌کننده‌های FACTS برحسب نحوه قرارگیری در شبکه انتقال به سه دسته تقسیم می‌شوند و برای هر یک از انواع مورد استفاده در این مقاله مدل مناسب ارائه خواهد شد.

۱. عناصر FACTS سری: این عناصر به صورت سری در خط انتقال قرار می‌گیرند و معمولاً با تغییر راکتانس خط به تولید یا جذب توان راکتیو می‌پردازند. پرکاربردترین عضو این خانواده TCSC می‌باشد.

۲. عناصر FACTS موازی: این عناصر به صورت موازی در شبکه قرار می‌گیرند و معمولاً به یکی از شین‌های شبکه متصل شده با جذب یا تزریق توان راکتیو به شبکه ولتاژ نقطه اتصال را کنترل می‌کند. معروف‌ترین عضو این مجموعه SVC نام دارد.

۳. عناصر FACTS سری-موازی: این عناصر مجموعه‌ای از دو دسته قبلی می‌باشند و مهم‌ترین عضو این خانواده UPFC می‌باشد. که از نظر عملکرد بسیار قوی بوده و تنها محدودیت آن هزینه بالای آن است.

## ۲-۱-۱ مدل SVC

SVC از یک TCR (امپدانس راکتیو به اندازه  $X_L$  به همراه یک والوتایریستوری دوجبهتی) موازی با یک بانک خازنی  $X_C$  تشکیل شده است و در مدار به عنوان یک راکتانس متغیر موازی با جذب یا تولید توان راکتیو ولتاژ نقطه اتصال خود به شبکه را تنظیم می‌کند. کاربرد عمده آن تأمین سریع توان راکتیو و پشتیبانی ولتاژ بوده و کنترل زاویه آتش تایریستور SVC را قادر به پاسخ‌گویی

### ۳- الگوریتم ژنتیک

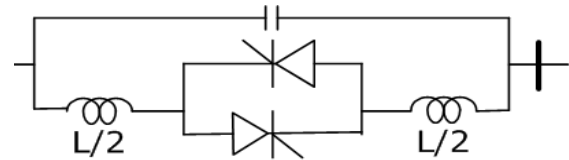
الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جستجوی کلی است که بر اصول و مکانیسم ژنتیک طبیعی و انتخاب و بقای برتر بنا شده است. در این الگوریتم بین ساختارهای رشته‌ای که مشابه کروموزوم‌های طبیعی می‌باشند با استفاده از اصل بقای برتر ساختار بندی شده ولی تبادل اتفاقی اطلاعات در بین آن رشته‌ها ایجاد الگوریتمی جستجوگر می‌نماید که در خود جنبه‌های ابداع‌گرانه کاوش‌های بشری را هم دارا است. در هر نسل از این الگوریتم موجودات مصنوعی جدیدی از مناسب‌ترین و بهترین افراد نسل گذشته خلق شده و به‌عنوان معیار بهبود کیفی آنها مقدار برازندگی جدیدی به بوته آزمایش گذاشته می‌شود. درحالی‌که الگوریتم ژنتیک بر اصول احتمالاتی بنا شده است اما جستجوی اتفاقی لزوماً بی‌هدف و بی‌جهت و نتایج حاصله از آن اتفاقی نبوده بلکه با کاربرد اطلاعات قبلی، نتایج جدیدی با عملکرد بس بهتر و با کیفیتی برتر از گذشته حاصل می‌شود. الگوریتم ژنتیک روشی تکراری برای کاوش است که هدف جستجوی بهینه‌کردن یک تابع بنام تابع برازندگی، تعریف شده از سوی کاربر می‌باشد. برای دستیابی به این مهم الگوریتم جمعیتی مناسب برای این منظور را از تمام فضای جستجو گرددم می‌آورد و پس از مقایسه با تابع برازندگی به هر فرد یک مقدار برازندگی اختصاص داده و با عملگرهایی شبیه تکثیر، ترکیب و جهش به تولید جمعیتی جدید می‌پردازد و در نهایت به جمعیت مطلوب دست می‌یابد. بالاترین امتیاز این الگوریتم عدم نیاز آن به اطلاعات قبلی و خواص ویژه است. این الگوریتم دارای چند مرحله و فاکتور اساسی به قرار زیر است [۱۰].

