

## جایابی بهینه UPFC در شبکه برق اصفهان - خوزستان با استفاده از الگوریتم APSO به

### منظور بهبود پایداری گذرا

یونس رضایی<sup>۱</sup>، امین خدابخشیان<sup>۲</sup>، مجید معظمی<sup>۳</sup> و اسکندر قلی پور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

yunesrezaii@gmail.com

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

aminkh@yahoo.com

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

m\_moazzami@eng.ui.ac.ir

۴- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

egholipour@eng.ui.ac.ir

**چکیده:** امروزه سیستم‌های قدرت با توجه به افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی در حاشیه پایداری کمتری نسبت به گذشته کار می‌کنند. افزایش وقوع خاموشی‌های گسترده در سال‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا مبین این نکته است. استفاده از ادوات FACTS نقش مهمی در بهبود پایداری در سیستم‌های قدرت دارد. یکی از ادوات FACTS کارآمد برای کنترل مجزای توان اکتیو و راکتیو خطوط UPFC است که باعث بهبود پایداری در سیستم قدرت می‌گردد. در این مقاله، یک روش جایابی بهینه UPFC با استفاده از الگوریتم PSO تطبیقی (APSO) در شبکه انتقال اصفهان - خوزستان برای بهبود پایداری استاتیکی و گذرا ارائه شده است. در روند جایابی UPFC قیود ولتاژ سیستم، بارگذاری و تراکم خطوط، تلفات کل سیستم و هزینه اقتصادی نصب و بهره‌برداری UPFC در نظر گرفته شده است. سیستم کنترلی UPFC به همراه سیگنال کنترل تکمیلی آن به شکل دقیق مدل‌سازی شده است. سپس با مدل‌سازی کلیه المان‌های شبکه و سیستم‌های کنترل بار و فرکانس و ولتاژ کلیه ژنراتورهای موجود، شبکه اصفهان خوزستان با استفاده از نرم‌افزار DigSILENT شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده تاثیر قابل توجه روش پیشنهادی در بهبود پایداری استاتیکی و گذرا در سیستم تحت مطالعه است.

**واژه های کلیدی:** پایداری گذرا، UPFC، شبکه اصفهان - خوزستان - الگوریتم APSO

### ۱- مقدمه

پایداری نسبت به گذشته، مطالعات پایداری سیستم قدرت اهمیت بیشتری یافته است. از طرفی، ویژگی‌های سیستم‌های قدرت فعلی باعث پیچیده شدن مسائل پایداری شده است. امروزه پیشرفت تئوری سیستم‌های دینامیکی و کنترل، توسعه ابزارها و روش‌های محاسباتی قوی و نیز پیشرفت سیستم‌های کنترلی و طرح‌های حفاظتی، امکان شناخت دقیق جوانب مختلف مسأله پایداری و تحلیل و تقویت آن را فراهم نموده است.

با توسعه و تکامل سیستم‌های قدرت به هم پیوسته و افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و کاهش حاشیه

---

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۵/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۹/۱۹

نام نویسنده مسؤول : مجید معظمی

نشانی نویسنده مسؤول : ایران - اصفهان - دانشگاه اصفهان -

دانشکده فنی و مهندسی

پایداری N-1 ارائه شده است. استفاده از معیار پایداری N-1 در مکان‌یابی UPFC با استفاده از الگوریتم هوشمند PSO در مرجع [۹] گزارش شده است.

در [۱۰] برای مکان‌یابی UPFC جهت بالا بردن میزان بارپذیری سیستم روش جدیدی مبتنی بر تغییرات حساسیت توان عبوری از خط بر حسب پارامترهای شبکه پیشنهاد شده است. در [۱۱] برای انتخاب مکان مناسب UPFC از پیشامدهای محتمل و بررسی اثر و شدت آنها در سیستم قدرت استفاده شده است. بدین منظور، برای رتبه‌بندی این پیشامدها از منطق فازی بر اساس تغییرات توان اکتیو بارها و تخطی ولتاژ از حدود مجاز و شاخص پایداری ولتاژ استفاده شده است.

شبکه برق اصفهان- خوزستان به علت موقعیت جغرافیایی ویژه در مرکز و جنوب ایران و داشتن اتصالات مختلف به برق‌های مناطق مجاور، همچنین قرار گرفتن در مسیر عبور توان شمال- جنوب کشور دارای جایگاه مهمی در شبکه برق ایران است. با توجه به وجود مراکز بار صنعتی در این دو استان و ظرفیت قابل توجه توان تولید آبی و بخاری و حجم توان مبادله‌ای بین این نواحی، بهبود پایداری گذرا و استاتیکی و کاهش نوسان‌های سیستم قدرت در شرایط وقوع اغتشاش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور، در این مقاله یک روش جایابی بهینه UPFC با استفاده از الگوریتم PSO تطبیقی (APSO) برای بهبود پایداری استاتیکی و گذرا در شبکه مزبور ارائه شده است. در روند جایابی UPFC قیود ولتاژ سیستم، بارگذاری و تراکم خطوط، تلفات کل سیستم و هزینه اقتصادی نصب و بهره‌برداری UPFC در نظر گرفته شده است. سیستم کنترلی UPFC به همراه سیگنال کنترل تکمیلی آن به شکل دقیق مدل‌سازی شده است. سپس با مدل‌سازی دقیق کلیه المان‌های شبکه و سیستم‌های کنترل بار و فرکانس و ولتاژ کلیه ژنراتورهای موجود، شبکه اصفهان خوزستان با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده تاثیر قابل توجه روش پیشنهادی در بهبود پایداری استاتیکی و گذرا در سیستم تحت مطالعه

توانی که توسط یک خط انتقال ac انتقال می‌یابد، تابعی از امپدانس خط، دامنه ولتاژهای ابتدا و انتهای خط و نیز زاویه فاز بین این ولتاژهاست. با تنظیم این پارامترها می‌توان توان انتقالی را کنترل کرد. کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)، عضوی از ادوات FACTS است که انعطاف پذیری بالایی در کنترل توان در سیستم قدرت و بهبود پایداری گذرا و استاتیکی آن دارد. به عبارت دیگر، UPFC می‌تواند تماماً کنترل پخش توان اکتیو و راکتیو را به صورت مستقل از هم فراهم آورد. این قابلیت اساسی هم اکنون UPFC را به یکی از قدرتمندترین تجهیزات کنترلی سیستم انتقال تبدیل کرده است.

نوسان‌های الکترومکانیکی فرکانس پایین از خصوصیات اجتناب ناپذیر سیستم‌های قدرت هستند و به طور وسیعی در ظرفیت انتقال خطوط و پایداری سیستم قدرت موثر خواهد بود. تاثیر قابل ملاحظه UPFC در میرا کردن نوسانات فرکانس پایین و بهبود پایداری سیگنال کوچک [۱-۳]، بهبود پایداری گذرا [۴] و بالا بردن حاشیه پایداری ولتاژ در سیستم قدرت [۵] نشان دهنده قابلیت‌های UPFC است.

برای افزایش هرچه بیشتر کارایی UPFC در سیستم قدرت لازم است اهداف نصب UPFC مشخص شود و با استفاده از آن، مکان بهینه نصب این عنصر و ظرفیت توان آن مشخص گردد. برای مکان‌یابی بهینه UPFC می‌توان از یک الگوریتم بهینه‌سازی مناسب استفاده کرد.

استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی، یکی از ابزارهای مؤثر در مکان‌یابی UPFC در سیستم‌های قدرت است. در [۶] از الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA) و الگوریتم ژنتیک برای مکان‌یابی بهینه ادوات FACTS در سیستم قدرت برای بهبود پایداری استفاده شده است. در [۷] از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته NSGA2 برای یافتن مکان بهینه UPFC جهت بهبود عملکرد سیستم قدرت استفاده شده است. در [۸] یک الگوریتم تفاضلی (DE) برای پیدا کردن مکان و تنظیم پارامترهای UPFC برای بالا بردن امنیت سیستم تحت شرایط وجود یک اغتشاش با معیار

دارد.

