

## جایابی مبتنی بر هزینه کنترل کننده یکپارچه بهینه توان در سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

پانته آ عوض پور\*<sup>۱</sup> افشین لشکرآرا<sup>۲</sup>

\* ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق قدرت، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

پست الکترونیکی: pantea\_avazpour@gmail.com

۲- استادیار، گروه مهندسی برق قدرت، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.

پست الکترونیکی: Lashkarara@ieee.org

**چکیده:** در این مقاله روش جدیدی برای جایابی بهینه<sup>۱</sup> کنترل کننده یکپارچه بهینه توان<sup>۲</sup> در سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> ارائه شده است. روش پیشنهاد شده بر مبنای پخش بار بهینه با هدف اقتصادی نمودن شرایط بهره برداری از سیستم های قدرت می باشد. به منظور تعیین محل مناسب نصب OUPFC، با در نظر گرفتن مدل تزریق توان<sup>۴</sup> این کنترل کننده، پخش بار بهینه<sup>۵</sup> برای یافتن مقادیر توابع هدف چند منظوره<sup>۶</sup> مسئله بهینه سازی استفاده می گردد. در این مقاله، توابع هدف شامل هزینه<sup>۷</sup> تولید، هزینه انتقال و هزینهی نصب OUPFC فرمول نویسی<sup>۸</sup> شده است. روش پیشنهادی در شبکه ۳۰ - باسه استاندارد IEEE ارائه شده است. نتایج نشان می دهد بهبود قابل ملاحظه ای در هزینه کل سیستم قدرت ایجاد شده است.

**واژه های کلیدی:** جایابی بهینه، کنترل کننده یکپارچه بهینه توان، الگوریتم ژنتیک، تابع هزینه، مدل تزریق توان.

### ۱- مقدمه

مطالعات استاتیکی مبتنی بر هزینه این کنترل کننده و با در نظر گرفتن مدل تزریق توان [۳]، و همچنین با در نظر گرفتن پیشامد احتمالی در حالت ماندگار بررسی شده است [۴]. در این مقاله نیز با توجه به مزیت فنی و اقتصادی کنترل کننده یکپارچه بهینه توان و اثر آن در بهره برداری از سیستم قدرت، تاثیر این کنترل کننده در کاهش هزینه انتقال و در نتیجه هزینه کلی سیستم قدرت با در نظر گرفتن هزینه قیمت حاشیه ای محلی<sup>۱۱</sup> مورد ارزیابی قرار می گیرد. جایابی بهینه نصب ادوات FACTS در شبکه قدرت نیازمند ارزیابی اثربخشی نصب این کنترل کننده در نقاط مختلف سیستم قدرت می باشد. روش پخش بار بهینه از روش های برنامه ریزی غیرخطی است که به منظور بهینه نمودن تابع هدف تعیین شده با در نظر گرفتن قیدهای کنترلی و عملیاتی در حالت ماندگار سیستم قدرت به کار برده می شود. OPF به روش های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته شده است که شامل دسته روش های کلاسیک و روش های مدرن می باشد [۵]. از روش های کلاسیک می توان به روش های

به منظور کاهش قیمت برق در بازار رقابتی، کاهش هزینه های سیستم قدرت و به عبارت دیگر تابع هزینه سیستم قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از راهکارهای مناسب برای بررسی و کنترل هزینه سیستم قدرت، پخش بار بهینه در حضور سایر تجهیزات از جمله ادوات FACTS به منظور تعیین محل مناسب نصب آنها می باشد. ایده ادوات FACTS اولین بار توسط Hingorani در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید [۱]، و در طی سال ها انواع متفاوت FACTS با قابلیت های متنوع مورد بررسی قرار گرفت. کنترل کننده یکپارچه بهینه توان یکی از انواع جدید ادوات FACTS می باشد که ترکیبی از کنترل کننده یکپارچه توان<sup>۹</sup> و ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز<sup>۱۰</sup> است [۲]. با استفاده از OUPFC می توان با کنترل زاویه فاز و دامنه ولتاژ در باس مورد نظر و یا با کنترل امپدانس خط، با پخش توان مناسب در شبکه، سیستم قدرت را کنترل نموده، ظرفیت سیستم را افزایش و تلفات را کاهش داد.