### ۳-۱- رمزگذاری

برای انجام محاسبات توسط الگوریتم ژنتیک در ابتدا لازم است پارامترهای معادله مورد نظر کدگذاری شود. در این مقاله سه پارامتر محل نصب، نوع و مقادیر نامی عنصر FACTS رمزگذاری می‌شود و هر یک توسط شماره‌ای (ژن) در یک ردیف (کروموزم) قرار می‌گیرند. که اولین شماره نشان‌دهنده مکان قرارگیری عنصر FACTS است، دومین شماره نوع آن را نشان می‌دهد و سومین شماره نیز شاخص  $I$  بوده که طبق فرمولی ویژه برای هر عنصر، مقادیر نامی را مشخص می‌کند. در جدول (۱) نمونه‌ای از کروموزم کدگذاری شده قابل مشاهده است.

جدول ۱- کروموزم کدگذاری شده برای الگوریتم ژنتیک

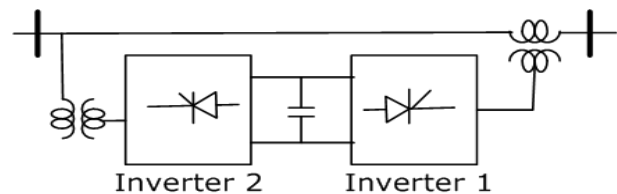
مقادیر نامی	نوع وسیله	محل قرارگیری
۰/۲	۱	۴



شکل ۲- مدار معادل TCSC

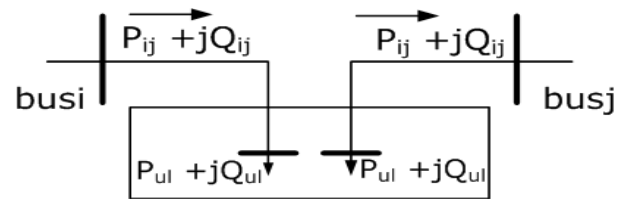
### ۳-۲- مدل UPFC

اساساً UPFC دارای دو منبع ولتاژ اینورتری (VSI) و یک خازن DC مشترک بین آنها می‌باشد. و توسط دو ترانسفورماتور به صورت سری-موازی به شبکه متصل می‌شود. در شکل (۳) ساختار کلی UPFC قابل مشاهده است.



شکل ۳- ساختار کلی UPFC

برای مطالعه UPFC، آن را به دو صورت مدل‌سازی می‌کنند، یکی مدل کوپل (زوجی) شده و دیگری مدل دکوپله (مجزا). مدل اول به دلیل نیاز به اصلاح ماتریس جاکوبین پیچیده‌تر است حال آن‌که مدل دوم را به راحتی می‌توان در الگوریتم‌های پخش بار وارد کرد بدون آنکه نیاز به اصلاح یا ساده‌سازی ماتریس جاکوبین باشد. در اکثر مقالات مربوط به پخش بار از مدل دکوپله استفاده می‌شود. در شکل (۴) این مدل قابل مشاهده است.



شکل ۴- مدل دکوپله شده UPFC

در سال‌های اخیر با معرفی الگوریتم‌های هوشمند، برای انجام محاسبات پیچیده از جمله مسئله جایابی ادوات FACTS در شبکه‌های انتقال، از این الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به روش‌های Tabu search (TS)، شبیه‌سازی آبکاری فولاد (SA)، الگوریتم ژنتیک (GA) و بهینه‌سازی گروه زنبورها (PSO) اشاره نمود. در این مقاله به الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است [۹].

**۲-۳- جمعیت اولیه**

شامل تعدادی از افراد کدگذاری شده در مرحله قبل می باشد که به طور اتفاقی توسط خود الگوریتم ژنتیک انتخاب می شوند.

**۳-۳- برآورد میزان سازگاری**

بعد از رمزگذاری جمعیت اولیه، باید برای هر یک از افراد میزان سازگاری تعیین شود، سازگاری یک معیار از کیفیت است و برای اهداف مختلف متفاوت خواهد بود.

**۳-۴- تابع هدف**

تابع هدف تابعی برای بررسی میزان سازگاری افراد است که با توجه به هدف بهینه سازی توسط کاربر تعریف می شود و مهمترین قسمت الگوریتم ژنتیک و اساس کار برنامه بهینه سازی می باشد. در این مقاله دو هدف به طور هم زمان در نظر گرفته شده است. که عبارتند از کاهش تلفات سیستم و کاهش هزینه های تولید انرژی و بهره برداری از خطوط انتقال.

**۳-۴-۱- تلفات شبکه**

تلفات در سیستم های انتقال امری غیر قابل اجتناب بوده که باعث محدود شدن توان انتقالی در خطوط می شود و همواره هزینه هایی اضافی به شبکه تحمیل می کند لذا کاهش هر چه بیشتر آن همواره هدف طراحان خطوط انتقال می باشد. در این مقاله تلفات کلی شبکه توسط پخش بار به روش نیوتن - رافسون بدست آمده و به عنوان یکی از فاکتورهای تابع هدف مورد استفاده قرار می گیرد [۱۰].