## ۲-۲- مدل سازی UPFC و سیستم کنترلی آن

### ۲-۲-۱- مدل سازی UPFC

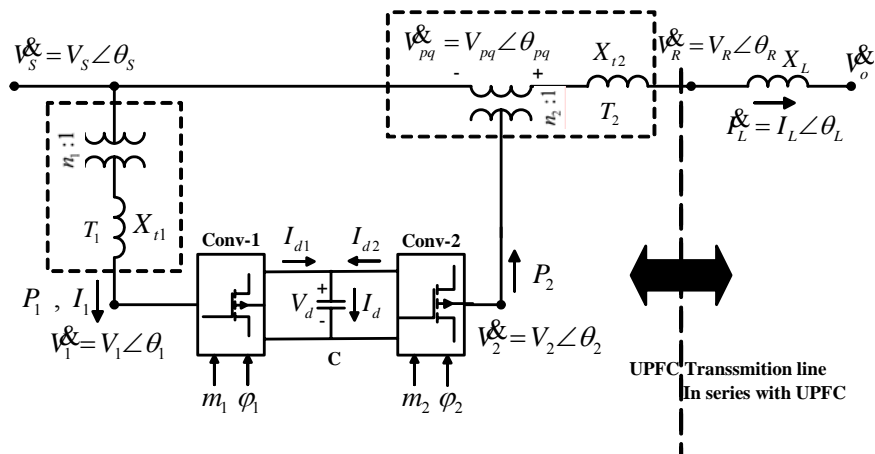
برای بررسی و مطالعه روابط بین سیستم انتقال و UPFC در عملکرد حالت ماندگار از بلوک دیاگرام تک خطی UPFC که در شکل (۱) نشان داده شده است، استفاده می شود. در این ساختار  $n_1$ ،  $X_{t1}$  و  $n_2$ ،  $X_{t2}$  به ترتیب نسبت تبدیل ولتاژ و راکتانس ترانسفورماتورهای موازی و سری است. همه متغیرهای جریان و ولتاژ استفاده شده در این مدل به صورت فازوری بیان شده اند. متغیرهای قسمت ac این مدل بر حسب مقادیر مبنای  $V_B$  و  $S_B$  پریونیت شده اند، در حالی که متغیرهای قسمت dc دارای واحد SI هستند.

## ۲- مدل سازی سیستم قدرت

### ۲-۱- مدل سازی تجهیزات سیستم

برای مدل سازی تجهیزات سیستم از مدل های استاندارد موجود استفاده شده است. بدین منظور برای مدل سازی توربین و گاورنر از مدل IEEE G1، برای مدل سازی واحدهای بخاری از مدل TGOV1، برای مدل سازی واحدهای آبی از مدل IEEE G2، از مدل GAST و واحدهای گازی از مدل GAST2A استفاده شده است. برای مدل سازی سیستم تحریک واحدهای بخاری از مدل های ESST3A و ESST1A و JEET2، برای واحدهای آبی از مدل های ESST1A و ESDC1A، و برای واحدهای گازی از مدل ESDC1A استفاده شده است

[۱۲]



شکل (۱): بلوک دیاگرام UPFC نصب شده در خط انتقال

$$P_2 = \text{Re}(V_{pq} I_L^*) = \text{Re}(V_{pq} \left( \frac{V_s + V_{pq} - V_R}{jX_{t2}} \right)^*) \quad (3)$$

در هر دو مبدل منبع ولتاژ از مدولاسیون PWM استفاده می شود. در این حالت روابط بین ولتاژ سمت dc و ac به صورت زیر خواهد بود:

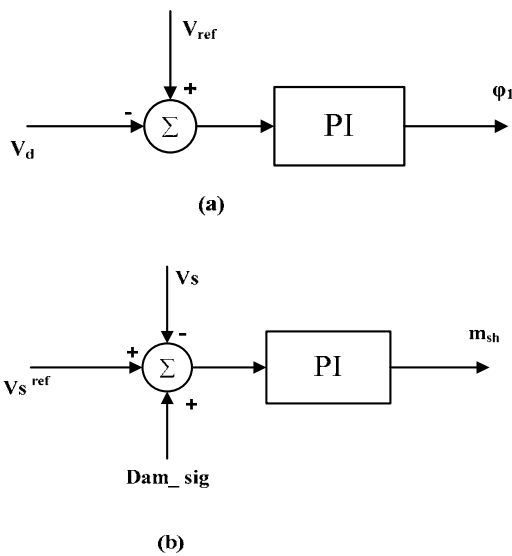
$$\begin{cases} V_1 = \frac{\sqrt{3}m_1 V_d}{2\sqrt{2}V_B} \\ V_2 = \frac{\sqrt{3}m_2 V_d}{2\sqrt{2}(n_2 V_B)} \end{cases} \quad (4)$$

دینامیک خازن لینک dc که در آن از تلفات UPFC صرف نظر شده است، با استفاده از معادله (۱) بیان می شود.

$$CV_d \frac{dV_d}{dt} = (P_1 - P_2)S_B \quad (1)$$

که در آن:

$$P_1 = \text{Re}(V_1 I_1^*) = \text{Re}(V_1 \left( \frac{n_1 V_s - V_1}{jX_{t1}} \right)^*) \quad (2)$$



شکل (۲): بلوک دیاگرام کنورتر موازی

در این مقاله از یک سیستم کنترل تکمیلی برای بهبود میرایی استفاده شده است. در این ساختار سیگنال میرا کننده با سیگنال خطا جمع شده است تا نوسان‌های سیستم در حالت گذرا کاهش یابد. در ادامه، نحوه ایجاد سیگنال میرا کننده بیان خواهد شد. ضرایب کنترل کننده کنورتر موازی در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): ضرایب کنترل کننده PI کنورتر موازی

ضرایب کنترل کننده PI	$K_p$	$K_i$
$V_d$	۰/۲	۵
$V_s$	۲	۰/۷

### ب- سیستم کنترلی کنورتر سری

کار کنورتر سری تزریق یک ولتاژ با دامنه و زاویه مشخص به خط است. ولتاژ تزریق شده با توجه به مد عملکرد UPFC می‌تواند دامنه و زاویه مختلف داشته باشد که برای تنظیم آن می‌توان از کنترل کننده‌های مختلف استفاده کرد. در این مقاله، هدف ثابت نگه داشتن توان عبوری از خط در مقدار مشخص است. بدین منظور، سیستم کنترلی استفاده شده در شکل (۳) نشان داده شده است [۱۳]:

که در آن ضرایب  $m_1$  و  $m_2$  ضرایب مدولاسیون PWM برای تثبیت ولتاژهای  $V_1$  و  $V_2$  سمت ac در مقادیر مشخص است.

زاویه فاز  $V_1$  و  $V_2$  با استفاده از زوایای آتش  $\phi_1$  و  $\phi_2$  کنورترها به صورت زیر قابل کنترل است:

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_s - \phi_1 \\ \theta_{pq} = \theta_s - \phi_2 \end{cases} \quad (5)$$

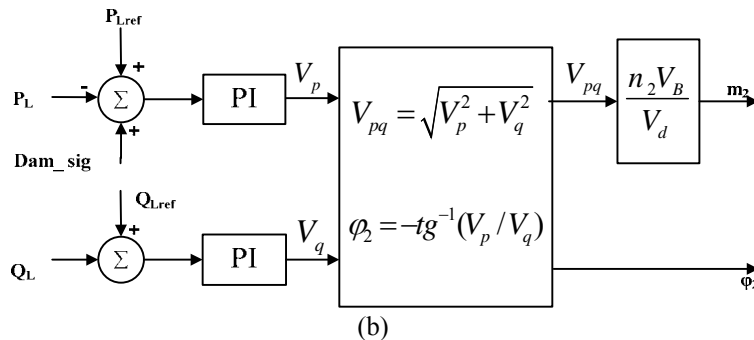
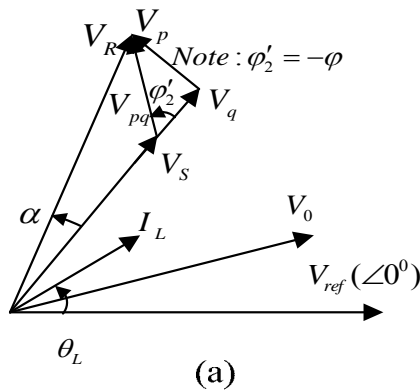
مقادیر  $m_1$ ،  $m_2$ ،  $\phi_1$  و  $\phi_2$  سیگنال‌های خروجی از UPFC برای سیستم کنترل اصلی است که در ادامه معرفی می‌شود.

## ۲-۲-۲- سیستم کنترلی UPFC

### الف- سیستم کنترلی کنورتر موازی

وظیفه اصلی این کنورتر ثابت نگه داشتن ولتاژ لینک DC است. ولتاژ لینک DC به علت تزریق توان اکتیو توسط کنورتر سری تغییر می‌کند. برای عملکرد صحیح UPFC، ولتاژ لینک DC باید ثابت باشد. لذا سیستم کنترلی کنورتر موازی باید به گونه‌ای عمل کند که ولتاژ لینک DC همیشه مقداری ثابت داشته باشد. در صورت بروز اغتشاش، نوسان‌های ولتاژ DC باید سریعاً میرا شود. کنورتر موازی همچنین می‌تواند با تزریق یا جذب توان راکتیو، ولتاژ باسی را که به آن متصل است، ثابت نگه دارد. سیستم کنترلی استفاده شده برای این منظور در شکل (۲) نشان داده شده است.