نشان می‌دهد. براساس این مدل، جریان ترانسفورماتور تحریک با یک منبع جریان موازی مدل می‌گردد

$$\bar{I}_{sh} = (I_p + jI_q) e^{j\theta_s} \quad (1)$$

که  $I_p$  و  $I_q$  دامنه جریان های هم فاز و عمود  $\bar{V}_i$  می‌باشند  $(\bar{V}_i = V_i \angle 0^\circ)$ . ولتاژ  $\bar{V}_{pq}$  ولتاژ تزریقی UPFC به خط انتقال است که به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\bar{V}_{pq} = re^{j\rho} \bar{V}_s \quad (2)$$

$\rho$  و  $r$  شعاع ناحیه عملکرد و زاویه فاز UPFC می‌باشند. ولتاژ  $\bar{V}_\sigma$  ولتاژ تزریقی توسط PST به خط انتقال است.

$$\bar{V}_\sigma = ke^{j\rho} \bar{V}_s \quad (3)$$

$k$  نسبت انتقال ولتاژ تزریقی به ولتاژ تحریک بوده و  $\sigma$  زاویه فاز PST است [۱۲]. راکتانس  $x_s$  راکتانس کل مدار (راکتانس انتقال خط به علاوه راکتانس ترانسفورماتور تزریق است. ولتاژ منبع  $\bar{V}_{inj}$  مجموع ولتاژ PST و UPFC می‌باشد

$$(\bar{V}_{inj} = \bar{V}_\sigma + \bar{V}_{pq}) \quad (4)$$

ولتاژ  $\bar{V}_{seff}$  از جمع برداری ولتاژ کل  $\bar{V}_{inj}$  و  $\bar{V}_s$  به دست می‌آید. جریان تزریقی سری به صورت زیر می‌باشد.

$$\bar{I}_{se} = (\bar{V}_{seff} - \bar{V}_r) / jx_s \quad (5)$$

با فرض مدل ایده‌آل ترانسفورماتورها و مبدلها<sup>۲۲</sup>، OUPFC هیچ توانی مصرف نمی‌کند. بنابراین

$$3\bar{V}_{inj} \bar{I}_{se}^* = 3\bar{V}_s \bar{I}_{sh}^* \quad (6)$$

با جایگذاری  $\bar{I}_{sh}$  از (۱)،  $\bar{V}_{inj}$  از (۲) و (۳) و (۴)، و  $\bar{I}_{se}$  از (۵) در

$$(6) \text{ و با دانستن } \delta = \theta_s - \theta_r \text{ داریم:}$$

$$P_{i,OUPFC} = -b_{se} k V_i V_j \sin(\delta + \sigma) - b_{se} r V_i V_j \sin(\delta + \rho) \quad (7)$$

$$Q_{i,OUPFC} = -b_{se} V_i^2 (k^2 + r^2) - 2b_{se} k r V_i^2 \cos(\sigma - \rho) - 2b_{se} k V_i^2 \cos(\sigma) - 2b_{se} r V_i^2 \cos(\rho) + b_{se} k V_i V_j \cos(\delta + \sigma) + b_{se} r V_i V_j \cos(\delta + \rho) \quad (8)$$

$$P_{j,OUPFC} = -P_{i,OUPFC} \quad (9)$$

$$Q_{j,OUPFC} = +b_{se} k V_i V_j \cos(\delta + \sigma) + b_{se} r V_i V_j \cos(\delta + \rho) \quad (10)$$

برنامه ریزی خطی<sup>۱۲</sup> و غیرخطی<sup>۱۳</sup>، روش برنامه‌ریزی درجه دوم<sup>۱۴</sup>، روش نیوتن<sup>۱۵</sup> اشاره نمود. در دسته دوم با ارائه هوش مصنوعی<sup>۱۶</sup> به عنوان ابزاری کارآمد، روش‌های مدرن مورد استفاده قرار گرفت. روش‌های تکاملی<sup>۱۷</sup> یکی از ابزارهای حل مساله بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت می‌باشد. در این راستا، در سال‌های اخیر به منظور اصلاح الگوریتم‌های OPF برای فراهم آوردن امکان تحلیل سیستم قدرت شامل ادوات FACTS محققان الگوریتم‌ها و مدل‌های مختلفی را برای پخش بار و پخش بار بهینه ارائه نموده‌اند. Taranto و همکارانش روش تجزیه<sup>۱۸</sup> را برای پخش بار بهینه با استفاده از ادوات FACTS پیشنهاد دادند [۶]. از این روش می‌توان برای جبران سازه‌های سری و تغییردهنده‌های فاز استفاده نمود، اما در این روش، قیده‌های پخش بار در نظر گرفته نشده است. در [۷]، روش برنامه‌ریزی خطی برای حل مسئله پخش بار بهینه با قیود امنیتی<sup>۱۹</sup> به منظور تعیین پارامترهای FACTS در کنترل گذر توان خطوط معین به کار برده شد. همچنین، حل مساله پخش بار بهینه در حضور ادوات FACTS در سیستم قدرت به کمک روش نیون رافسون انجام شده است [۸]. Li و Chung از روش الگوریتم ژنتیک برای تعیین پارامترهای ادوات FACTS استفاده کردند [۹]. Bhasaputra و Ongsakul روش ترکیبی جستجوی ممنوعه<sup>۲۰</sup> و الگوریتم بازپخت فلزات<sup>۲۱</sup> را برای حل مسئله بهینه‌سازی در حضور ادوات FACTS معرفی کردند [۱۰]. در [۱۱] از ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و فازی به منظور جایابی بهینه‌سازی در حضور ادوات FACTS استفاده گردید.