**۳-۴-۲- تابع هزینه**

هزینه کلی سیستم از دو جزء تشکیل شد است که در رابطه (۶) دیده می شود.

$$C_{Total} = C_{PG} + C_{FACTS} \quad (6)$$

قسمت اول،  $C_{PG}$  مربوط به هزینه های تولید انرژی در نیروگاه ها بوده و از رابطه (۷) بدست می آید.

$$C_{PG} = \alpha_0 + \alpha_1 P_G + \alpha_2 P_G^2 \quad (7)$$

که در آن  $P_G$  توان حقیقی خروجی نیروگاه و  $\alpha$ ها ضرایبی ثابت هستند که برای نیروگاه های مختلف متفاوت بوده و در مشخصات شبکه داده می شود.

قسمت دوم،  $C_{FACTS}$  تابع هزینه سرمایه گذاری ادوات FACTS است که برای عناصر مختلف متفاوت است و در زیر برای

UPFC&SVC&TCSC و با توجه به استاندارد شرکت زیمنس

آورده شده است.

برای UPFC:

$$C_{UPFC} = 0.0003S^2 - 0.269S + 188.22 \quad (8)$$

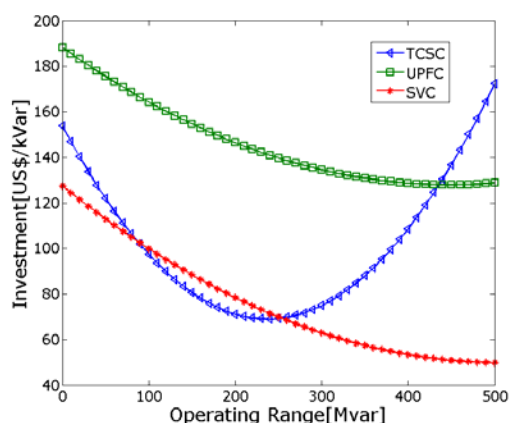
برای TCSC:

$$C_{TCSC} = 0.0015S^2 - 0.713S + 153.75 \quad (9)$$

و برای SVC داریم:

$$C_{SVC} = 0.0003S^2 - 0.305S + 127.38 \quad (10)$$

که واحد برای هر سه (\$/KVAR) بوده و در آنها S رنج عملکرد ادوات FACTS بر مبنای KVAR است. برای هم واحد کردن تابع هزینه های سرمایه گذاری ادوات FACTS با هزینه های تولید انرژی در نیروگاه، جواب تابع را بر مقدار (۵×۸۷۶۰) تقسیم می کنیم. در شکل (۵) مقایسه تابع هزینه این سه عنصر با یکدیگر قابل مشاهده است.



شکل ۵- مقایسه تابع هزینه ادوات FACTS

حال برای بررسی میزان سازگاری هر جمعیت از الگوریتم ژنتیک، به کمک تابع هزینه کلی سیستم و تلفات خطوط انتقال، تابع هدف را به صورت رابطه (۱۱) معرفی می کنیم [۱۲].

$$F = \alpha_1 C_{Total} + \alpha_2 Loss \quad (11)$$

که در آن  $a_1$  تا  $a_2$  ضرایب ثابتی هستند که مقدار آنها به کمک سعی و خطا بدست آمده به ترتیب برابر است با ۰/۱۴۲۱ و ۰/۰۲. در الگوریتم پیشنهادی سعی بر این است که با انتخاب جایابی و تعیین بهینه پارامترهای ادوات FACTS دو تابع هزینه و تلفات کلی سیستم را کمینه کنیم. که میزان تأثیر این دو تابع وابسته به ضریب های بیان شده می باشد.