در شکل (۲- a)، ولتاژ لینک dc با مقدار مرجع آن به یک جمع کننده داده می‌شود و سیگنال خطای حاصل از آن پس از عبور از یک کنترل کننده PI، سیگنال مورد نیاز برای کنترل زاویه آتش کنورتر موازی را فراهم می‌آورد. در شکل (۲- b) نیز ولتاژ باس باری که کنورتر موازی به آن متصل است، با مقدار مرجع آن جمع شده است و سیگنال خطای حاصل پس از عبور از یک کنترل کننده PI، سیگنال مورد نیاز برای کنترل ضریب مدولاسیون کنورتر را فراهم می‌نماید.



شکل (۳): بلوک دیاگرام کانورتر سری

ضرایب کنترل کننده کانورتر سری در جدول (۲) نشان داده شده است.

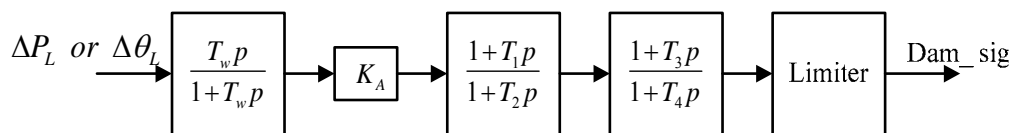
جدول (۲): ضرایب کنترل کننده PI کانورتر سری

ضرایب کنترل کننده PI	$K_p$	$K_i$
$P_L$	۳	۰/۶
$Q_L$	۴	۰/۸

### ج- سیستم کنترل کننده تکمیلی

برای میرا کردن بیشتر نوسانهای توسط UPFC می توان از بلوک دیاگرام تکمیلی شکل (۴) در سیستم کنترلی کانورترهای سری و موازی استفاده نمود [۱۳].

شکل (۳- a) دیاگرام برداری سیستم کنترلی کانورتر و شکل (۳- b) هم بلوک دیاگرام کانورتر سری را نشان می دهند. در این بلوک دیاگرام توان های اکتیو و راکتیو عبوری از خط، پس از جمع شدن با مقادیر مرجع، سیگنال های خطای مورد نیاز را تولید می کنند. این سیگنال ها پس از عبور از کنترل کننده PI، ولتاژهای  $V_p$  و  $V_q$  را تولید می کنند. در نهایت، از این دو ولتاژ می توان برای تولید سیگنال های مورد نیاز برای کنترل زاویه آتش و ضریب مدولاسیون استفاده کرد. در اینجا هم مشابه سیستم کنترلی کانورتر موازی، می توان از یک سیگنال میرا کننده برای میراسازی نوسان های سیستم در حالت گذرا استفاده نمود.



$\Delta P_L$ : tie line active power

$\Delta \theta_L$ : phase angle difference of tie line buses

شکل (۴): سیستم کنترل تکمیلی UPFC برای بهبود میرایی نوسان ها

استان حدود ۲۵ درصد برق مورد نیاز کشور را تولید کنند و به علت موقعیت ویژه آنها، شبکه انتقال این دو استان نقش بسیار مهمی در پایداری شبکه سراسری دارد. دیاگرام تکخطی این سیستم در شکل (۵) نشان داده شده است.

#### ۴- مکان‌یابی UPFC در سیستم تحت مطالعه

مکان‌یابی مناسب UPFC باعث افزایش سطح امنیت شبکه از طریق حذف کردن یا مینیم کردن بارگذاری بیش از حد خطوط و محدود کردن تغییرات ولتاژ باس‌ها تحت اغتشاشات شدید می‌شود. علاوه بر موارد مزبور، کاهش میزان تلفات سیستم به افزایش راندمان شبکه منجر می‌شود. همچنین، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نصب UPFC باید مینیمم شود. با در نظر گرفتن موارد فوق تابع هدف مکان‌یابی UPFC به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Min } \rho_1 \sum_{i=1}^n \left( \frac{|V_i - V_{\text{spec}}|}{V_{\text{imax}}} \right)^2 + \rho_2 \sum_l \text{Loss}_l + \rho_3 \sum_l \left( \frac{S_l - S_{\text{spec}}}{S_{\text{imax}}} \right)^2 + \rho_4 \cos \quad (6)$$

در این تابع، هدف سه جمله اول ابتدا پریونیت و سپس با هم جمع شده‌اند. در جمله اول انحراف ولتاژ نسبت به ولتاژ نامی نرمالیزه شده است. در جمله دوم تلفات نسبت به توان ظاهری شبکه تحت مطالعه (۱۰۰ مگا ولت آمپر) پریونیت شده است. در جمله سوم نیز تغییرات توان در خطوط نسبت به مقدار ماکزیمم توان خط نرمالیزه شده است. سه جمله اول در ارتباط با بهبود پارامترهای استاتیکی بهره‌برداری سیستم هستند. جمله چهارم هزینه UPFC را بیان می‌کند.  $\text{COST}_{upfc}$  در رابطه (۶) هزینه بهره‌برداری از UPFC بر حسب  $\text{USS/KVAR}$  است و از رابطه (۷) به دست می‌آید. با توجه به بزرگ بودن  $\text{COST}_{upfc}$ ، از یک ضریب وزنی برای ترکیب هزینه و توابع اضافه بار خطوط و اندیس انحراف ولتاژ استفاده شده است. در این مطالعه، با توجه به نرمالیزه بودن سه جمله اول از مقدار ضریب وزنی  $\rho_4 = 0.005$  برای جمله هزینه در تابع هدف استفاده شده است [۷].

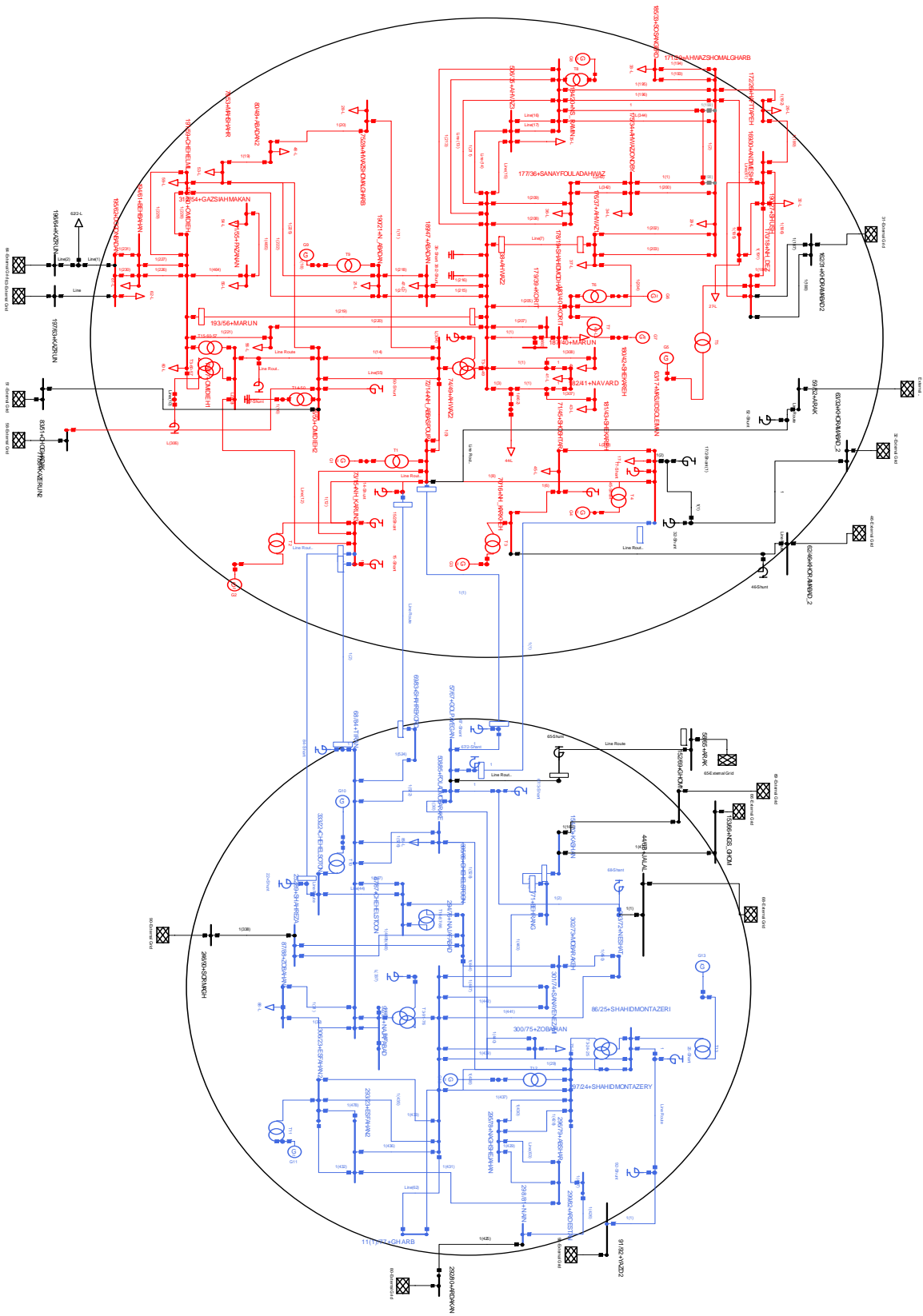
در این کنترل کننده سیگنال ورودی ابتدا از یک بلوک فیلتر عبور می‌نماید. در صورتی که سیستم در حالت دائم باشد و نوسان‌هایی در شبکه موجود نباشد، این فیلتر اجازه عبور سیگنال را از خود نمی‌دهد. با این کار، در حالت دائم این کنترل کننده در مدار نخواهد بود. در ادامه، از یک گین و دو بلوک  $\text{lead-lag}$  استفاده می‌شود که با تنظیم مناسب پارامترهای آن می‌توان به میراسازی نوسان‌های سیستم زمانی که در شبکه یک خطا بوجود می‌آید کمک کرد. در انتها از یک بلوک محدود کننده برای کنترل سیگنال خروجی در یک محدوده مشخص استفاده شده است. با این کنترل کننده می‌توان نوسان‌های حالت گذرا را تا حد چشمگیری کاهش و بدین ترتیب، پایداری شبکه را افزایش داد. ضرایب این کنترل کننده در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): ضرایب کنترل کننده PI کنترل کننده تکمیلی