در این مقاله تابع هدف در نظر گرفته شده مجموع هزینه‌های سیستم قدرت می‌باشد که شامل هزینه‌های تولید، هزینه انتقال انرژی با در نظر گرفتن هزینه قیمت حاشیه‌ای محلی و هزینه نصب OUPFC است. از آنجا که در [۳]، هزینه قیمت حاشیه‌ای محلی و تاثیر آن در کاهش هزینه انتقال در نظر گرفته نشده بود، میزان کاهش تابع هزینه در شبکه انتقال سیستم قدرت ناشی از مدیریت صحیح توان نیز ارزیابی می‌گردد. دسته‌بندی بخش‌های این مقاله به عبارت زیر می‌باشد: فصل دوم، مدل ریاضی OUPFC را به طور مفصل مطرح می‌نماید. الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه UPFC در فصل سوم شرح داده شده است در فصل چهارم به ارائه فرمول‌نویسی مسئله که شامل توابع هدف و قیودها و الگوریتم حل مسئله می‌باشد پرداخته شده است. فصل پنجم شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته، و در آخر، در فصل ششم نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

## ۲- مدل ریاضی کنترل کننده یکپارچه بهینه توان

دیگرام فازوری و نمای ساده یک OUPFC در شکل ۱ و مدل حالت ماندگار OUPFC در شکل ۱ نشان داده شده است [۲]. این مدل‌ها به خوبی تاثیر عملکرد کنترل کننده را در یک سیستم قدرت

### ۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جستجوی مبتنی بر اصل تکامل می‌باشد، که براساس اصل انتخاب طبیعی و امکان بقاء برای تولید مثل نسل قوی‌تر بنا نهاده شده است. کروموزوم که جواب مسئله می‌باشد، از تعدادی ژن در کنار یکدیگر تشکیل شده است. در ابتدا کروموزوم با رفتار احتمالی جمعیت اولیه ساخته شده، سپس ارزیابی کروموزوم‌ها از طریق تابع هدف صورت پذیرفته، در گام بعدی عملگر انتخاب کروموزوم‌های با بیشترین برازندگی را در بین جمعیت موجود انتخاب کرده و بعد از عملگرهای هم‌بندی<sup>۲۳</sup> و جهش<sup>۲۴</sup> جمعیت جدید ساخته می‌شود. پروسه تا زمانی که جمعیت بهبود داده شده و جواب بهینه مسئله یافته شود ادامه پیدا می‌کند.

در مسئله جایابی تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم به تعداد OUPFCها و پارامترهای کنترلی هر یک از کنترل‌کننده‌ها وابسته است. نمونه‌ای از کروموزوم به عنوان ساختار جواب پیشنهادی مسئله در شکل ۳ نشان داده شده است.

جواب در نظر گرفته شده از ۶ بخش تشکیل شده است و ژن‌های<sup>۲۵</sup> هر بخش به ترتیب حاوی اطلاعات مکان OUPFCها، زاویه فاز PST، دامنه عملکرد UPFC، زاویه فاز UPFC، و دو بخش انتهایی حاوی اطلاعات دامنه و اختلاف فاز ولتاژ ابتدا و انتهای خطی که OUPFC بر روی آن نصب خواهد شد می‌باشد.