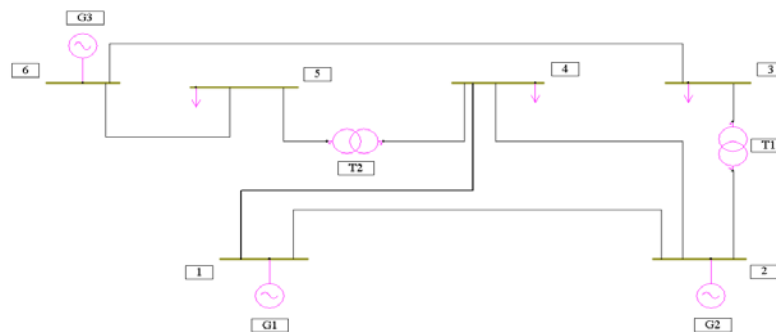
#### ۴- نتایج شبیه‌سازی

حال برای اثبات عملی بودن بحث‌های مطرح شده سیستم تست ۶ باسه IEEE (قابل مشاهده در شکل (۶)) را در نرم‌افزار matlab شبیه‌سازی می‌کنیم سپس با نوشتن m-file های لازم الگوریتم ژنتیک را به صورت زیر ایجاد می‌کنیم. این الگوریتم ابتدا از میان تمام حالت‌های ممکن جمعیت اولیه را به صورت اتفاقی انتخاب کرده و با توجه به کروموزوم‌های بدست آمده تغییرات لازم را در شبکه ایجاد می‌کند، سپس به روش نیوتن - رافسون پخش بار را انجام می‌دهد و تلفات کلی سیستم، هزینه‌های تولید نیروگاهی و اجرای ادوات FACTS را بدست می‌آورد (که همان برازندگی کروموزوم‌ها می‌باشد). با تکرار این پروسه و مقایسه میزان برازندگی‌ها بهترین کروموزوم (در جدول (۲) مشاهده می‌شود) توسط الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شود. در شکل خروجی برنامه (شکل (۷)) روند تغییر برازندگی برای ۱۰۰ تکرار آورده شده که با توجه به تابع هدف، کاهش آن به معنی کاهش تلفات و هزینه کلی شبکه می‌باشد. در پایان نتیجه الگوریتم را با حالت عدم حضور عناصر و چند حالت

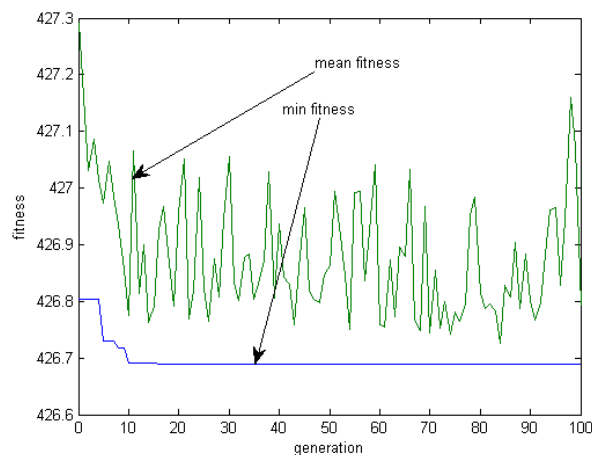
انتخاب و جایابی دستی عناصر FACTS مقایسه کرده‌ایم که نتایج آن در جدول (۳) مشاهده می‌شود. و در پایان در جدول (۴) برای داشتن دیدی مناسب از روش پیشنهادی با استفاده از مقادیر داده شده در مقاله [۷] نتایج این روش را با نتایج آن مقاله مقایسه شده است که نشان می‌دهد نتایج تا حدودی مشابه است که البته الگوریتم ژنتیک سریعتر بوده و به نسبت مقادیر بهتری را ارائه خواهد کرد اما در سیستم‌های گسترده این زمان افزایش می‌یابد. البته دلیل دیگر این اختلاف ناشی از هدف بهینه‌سازی است. چون در اینجا هدف کاهش تلفات و در مقاله مذکور هدف بهبود شاخص‌های SOL و CSI می‌باشد.

جدول ۲- کروموزوم پیشنهادی توسط الگوریتم ژنتیک

مقدار نامی	نوع وسیله	محل قرارگیری
۰/۷۴۰۱۷	SVC	باس ۵



شکل ۶- سیستم تست ۶ باسه IEEE



شکل ۷- Mean fitness: متوسط برازندگی در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک

Min fitness: کمترین برازندگی در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک

جدول ۳- مقایسه حالت پیشنهادی برنامه با چند حالت ممکن دیگر

پیشنهاد برنامه	چند حالت دلخواه به انتخاب کاربر					بدون FACTS
	SVC	TCSC	UPFC	TCSC	SVC	
SVC	۵ باس	۳ باس	۴ باس	۳ باس	۳ باس	۰
۰/۷۴۰۱۷	۰/۷۴۰۱۷	-۱	-۰/۵۱۲	۱	۰	۰
۳۰۰۲	۳۰۰۳/۹	۳۰۰۵	۳۰۰۴/۸	۳۰۰۴/۷	۳۰۰۳/۸	۳۰۰۳/۸
۵/۲۸۱۶	۱۰/۱۴۲۱	۱۴/۸۴۳۲	۸/۲۶۶۲	۱۰/۵۰۹۸	۹/۸۲۱۳	۹/۸۲۱۳
۴۲۶/۶۲۲۷	۴۲۷/۰۵۸۷	۴۲۷/۳۰۶۶	۴۲۷/۱۵۱۸	۴۲۷/۱۷۶۴	۴۲۷/۰۴۱۵	۴۲۷/۰۴۱۵