ضرایب کنترل کننده تکمیلی	$T_w$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	K
مقدار	۱۰	۰/۱۲۹۷	۰/۰۵	۰/۱۸۹	۰/۰۵	۳۶/۸۷

#### ۳- شبکه انتقال اصفهان - خوزستان

شبکه برق اصفهان - خوزستان به علت موقعیت جغرافیایی ویژه در مرکز ایران و داشتن اتصالات مختلف به برق‌های مناطق مجاور، همچنین قرار گرفتن در مسیر عبور توان شمال- جنوب کشور دارای جایگاه مهم در شبکه برق ایران است. به علت وجود مراکز بزرگ صنعتی، برق منطقه‌ای این دو استان به عنوان یکی از مراکز بزرگ مصرف در کشور مطرح است. استان خوزستان به علت وجود نیروگاه‌های برق آبی با ظرفیت‌های بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به طوری که هم اکنون بالغ بر ۷۰۰۰ مگاوات توسط نیروگاه‌های برق آبی این استان تولید می‌شود. این رقم حدود ۲۰٪ برق مورد نیاز کشور است. این استان از نظر تولید نیروگاه‌های حرارتی نیز از پتانسیل ویژه‌ای برخوردار است؛ به طوری که هم اکنون حدود ۳۶۰۰ مگاوات برق مورد نیاز کشور توسط نیروگاه‌های حرارتی این استان در حال تولید است. در مجموع، این دو



شکل (۵): دیاگرام تک خطی شبکه انتقال اصفهان - خوزستان

می‌کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسأله با به روز کردن مکان ذره‌ها به جستجو ادامه می‌دهد. هر ذره به صورت چند بعدی (بسته به نوع مسأله) با دو بردار  $X_{id}$  و  $V_{id}$  که به ترتیب معرف موقعیت مکانی و سرعت بعد  $d$  از  $i$ امین ذره هستند، مشخص می‌شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، مکان ذره با دو مقدار بهینه به روز می‌شود. اولین مقدار، بهترین مکانی است که خود ذره تا به حال به دست آورده است و با  $p\_best$  نشان داده می‌شود. دومین مقدار، بهترین مکانی است که در بین تمامی ذرات تاکنون به دست آمده است و با  $g\_best$  نشان داده می‌شود. معادلات (۸) و (۹) به ترتیب نحوه به روز رسانی بردارهای سرعت و مکان را نشان می‌دهد.

$$v_{id}(t+1) = \omega \cdot v_{id}(t) + c_1 \cdot rand_1 \cdot (p\_best_{id} - x_{id}(t)) + c_2 \cdot rand_2 \cdot (g\_best_{id} - x_{id}(t)) \quad (8)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (9)$$

در معادله (۸)،  $c_1$  و  $c_2$  ضرایب شتاب هستند که در بازه [۰-۲] انتخاب می‌شود. در بیشتر مواقع برای هر دوی آنها مقدار ۲ در نظر گرفته می‌شود. دو عدد  $rand_1$  و  $rand_2$  نیز دو عدد تصادفی در بازه [۰-۱] هستند. همچنین معمولاً برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم، مقدار نهایی سرعت در یک بازه محدود می‌شود. ضریب  $\omega$  هم که به ضریب اینرسی معروف است، در الگوریتم PSO معمولاً یک مقدار ثابت دارد، اما این ضریب در الگوریتم APSO به روش‌های متفاوتی به دست می‌آید. برای حل مسأله در این مقاله حالت‌های مختلفی از به روز رسانی ضریب  $\omega$  مطابق مراجع [۱۸-۱۴] بررسی شده است. علاوه بر این، مسأله بهینه‌سازی این مقاله با روش‌های IPSO [۱۴]، روش PSO استاندارد و الگوریتم ژنتیک (GA) نیز حل شده است. در برخی از این روش‌ها مسأله اصلاً به جواب نرسید و مشکل همگرایی وجود داشت. در برخی دیگر به سختی و با تکرارهای فراوان مسأله به جواب می‌رسید.

استفاده از معادله (۱۰) برای به روز رسانی ضریب  $\omega$  بهترین پاسخ را از نظر دقت و سرعت همگرایی در مسأله تحت مطالعه داشته است.

$$\omega = (\omega_1 - \omega_2) \times \frac{(MAXITER - iter)}{MAXITER} + \omega_2 \quad (10)$$

$$Cost_{upfc} = 0.0003C_i^2 + 0.2691C_i + 188.2 \quad (7)$$

در این معادلات  $V_i$  ولتاژ واقعی باس  $i$  ام،  $V_{ispec}$  ولتاژ نامی باس  $i$  ام،  $V_{imax}$  حد بالای ولتاژ باس‌ها،  $S_i$  توان عبوری از خط،  $S_{ispec}$  توان نامی خط،  $S_{imax}$  ماکزیمم توان عبوری از خط،  $Loss_i$  تلفات خط و  $C_i$  توان راکتیو تزریقی UPFC بر حسب MVAR است. ضرایب وزنی  $\rho_1$  تا  $\rho_4$  برای ارزش دهی به هر یک از موارد یاد شده در تابع هدف تعیین می‌شود. مقادیر این ضرایب در این مطالعه مطابق جدول (۴) انتخاب شده است. بهبود پروفیل ولتاژ بیشترین اهمیت را در این مطالعه داشته است. بنابراین، ضریب وزنی جمله اول برابر ۱ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه مشکل تراکم در شبکه اصفهان-خوزستان خیلی جدی نیست ضریب ۰/۱ برای جمله سوم استفاده شده است. به علت تاکید کمتر بر تلفات در این مطالعه، ضریب ۰/۰۰۵ برای جمله دوم استفاده شده است.

جدول (۴): ضرایب وزنی استفاده شده در تابع هدف

$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$
۱	۰/۰۰۵	۰/۱	۰/۰۰۰۵

## ۵- الگوریتم APSO

برای حل مسأله بهینه‌سازی ارائه شده در معادله (۶) از الگوریتم PSO تطبیقی یا APSO استفاده می‌شود. ساختار این الگوریتم در ادامه بیان شده است.