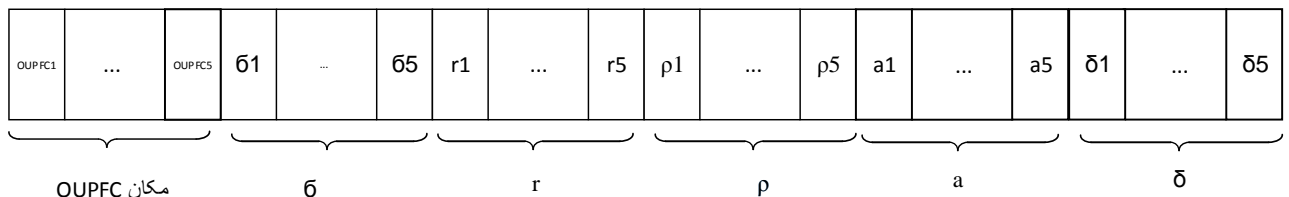
### ۴- فرمول نویسی مسئله و تابع هدف

از اثرات نصب OUPFC در سیستم قدرت می‌توان به کنترل پخش توان، کاهش تلفات سیستم و کاهش هزینه سوخت ژنراتورها اشاره نمود. هر یک از هزینه‌های مذکور می‌توانند به عنوان تابع هدف مسئله OPF در حضور OUPFC در نظر گرفته شود. در این مقاله حداقل نمودن تابع هزینه شامل هزینه تولید، هزینه نصب OUPFC و هزینه انتقال با در نظر گرفتن هزینه قیمت حاشیه‌ای محلی به عنوان تابع هدف انتخاب شده است.

#### ۴-۱- تابع هزینه تولید

این تابع به معنای تعیین توان‌های تولیدی هر واحد نیروگاهی در شبکه به گونه‌ای است که با توجه به تابع هزینه سوخت آن واحد، حداقل هزینه به دست آید. این تابع به فرم زیر می‌باشد.

$$C_{Gen} = \sum_{i=1}^n \alpha_0 + \alpha_1 P_{G_i} + \alpha_2 P_{G_i}^2 \quad (13)$$



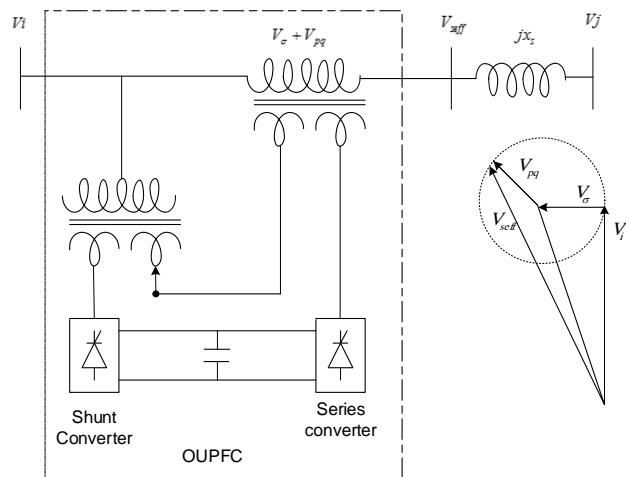
شکل ۳ ساختار جواب پیشنهادی برای مسئله مورد نظر

متغیرهای  $r$ ،  $\gamma$  و  $\sigma$  پارامترهای کنترلی کنترل‌کننده یکپارچه بهینه توان می‌باشند و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

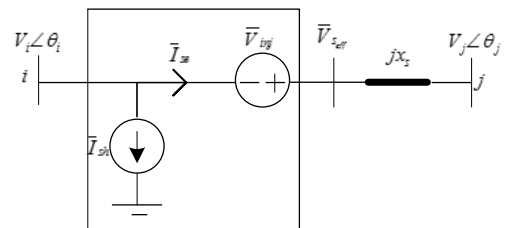
$$u_d = r \cos(\rho), u_q = r \sin(\rho) \quad u_d^2 + u_q^2 = r^2 \quad (11)$$

$$r = \sqrt{u_{up1}^2 + u_{up2}^2}, \quad \gamma = \tan^{-1} \left( \frac{u_{up2}}{u_{up1}} \right) \quad (12)$$

$$b_{se} = \frac{1}{X_{se}}, \quad \delta = \theta_i - \theta_j, \quad k = \tan \sigma$$