جدول ۴- مقایسه روش پیشنهادی با نتایج منبع شماره [۶]

	توان راکتیو	راکتانس TCSC	نوع عنصر مورد استفاده			مکان عنصر در شبکه	هزینه‌های ناشی از جبران کننده‌ها
			SVC	TCSC	UPFC		
نتایج مقاله [۶]	-155.1191	0.4978	0	0	1	3-5	3.7821e06
نتایج روش پیشنهادی	0.74017	0	1	0	0	5-6	3.0020e06

## ۵- نتیجه گیری

با توجه به نتایج شبیه‌سازی درمی‌یابیم که می‌توان به‌کمک الگوریتم ژنتیک بهترین محل با بیشترین کارایی را با انتخاب مناسب نوع جبران‌کننده بدست آورد و در این فرآیند به ضرایب مهم تلفات و هزینه اقتصادی توجه ویژه‌ای شده است که با مقایسه روش پیشنهادی با مقاله معرفی شده به‌عنوان منبع [۷] سودمندی این روش به اثبات رسید. در این مقاله تنها دو فاکتور تلفات و هزینه به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده که انتظار می‌رود در مطالعات بعدی با در نظر گرفتن چند فاکتور دیگر مانند امنیت شبکه تابع هدف گسترده‌تر شده و برای تست میزان کارایی آن از شبکه‌های بزرگتر استفاده گردد.

## ۶- مراجع

- Dynamic by Series-connected FACTS Devices”** IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.
- [3] M. Noroozian, L. Angquist, M. Ghandhari, G. Anderson; **“Use of UPFC for Optimal Power Flow Control”**, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.
- [4] J. A. Momoh, J. Z. Zhu; **“A new Approach to Optimal Power Flow with Phase Shifter”**, IEEE International Conference on systems, Man, and Cybernetics, Vol. 5, pp. 4794-4799, 1998.
- [5] P. Bhasaputra, W. Ongaskul; **“Optimal Placement of Multi-Type FACTS Devices by Hybrid TS/SA Approach”**, Industrial Technology, IEEE ICIT’02. IEEE International Conference, Vol. 1, 11-14 Dec. 2002.
- [6] L.J.Cai, I.Erlich, **“optimal Choice and Allocation of FACTS Devices Using Genetic Algorithms”**, ISAP Conference, Lemnos, Greece, August 31-Sept3, 2003
- [1] N. G. Hingurani, L. Gyugyi; **“Understanding FACTS: Concept and Technology of Flexible AC transmission System”**, IEEE Press, New York, 2000.
- [2] M. Noroozian, L. Angquist, M.gandhari, G. Anderson; **“Improving Power System**

- using Genetic Algorithm**", IEE-Pub on line Journal, March 7, 2005.
- [11] K. Vijayakumar, Dr. R. P. Kummudinidevi; **"A New Method for Optimal Location of FACTS Controller using Genetic Algorithm"**, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2005.
- [12] H. R. Baghaee, M. Jannati, B. Vahidi, S. H. Hosseinian and S. Jazebi, **"Optimal Multi-type FACTS Allocation Using Genetic Algorithm to Improve Power System Security"**, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 2008.
- [7] S. Sutha, and N. Kamaraj **"Optimal Location of Multi Type Facts Devices for Multiple Contingencies Using Particle Swarm Optimization"** International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 1:1 2008.
- [8] Y. H. Song, A. T. Johns. **"Flexible AC Transmission Systems (FACTS)"**, IEE Press, London, 1999. ISBN 0-85296-771-3.
- [9] S. Phoomvuthisarn, S. Biansoongnern S. Chusanapiputt, **"Optimal SVC and TCSC Placement for Minimization of Transmission Losses"**, International Conference on Power System Technology, IEEE 2006.
- [10] J. Baskaran, V. Palanisamy; **"Optimal Location of FACTS Device in a Power System Network Considering Power Loss**

۷- پی نوشت ها

- 
- 1- Flexible AC transmission system  
 2- Tabu Search  
 3- Simulated Annealing