الگوریتم APSO، یک حالت اصلاح شده از الگوریتم PSO کلاسیک است. الگوریتم PSO کلاسیک علی‌رغم محاسن زیادی که دارد، دارای معایبی نیز هست که مهمترین آنها عبارتند از: ۱- افتادن در مکان‌های بهینه محلی؛ ۲- توانایی جستجوی محلی ضعیف. برای برطرف کردن این مشکلات روش‌های مختلفی ارائه شده است، که هر کدام به نحوی سعی در برطرف نمودن این معایب دارد. یکی از روش‌هایی که در این زمینه بیان شده، روش APSO است. اساساً در روش APSO برای اصلاح معایب الگوریتم PSO، بر روی ضریب به روز رسانی سرعت ذرات؛ یعنی  $\omega$  کار می‌شود. این الگوریتم، مشابه الگوریتم PSO، با یک گروه از جواب‌های تصادفی (ذره‌ها) شروع به کار



در این ساختار ابتدا برنامه، اولین خط انتقال سیستم قدرت از بین خطوط پیشنهادی را که در بخش ۷ معرفی خواهد شد، انتخاب و ۳۰ مقدار مختلف برای توان اکتیو و راکتیو این خط به صورت تصادفی انتخاب می‌کند. بنابراین، جامعه ذرات الگوریتم APSO، ۳۰ ذره است. انتخاب ذرات به گونه‌ای است که برای توان اکتیو مقادیر ذرات بین ۰/۵ تا ۱ پرونیت و برای توان راکتیو مقادیر ذرات بین ۰/۱ تا ۰/۳۵ پرونیت در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه معادلات اصلاح شده پخش بار نیوتن رافسون با وجود UPFC در خط، با استفاده از روش بیان شده در مرجع [۱۹] حل می‌شود. سپس برنامه بهینه سازی اجرا شده تا پس از همگرایی، در صورتی که قرار باشد UPFC روی این خط قرار گیرد میزان توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط، مقدار تابع هدف و پارامترهای UPFC محاسبه و ثبت شود. این چرخه برای تمامی خطوط به طور جداگانه تکرار می‌گردد و در نهایت با مقایسه میزان خروجی تابع هدف برای خطوط پیشنهادی و انتخاب مینیمم آنها، مکان UPFC و میزان توان عبوری از آن خط و نیز پارامترهای UPFC مانند ولتاژ و زاویه فاز سری و ولتاژ و زاویه فاز شنت به دست می‌آید.

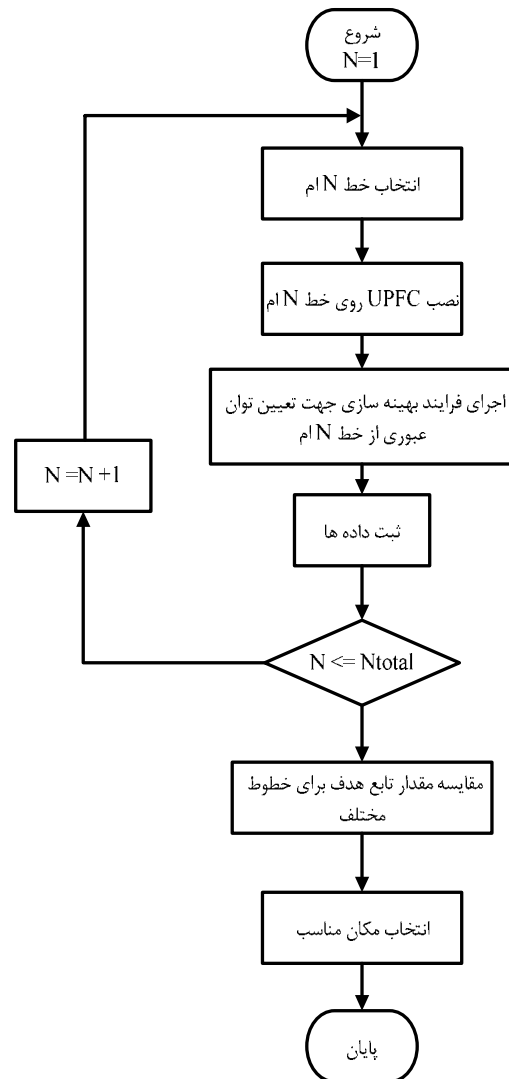
## ۷ - نتایج شبیه‌سازی

برای انجام شبیه‌سازی ابتدا باید مطابق روش بیان شده، مکان و ظرفیت UPFC را در شبکه پیدا نمود. برای این کار ابتدا باید خطوطی را که ممکن است UPFC روی آن نصب شود، انتخاب نمود. در این مطالعه این انتخاب بر اساس دو معیار طول خط و مقدار بارگذاری آن در سه سطح بار ۹۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۱۰۰۰ مگاوات شبکه اصفهان- خوزستان صورت می‌گیرد. بنابراین، از بین خطوط شبکه اصفهان و خوزستان ۹ خط که دارای این دو معیار هستند انتخاب شده است. مشخصات این خطوط در جدول (۵) نشان داده شده است. مکان‌یابی مطابق فلوجارت بیان شده در قسمت ۶ و از بین ۹ خط پیشنهاد شده و در ۳ بارگذاری یاد شده انجام شده و نتایج آن در جداول (۶) - (۸) نشان داده شده است.

در این رابطه  $\omega_1$  و  $\omega_2$  به ترتیب حد بالا و پایین مقدار  $\omega$ ، MAXITER ماکزیمم تعداد تکرار الگوریتم و iter شماره تکرار کنونی الگوریتم است. این الگوریتم نسبت به PSO معمولی عملکرد بسیار بهتری دارد. در فرآیند بهینه‌سازی APSO تعداد تکرارها بسیار کاهش یافته و نیز احتمال همگرا شدن مسأله به خصوص زمانی که تعداد اعضای جامعه زیاد شود، افزایش می‌یابد. شرط خاتمه الگوریتم همگرایی ذرات تا حد معین و یا توقف بعد از تعداد معینی تکرار است.

### ۶- فلوجارت روش پیشنهادی برای مکان‌یابی UPFC

با توجه به موارد ذکر شده، فلوجارت پیشنهادی برای مکان‌یابی بهینه و تعیین پارامترهای UPFC در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): فلوجارت روش پیشنهادی

جدول (۵): اطلاعات خطوط مورد مطالعه برای نصب UPFC

باس ابتدا	نام باس ابتدایی	باس انتهای	نام باس ابتدایی	طول خط (Km)	درصد بارگذاری خط در بارگذاری ۱۱۰۰۰ مگاوات شبکه
۱۴	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه شهید عباسپور	۵۰	پست امیدیه ۲	۱۴۵	٪ ۶۵/۸۳
۱۵	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه کارون ۳	۵۷	پست امیدیه ۱	۱۵۱	٪ ۵۶/۰۷
۱۵	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه کارون ۳	۸۴	پست ۴۰۰ کیلوولت تیران	۱۷۰	٪ ۱۷/۲۴
۱۵	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه کارون ۳	۲۲	پست چهلستون	۱۷۹/۵	٪ ۱۶/۲۹
۲۵	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه شهید محمد منتظری	۶۷	پست ۴۰۰ کیلوولت گلپایگان	۱۳۴	٪ ۵/۶۲
۱۴	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه شهید عباسپور	۴۹	پست اهواز ۲	۱۳۷	٪ ۵۹/۶۷
۱۴	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه شهید عباسپور	۸۳	پست شهرکرد	۱۴۰	٪ ۲۶/۲۹
۱۷	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه مسجد سلیمان	۶۷	پست ۴۰۰ کیلوولت گلپایگان	۴۰۸	٪ ۱۰/۳
۱۴	پست ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه شهید عباسپور	۶۷	پست ۴۰۰ کیلوولت گلپایگان	۲۵۲	٪ ۱۹/۰۴

جدول (۶): نتایج مکان‌یابی در بارگذاری ۹۰۰۰ مگاوات

باس ابتدا	باس انتها	PLine(p.u)	QLine(p.u)	Vcr	$\theta_{cr}$	Vvr	$\theta_{vr}$	مقدار تابع هدف
۱۴	۵۰	۰/۴۱۴۹	۰/۴۲۳۷	۰/۱۱۵۴	۱۴۴/۶۷۰۳	۱/۱۵۶۲	۱۹/۵۴۱۷	۰/۵۹۵۱
۱۵	۵۷	۰/۴۳۲۲	۰/۳۸۵	۰/۱۴۹۱	۱۳۴/۵۷۵۱	۱/۱۱۳۹	۴/۳۴۳۹	۰/۵۶۰۱
۱۵	۸۴	۰/۵۴۶۹	۰/۰۹۰۱	۰/۱۸۳۸	-۱۰۲/۴۶۰۷	۱/۰۸۱۶	۱/۴۹۴۴	۰/۶۱۰۸
۱۵	۲۲	۰/۴۶۲۸	۰/۱۸۴۴	۰/۱۶۶۱	-۱۱۷/۴۸۳۷	۱/۰۹۰۱	۱/۷۹۲۵	۰/۶۱
۲۵	۶۷	۰/۵۶۸۴	۰/۱۸۷	۰/۳۲۶۹	-۱۱۴/۹۴۸۸	۱/۰۶۹۵	-۶/۳۶۷۸	۰/۶۵۳۷
۱۴	۴۹	۰/۵۶۰۴	۰/۳۰۱۲	۰/۱۴۱۸	-۱۲۸/۹۲۸۵	۱/۱۳۸۹	۲۰/۰۱۷۲	۰/۵۹۸۹
۱۴	۸۳	۰/۳۹۰۸	۰/۱۵۴۹	۰/۱۸۷	-۱۱۴/۴۵۶۷	۱/۱۲۳	۲۰/۲۸۷۱	۰/۶۰۰۷
۱۷	۶۷	۰/۵۶۳۱	۰/۱۳۵۴	۰/۵۶۴۷	-۱۰۲/۱۹۲۳	۱/۰۹۷۹	-۳/۵۰۶۳	۰/۶۸۹
۱۴	۶۷	۰/۴۹۲۸	۰/۱۲۵۳	۰/۳۴۰۳	-۱۰۵/۱۷۶۱	۱/۱۱۲۱	۲۰/۲۹۲۱	۰/۶۲۵۹