شکل ۱ دیگرام فازوری و نمای ساده یک OUPFC



شکل ۲ مدل OUPFC شامل منبع ولتاژ سری و منبع جریان موازی

#### ۴-۴- محدودیت‌های مسئله

$$\begin{aligned} \min \quad & C_{Total} = \sum C_{Gen} + \sum C_{Trans} + \sum C_{Comp} \\ s.t.: \quad & P_{ij} = |Y_{ij}| V_i (V_i \cos \varphi_{ij} - V_j \cos(\varphi_{ij} + \theta_j - \theta_i)) \\ & Q_{ij} = |Y_{ij}| V_i (V_i \sin \varphi_{ij} - V_j \sin(\varphi_{ij} + \theta_j - \theta_i)) \\ & 0 \leq P_{G_i} \leq P_{G_i, \max} \\ & P_{ij, \min} \leq P_{ij} \leq P_{ij, \max} \\ & Q_{ij, \min} \leq Q_{ij} \leq Q_{ij, \max} \\ & V_{i, \min} \leq V_i \leq V_{i, \max} \\ & \sum P_{G_i} = \sum_{j=m}^n P_{ij} + P_{Load, i} \\ & 0.95 \leq \frac{V_r}{V_s} \leq 1.05 \\ & 0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2} \\ & 0 \leq r \leq 1 \\ & -\pi \leq \rho \leq \pi \\ & -20^\circ \leq \sigma \leq 20^\circ \end{aligned}$$

$P_{G_i}$ : توان اکتیو تولید هر ژنراتور (MW)

$P_{G_i, \max}$ : حداکثر توان اکتیو تولید هر ژنراتور (MW)

$P_{ij}$ : توان اکتیو انتقالی از باس  $i$  به باس  $j$  (MW)

$Y_{ij}$ : ادمیتانس خط انتقالی از باس  $i$  به باس  $j$  ( $\Omega$ )

$\varphi_{ij}$ : زاویه ادمیتانس خط انتقالی از باس  $i$  به باس  $j$  (rad)

$V_i$ : ولتاژ باس  $i$  (V)

$P_{ij, \min}$ : حداقل ظرفیت انتقال توان اکتیو در خط انتقال  $ij$  (MW)

$P_{ij, \max}$ : حداکثر ظرفیت انتقال توان اکتیو در خط انتقال  $ij$  (MW)

$V_{i, \min}$ : حداقل ولتاژ باس  $i$  (V)

$V_{i, \max}$ : حداکثر ولتاژ باس  $i$  (V)

$P_{Load, i}$ : بار باس  $i$  (MW)

#### ۵- مطالعه

به منظور ارزیابی تاثیر OUPFC بر بهره‌برداری اقتصادی از سیستم قدرت، جایابی این کنترل‌کننده در شبکه ۳۰ باسه IEEE به وسیله پخش بار بهینه در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت پذیرفته شده است. الگوریتم جایابی بهینه OUPFCها در سیستم قدرت و تعیین پارامترهای کنترلی مربوطه با هدف کاهش هزینه‌ها مطابق شکل ۴ است. اطلاعات مربوط به شبکه ۳۰ باسه IEEE نشان داده شده در شکل ۵، در [۱۷] موجود است. در این مقاله تعداد OUPFCها ۵ عدد در نظر گرفته شده است.

نتایج حاصل از جایابی بهینه و تعیین پارامترهای کنترلی پنج عدد OUPFC در جدول ۱ نشان داده شده، همچنین، هزینه‌های

که در اینجا  $P_{G_i}$  توان اکتیو تولیدی هر ژنراتور بر حسب MW و  $\alpha_0$ ،  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  ضرایبی ثابت هستند که برای نیروگاه‌های مختلف متفاوت بوده و در مشخصات تولید کننده داده می‌شود.

#### ۴-۲- تابع هزینه انتقال

از آنجا که اختلاف هزینه‌های انتقال در نتیجه‌ی اختلاف در قیمت‌های حاشیه‌ای محلی می‌باشد، تابع هزینه انتقال که به نوعی بیانگر میزان تلفات ناشی از کاهش توان انتقالی در نتیجه پخش بار بهینه نیز است، به صورت زیر تعریف می‌گردد [۱۳، ۱۴].

$$C_{Trans} = \sum_{i \neq j} (\lambda_i - \lambda_j) P_{ij} \quad (14)$$

$\lambda_i$  قیمت حاشیه‌ای محلی گره  $i$  (\$/MWhr) و  $P_{ij}$  توان انتقالی در خط  $ij$  بر حسب MW می‌باشد.

#### ۴-۳- تابع هزینه ادوات FACTS

به منظور یافتن ظرفیت بهینه، تابع هزینه ادوات FACTS به صورت زیر می‌باشد [۳]

$$C_{Comp} = \frac{C_{OUPFC}}{8760 \times 5} (\$/h) \quad (15)$$

هزینه OUPFC،  $C_{OUPFC}$ ، بر حسب \$ می‌باشد. تابع هزینه OUPFC بر اساس اطلاعات شرکت‌های ABB و Siemens مطابق زیر است [۱۵، ۱۶]

$$C_{OUPFC} = ((12 \times S_{PST}) + (0.0003 \times S_{OUPFC}^2 - 0.2691 \times S_{OUPFC} + 188.22) \times S_{OUPFC}) \times 1000 \quad (16)$$

با توجه به آنکه OUPFC از ترکیب یک UPFC و یک PST ساخته شده است.  $S_{FACTS}$ ، میزان بهره‌برداری از تجهیزات بر حسب MVA، نیز شامل اجزاء  $S_{UPFC}$  و  $S_{PST}$  می‌باشد. با توجه به آنکه ادوات FACTS مدت زمان زیادی مورد استفاده قرار خواهند گرفت، مشابه [۲] در این برنامه نیز افق زمانی ۲۶ پنج ساله برای ارزیابی تابع هزینه در نظر گرفته شده است.

$$C_{Total} = C_{Gen} + C_{Trans} + C_{Comp} \quad (17)$$

$C_{Total}$  تابع هزینه کل،  $C_{P_G}$  تابع هزینه تولید،  $C_{Trans}$  تابع هزینه انتقال و  $C_{Comp}$  تابع هزینه جبران‌ساز استفاده شده، بر حسب \$ می‌باشند

تولیدی در دو حالت قبل و بعد از جایابی OUPFC ها در جدول های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱ محل نصب و پارامترهای کنترلی OUPFC

OUPFC	از	به	c	R	f	$\frac{1}{i}$	$\delta$
۱	۹	۱	۰/۱۸۹	۰/۱۱۳	۰/۳۵۰	۰/۹۷۴	۰/۶۲۴
۲	۷	۳	-۰/۲۹۶	۰/۰۲۹۴	-۲/۰۸۳	۰/۹۸۶	۰/۲۵۰
۳	۲	۳	۰/۱۵۹	۰/۰۲۱	۲/۹۰۸	۰/۹۶۰	۰/۷۷۶
۴	۱	۲	۰/۳۴۰	۰/۰۵۵	۰/۳۰۳	۰/۹۷۲	۰/۳۲۵
۵	۸	۷	۰/۰۱۳	۰/۰۴۱	-۱/۱۳۵	۰/۹۶۰	۱/۵۵۶

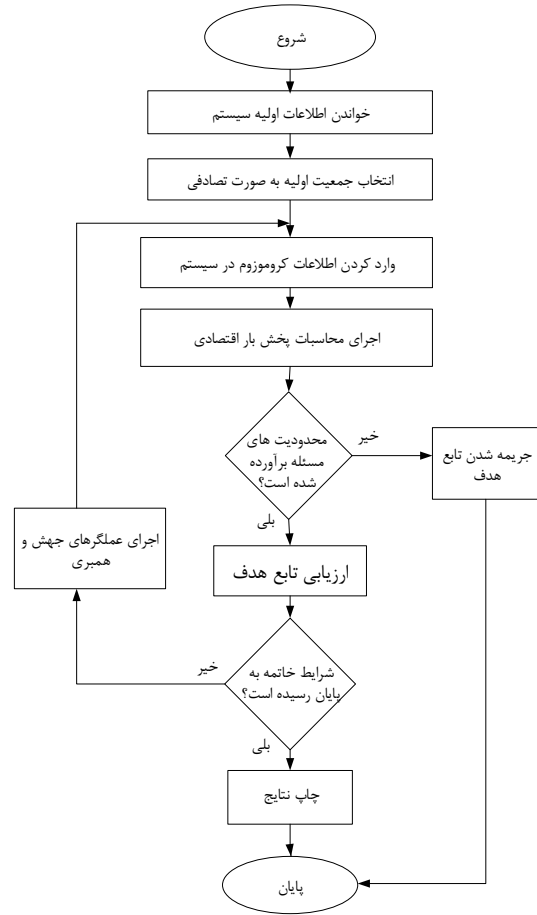
جدول ۲ هزینه تولیدی ژنراتورها قبل و بعد از جایابی OUPFC