جدول (۷): نتایج مکان‌یابی در بارگذاری ۱۰۰۰۰ مگاوات

باس ابتدا	باس انتها	PLine(p.u)	QLine(p.u)	Vcr	$\theta_{cr}$	Vvr	$\theta_{vr}$	مقدار تابع هدف
۱۴	۵۰	۰/۵	۰/۳۹۹۹	۰/۱۴۱۷	۱۱۰/۷۱۰۹	۱/۱۴۹۳	۱۹/۰۸۷۹	۰/۷۳۳۱
۱۵	۵۷	۰/۵۴۸۲	۰/۳۸۲۸	۰/۱۰۴۳	۱۳۵/۱۳۲۳	۱/۱۱۷۹	۱/۵۹۰۱	۰/۶۶۴۳
۱۵	۸۴	۰/۴۸۰۱	۰/۱۲۸	۰/۱۳۳۸	-۱۲۱/۹۸۸۹	۱/۰۹۸۴	-۰/۸۳۱۷	۰/۷۰۹۳
۱۵	۲۲	۰/۳۶۷۱	۰/۰۶۵	۰/۰۷۱۳	-۱۲۷/۴۴۸۹	۱/۰۹۳	-۰/۴۱۵۹	۰/۷۰۱۲
۲۵	۶۷	۰/۴۴۹۱	۰/۱۰۲۵	۰/۲۷۲۲	-۱۱۵/۲۸۲۳	۱/۰۷۰۹	-۹/۴۷۸۸	۰/۷۳۷۸
۱۴	۴۹	۰/۵۱۴۸	۰/۳۷۹۱	۰/۱۲۶۴	۱۵۰/۷۰۸۵	۱/۱۴۱۵	۱۹/۲۲۲۷	۰/۶۹۴۴
۱۴	۸۳	۰/۴۲۹۴	۰/۰۹۲۴	۰/۱۱۲۹	-۱۱۸/۲۱۱۷	۱/۱۱۰۳	۲۰/۰۲۰۲	۰/۶۹۷۹
۱۷	۶۷	۰/۴۷۴۹	۰/۱۱۳۴	۰/۴۸۱۹	-۱۱۱/۸۵۸۶	۱/۱۰۹۶	-۶/۲۸۱۶	۰/۷۸۰۱
۱۴	۶۷	۰/۵۹۴	۰/۱۴۱۶	۰/۳۳۷	-۱۰۴/۸۰۱۴	۱/۱۰۲۱	۱۹/۹۴۹۲	۰/۷۳۳۴

جدول (۸): نتایج مکان‌یابی در بارگذاری ۱۱۰۰۰ MW

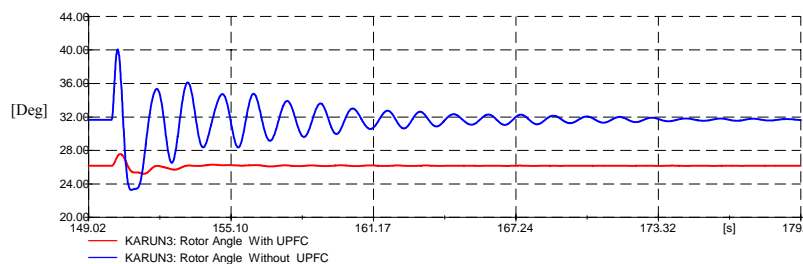
مقدار تابع هدف	$\theta_{vr}$	Vvr	$\theta_{cr}$	Vcr	QLine(p.u)	PLine(p.u)	باس انتها	باس ابتدا
۰/۵۱۰۵	-۱۲۷/۳۳۰۶	۷/۴۵۰۴	۱۶۴/۶۸۹۴	۰/۱۰۱۲	۰/۲۰۱	۰/۸۷۳۱	۵۰	۱۴
۰/۵۶۸	-۰/۸۰۱۷	۱/۱۲۸۴	۱۰۳/۱۳۴۶	۰/۱۴۷۷	۰/۴۰۷۵	۰/۵۲۵۴	۵۷	۱۵
۰/۸۹۴۶	-۲/۶۹۵۸	۱/۱۳۷۸	-۱۱۴/۲۲۸۱	۰/۱۸۱۴	۰/۱۴۴۸	۰/۶۱۶۴	۸۴	۱۵
۰/۹۰۸۴	-۳/۳۸۱۲	۱/۱۱۶	-۱۳۵/۷۲۲۲	۰/۱۰۶۵	۰/۱۴۳۹	۰/۴۶۰۵	۲۲	۱۵
۰/۹۴۳۷	-۱۵/۰۷۹	۱/۰۷۸۹	-۱۱۵/۸۶۷۲	۰/۳۷۰۹	۰/۱۷۲۵	۰/۵۶۳	۶۷	۲۵
۰/۹۰۱۵	-۱۲۷/۳۴۰۹	۷/۳۸۰۷	۱۳۹/۰۳۴۹	۰/۰۸۸	۰/۳۴۶۴	۰/۷۱۳۴	۴۹	۱۴
۰/۸۸۷۳	۱۹/۶۱۹	۱/۱۰۰۸	-۱۲۳/۶۴۴۴	۰/۰۹۱۸	۰/۰۹۶۵	۰/۵۴۵۷	۸۳	۱۴
۰/۹۶۱۱	-۱۰/۴۸۷۱	۱/۱۱۵۷	-۱۰۸/۴۹۷۲	۰/۵۱۴۷	۰/۰۹۱۱	۰/۴۹۶۸	۶۷	۱۷
۰/۹۰۶۸	۱۹/۵۹۱۵	۱/۰۹۶۸	-۱۴۰/۷۰۲۲	۰/۱۲۱۳	۰/۰۶۴۳	۰/۴۱۱۹	۶۷	۱۴

۳- خارج شدن خط KV ۴۰۰ بین نیروگاه‌های کارون ۳ و چهلستون به طول ۱۸۰ km از مدار؛  
 ۴- خروج همزمان خطوط KV ۴۰۰ شهید عباسپور به گلپایگان و شهید عباسپور به شهرکرد و نیروگاه گازی آبادان با ظرفیت تولیدی ۳۹۰ مگاوات و ۲۰۲ مگاوار.  
 نتایج شبیه‌سازی برای سناریوهای اغتشاش تحت مطالعه به ترتیب در شکل‌های (۷) - (۱۲)، (۱۳) - (۱۸)، (۱۹) - (۲۴) و (۲۵) - (۳۰) نشان داده شده است. با توجه به ابعاد بزرگ سیستم تحت مطالعه نتایج شبیه‌سازی برای چند واحد به عنوان نمونه ارائه خواهد شد. بدین منظور، نتایج ارائه شده در سناریوی اول مربوط به نیروگاه آبی کارون ۳، در سناریوی دوم مربوط به نیروگاه بخاری شهید محمد منتظری، در سناریوی سوم مربوط به نیروگاه گازی آبادان و در سناریوی چهارم مربوط به نیروگاه شهید مدحج به عنوان نمونه است. در کلیه شبیه‌سازی‌ها تغییرات زاویه روتور، تغییرات سرعت، تغییرات توان مکانیکی، تغییرات توان اکتیو و راکتیو و تغییرات ولتاژ ترمینال نشان داده شده است.

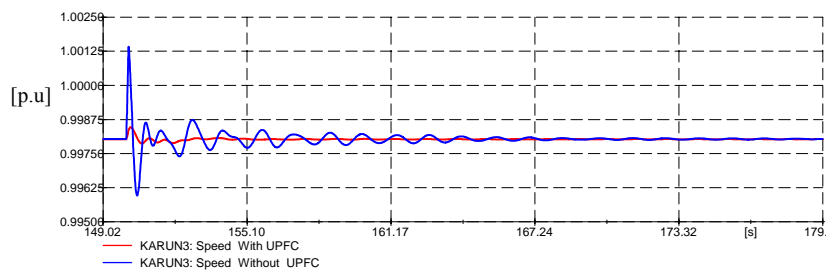
نتایج شبیه‌سازی جداول (۶) تا (۸) نشان می‌دهد خط ۵۷-۱۵ که خط KV ۴۰۰ بین نیروگاه کارون ۳ و امیدیه ۱ به طول ۱۵۱ km و بارگذاری ۵۶/۰۷ درصد است، بهترین مکان برای نصب UPFC است. مقادیر محاسبه شده برای UPFC در جدول (۹) ارائه شده است.  
 برای انجام شبیه‌سازی دینامیکی، شبکه اصفهان - خوزستان از شبکه سراسری جدا نشده و دینامیک بقیه شبکه سراسری ایران مدل سازی و در نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر UPFC، شبیه‌سازی‌ها برای چهار سناریوی اغتشاش زیر در نظر گرفته شده است:  
 ۱- خطای سه فاز متقارن روی ۵۰ درصد از خط KV ۴۰۰ بین نیروگاه‌های کارون ۳ و چهلستون به طول ۱۸۰ km، به مدت زمان ۱۰۰ms و سپس رفع آن به وسیله حفاظت دیستانس؛  
 ۲- خطای تکفاز به زمین روی ۵۰ درصد از خط KV ۴۰۰ بین نیروگاه‌های کارون ۳ و چهلستون به طول ۱۸۰ km، به مدت زمان ۱۰۰ms و سپس رفع آن به وسیله حفاظت دیستانس؛

جدول (۹): پارامترهای بهینه عملکرد UPFC

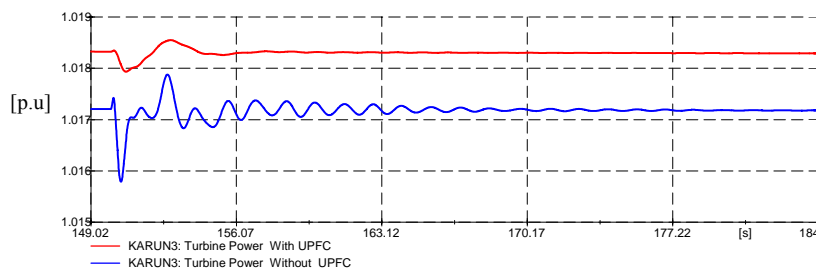
باس ابتدا	باس انتها	PLine(p.u)	QLine(p.u)	Vcr	$\theta_{cr}$	Vvr	$\theta_{vr}$
۱۵	۵۷	۰/۵۲۵۴	۰/۴۰۷۵	۰/۱۴۷۷	۱۰۳/۱۳۴۶	۱/۱۲۸۴	-۰/۸۰۱۷



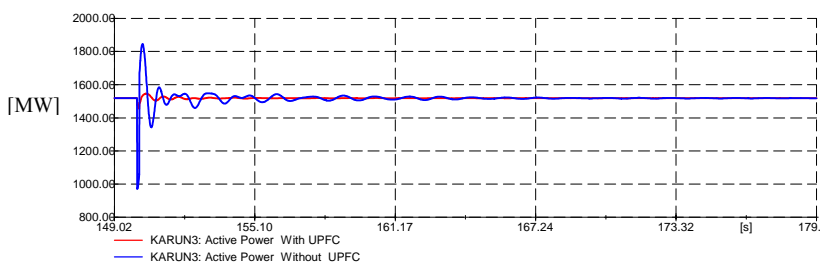
شکل (۷): تغییرات زاویه روتور نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱



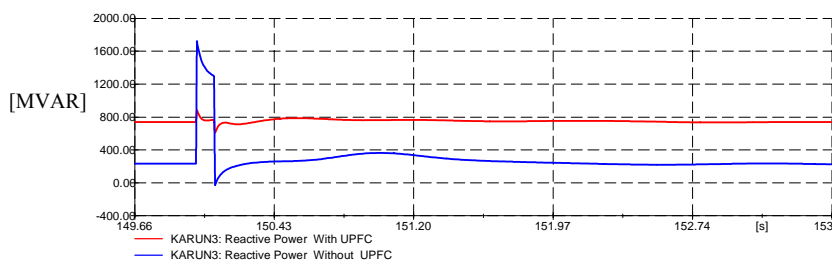
شکل (۸): تغییرات سرعت نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱



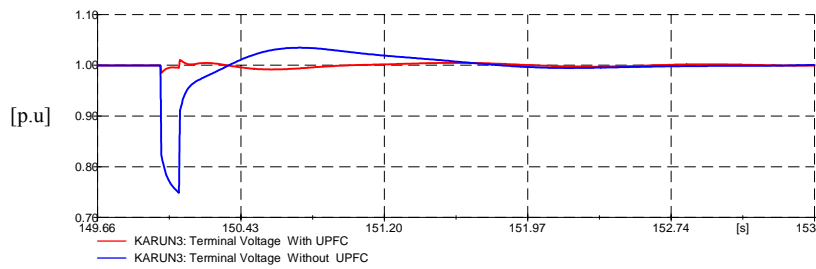
شکل (۹): تغییرات توان مکانیکی توربین نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱



شکل (۱۰): تغییرات توان اکتیو نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱



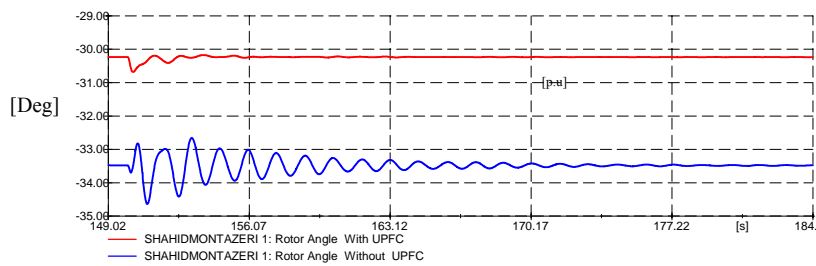
شکل (۱۱): تغییرات توان راکتیو نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱



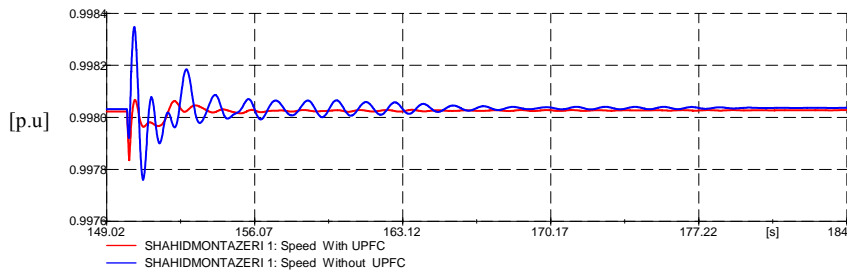
شکل (۱۲): تغییرات ولتاژ ترمینال نیروگاه کارون ۳ در سناریوی اغتشاش ۱

نوسان‌های کمتری در زمانی کوتاه میرا می‌شوند. برای بررسی بیشتر عملکرد UPFC در ادامه رفتار سیستم در صورت وقوع یک اتصال کوتاه نامتقارن تکفاز به زمین بررسی شده است.