هزینه و توان تولیدی هر ژنراتور	قبل از جایابی OUPFC		بعد از جایابی OUPFC	
	توان (MW)	هزینه (\$/h)	توان (MW)	هزینه (\$/h)
۱	۴۱۵۴	۱۱۷۶۰	۴۳/۲۵	۱۲۳/۹۳
۲	۵۵۴۰	۱۵۰/۶۷	۵۷/۳۷	۱۵۷/۹۹
۳	۲۲۷۴	۵۵/۰۶	۲۲/۸۷	۵۵/۵۴
۴	۳۹۹۱	۱۴۲/۹۹	۳۴/۹۳	۱۲۳/۶۹
۵	۱۶/۲۸	۵۵/۴۲	۱۶/۵۲	۵۶/۴۰
۶	۱۶/۲۰	۵۵/۱۶	۱۶/۳۴	۵۵/۷۱

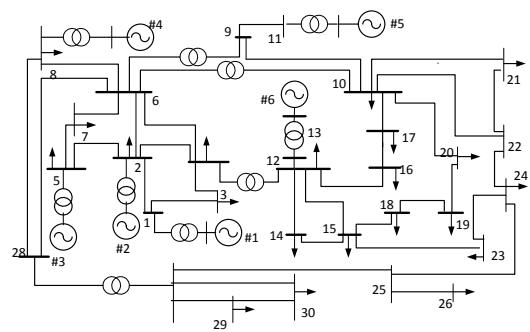
جدول ۳ هزینه تولیدی ژنراتورها قبل و بعد از جایابی OUPFC

	هزینه تولید	هزینه انتقال	هزینه OUPFC	هزینه کل
قبل از جایابی OUPFC	۵۷۶/۸۹	۱۹۴۳/۵۷۵	-	۲۵۲۰/۴۶۸
بعد از جایابی OUPFC	۴۴۴/۰۷۸	۴۷۸/۰۵۷	۵۷۳/۲۶۷	۱۴۹۵/۴۰۲

همانطور که از نتایج به دست آمده می‌توان استدلال نمود، هزینه تولید انرژی الکتریکی قبل از جایابی و نصب OUPFC ها، ۲۲/۸۹٪ هزینه کل را شامل می‌شود، اما این هزینه بعد از جایابی به میزان ۲۹/۶۹۶٪ هزینه کل افزایش یافته است. اما، هزینه انتقال انرژی الکتریکی از میزان ۷۷/۱۱٪ هزینه کل به میزان چشم‌گیر ۳۱/۹۷٪ کاهش یافته است که به معنای ۷۵/۴٪ کاهش هزینه کل بعد از جایابی OUPFC ها می‌باشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت نصب تعدادی مشخص OUPFC در محل مناسب سیستم قدرت



شکل ۴ الگوریتم حل مسئله پیشنهادی



شکل ۵ سیستم ۳۰ شینه IEEE

- [6] G. N. Taranto, L. Pinto, and M. V. F. Pereira, "Representation of FACTS devices in power system economic dispatch", *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 7, pp. 572-576, 1992.
- [7] S. Ge and T. Chung, "Optimal active power flow incorporating power flow control needs in flexible AC transmission systems," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 14, pp. 738-744, 1999.
- [8] H. Ambriz-Perez, E. Acha, and C. Fuerte-Esquivel, "Advanced SVC models for Newton-Raphson load flow and Newton optimal power flow studies," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 129-136, 2000.
- [9] T. Chung and Y. Li, "A hybrid GA approach for OPF with consideration of FACTS devices," *Power Engineering Review, IEEE*, vol. 20, pp. 54-57, 2000.
- [10] W. Ongsakul and P. Bhasaputra, "Optimal power flow with FACTS devices by hybrid TS/SA approach," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 24, pp. 851-857, 2002.
- [11] A. Deihimi and H. Javaheri, "A Fuzzy Multi-Objective Multi-Case Genetic-Based Optimization for Allocation of FACTS Devices to Improve System Static Security, Power Loss and Transmission Line Voltage Profiles", *International Review of Electrical Engineering*, vol. 5, 2010.
- [12] A. Nabavi-Niaki and M. R. Iravani, "Steady-state and dynamic models of unified power flow controller (UPFC) for power system studies," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 11, pp. 1937-1943, 1996.
- [13] D. Kirschen and G. Strbac, "Fundamentals of power system economics, 2004," ed: Wiley.
- [14] S. K. Ng, C. Lee, and J. Zhong, "A game theoretic approach to study strategic interaction between transmission and generation expansion planning," in *IEEE Conference Proceedings*, 2006.
- [15] M. Saravanan, S. Slochanal, P. Venkatesh, and J. Abraham, "Application of particle swarm optimization technique for optimal location of FACTS devices considering cost of installation and system loadability", *Electric Power Systems Research*, vol. 77, pp. 276-283, 2007.
- [16] D. Bonmann, "Technical information on the ABB phase shifting transformer," ed: Feb, 2001.
- [17] K. Lee, Y. Park, and J. Ortiz, "A united approach to optimal real and reactive power dispatch", *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, pp. 1147-1153, 1985.

مورد مطالعه منجر به کاهش هزینه‌ی کل به میزان ۴۰/۶۷٪ شده است.

## ۶- نتیجه‌گیری

امروزه کاهش قیمت برق در بازارهای رقابتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از راهکارهای مناسب برای کنترل هزینه سیستم قدرت، پخش بار بهینه در حضور سایر تجهیزات موثر از جمله ادوات FACTS می‌باشد. در این مقاله روش جدیدی مبتنی بر پخش بار بهینه برای جابجایی مناسب کنترل‌کننده یکپارچه بهینه توان در سیستم قدرت ارائه شده است. روش پیشنهاد شده با هدف اقتصادی نمودن شرایط بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت و کاهش هزینه تولید، هزینه انتقال و هزینه‌ی نصب OUPFC، به تعیین محل مناسب نصب OUPFCها می‌پردازد. روش پیشنهادی در شبکه ۳۰ - باسه استاندارد IEEE ارائه شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، بهبود قابل توجه در هزینه کل سیستم قدرت استفاده از این روش را توصیه می‌نماید.

## مراجع:

- [1] N. G. Hingorani, "Power electronics in electric utilities: role of power electronics in future power systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 76, pp. 481-482, 1988.
- [2] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, and S. Nabavi Niaki, "Modelling of Optimal Unified PowerFlow Controller (OUPFC) for optimal steady-state performance of power systems," *Energy conversion and Management*, vol. 52, pp. 1325-1333, 2011.
- [3] L. Afshin, K. Ahad, and B. Mohammad, "Improving power systems operation through multiobjective optimal location of optimal unified power flow controller," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 21, pp. 1893-1908, 2013.
- [4] A. Lashkar Ara, J. Aghaei, M. Alaleh, and H. Barati, "Contingency-based optimal placement of Optimal Unified Power Flow Controller (OUPFC) in electrical energy transmission systems," *Scientia Iranica*, 2013.
- [5] M. Behshad, A. Lashkarara, and A. Rahmani, "Optimal location of UPFC device considering system loadability, total fuel cost, power losses and cost of installation," in *Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2009 2nd International Conference on*, 2009, pp. 231-237.

## رزومه



**افشین لشکرآرا** در سال (۱۳۵۲) در تهران

متولد شد. مدارک کارشناسی، کارشناسی ارشد و

دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و

(۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد

دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت

ایران در رشته مهندسی برق - قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون

عضو انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) و از سال (۱۳۸۰)

تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند.

زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت،

پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.

**پانته آ عوض پور** در آبادان متولد شده است (۱۳۵۸). تحصیلات

دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از

دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۸۲)، کارشناسی ارشد مهندسی

برق - قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول اخذ کرده

است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات

FACTS، مباحث پایداری گذرا و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت

است.

## زیر نویس‌ها

<sup>1</sup>Optimal Placement

<sup>2</sup>Optimal Unified Power Flow Controller (OUPFC)

<sup>3</sup>Genetic Algorithm (GA)

<sup>4</sup>Power Injection Model

<sup>5</sup>Optimal Power Flow (OPF)

<sup>6</sup>Multi-Objective Function

<sup>7</sup>Cost Function (CF)

<sup>8</sup>Formulation

<sup>9</sup>Unified Power Flow Controller

<sup>10</sup>Phase Shifting Transformer

<sup>11</sup>Locational Marginal Prices (LMPs)

<sup>12</sup>Linear Programming (LP)

<sup>13</sup>Nonlinear Programming (NLP)

<sup>14</sup>Quadratic Programming (QP)

<sup>15</sup>Newton method

<sup>16</sup>Artificial Neural Network (ANN)

<sup>17</sup>Evolutionary Programming (EP)

<sup>18</sup>Decomposition

<sup>19</sup>Security

<sup>20</sup>Tabu Search (TS)

<sup>21</sup>Simulated Annealing (SA)

<sup>22</sup>Converter

<sup>23</sup>Crossover

<sup>24</sup>Mutation

<sup>25</sup>Gen

<sup>26</sup>Time Horizon