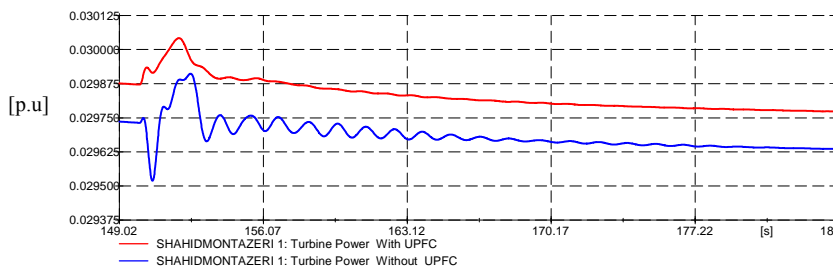
این نتایج نشان می‌دهد که UPFC مکانیابی شده با سیستم کنترلی مورد استفاده، قادر است تغییرات زاویه رتور و سرعت واحدها را ناشی از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز متقارن با نوسانات کمتری میرا کند. همچنین، توان مکانیکی توربین و توان‌های اکتیو و راکتیو واحد کارون ۳ با



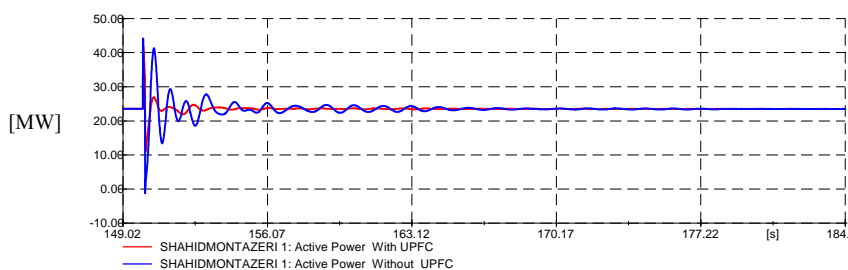
شکل (۱۳): تغییرات زاویه رتور نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲



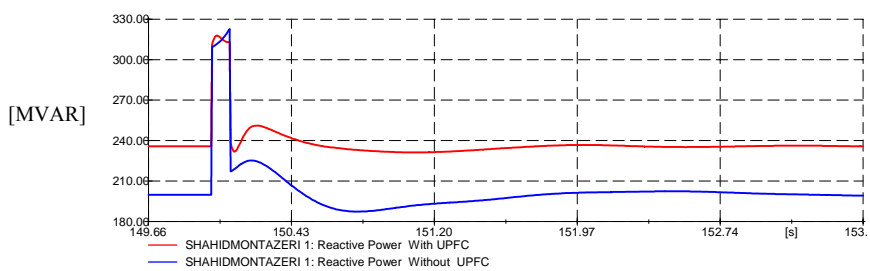
شکل (۱۴): تغییرات سرعت نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲



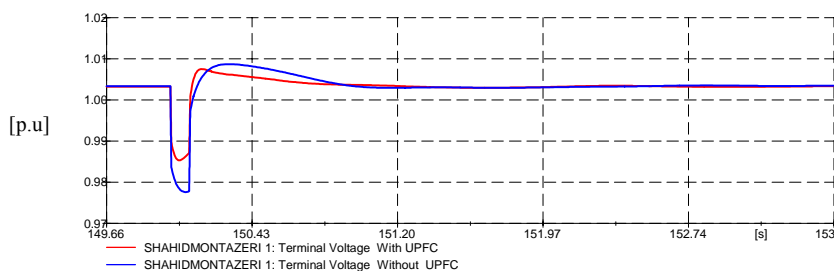
شکل (۱۵): تغییرات توان مکانیکی توربین نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲



شکل (۱۶): تغییرات توان اکتیو نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲



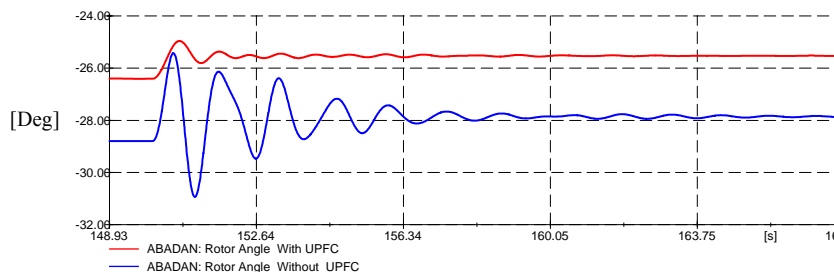
شکل (۱۷): تغییرات توان راکتیو نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲



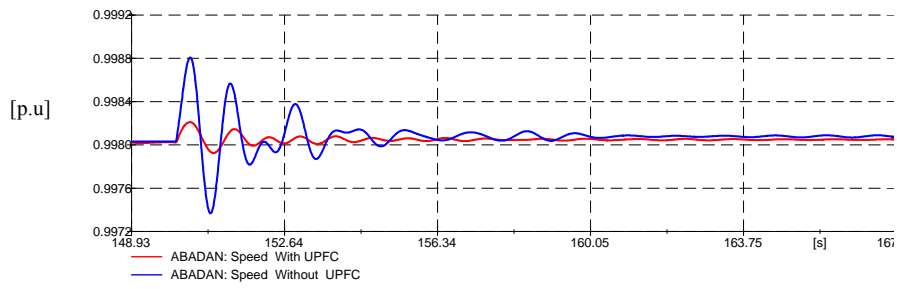
شکل (۱۸): تغییرات ولتاژ ترمینال نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی اغتشاش ۲

دینامیک بهتری در شرایط گذرا برخوردار است. در ادامه، به بررسی رفتار سیستم در صورت خارج شدن خط ۴۰۰ KV بین نیروگاه‌های کارون ۳ و چهلستون از مدار می‌پردازیم.

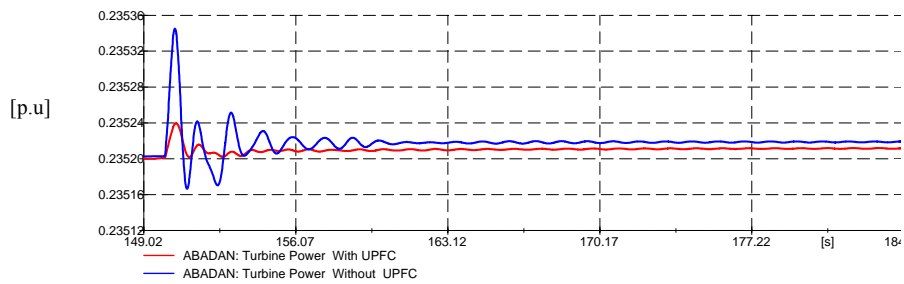
نتایج حاصل از مطالعه این اغتشاش نیز مشابه اتصال کوتاه سه فاز متقارن نشان می‌دهد که در صورت تجهیز سیستم به UPFC در مکان به دست آمده، سیستم از



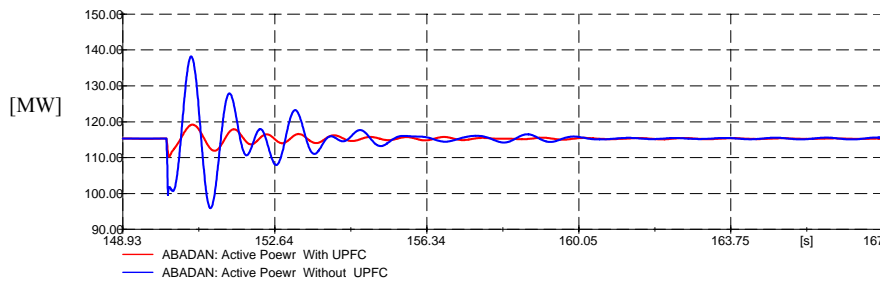
شکل (۱۹): تغییرات زاویه روتور نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳



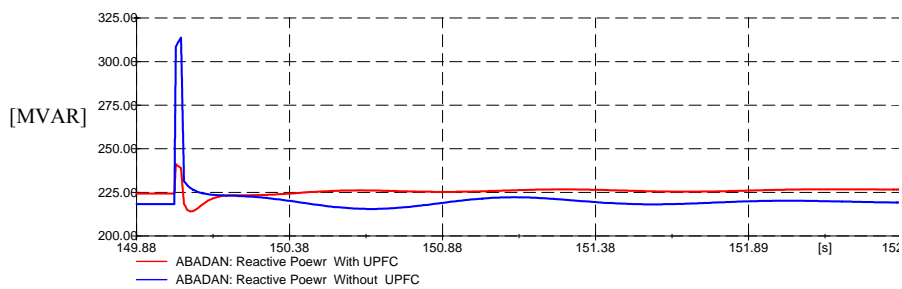
شکل (۲۰): تغییرات سرعت نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳



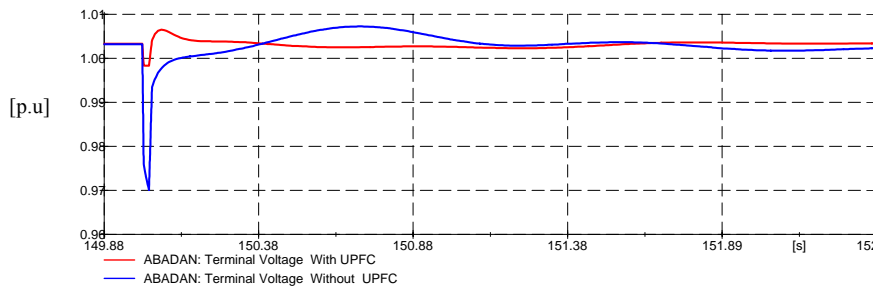
شکل (۲۱): تغییرات توان مکانیکی توربین نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳



شکل (۲۲): تغییرات توان اکتیو نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳



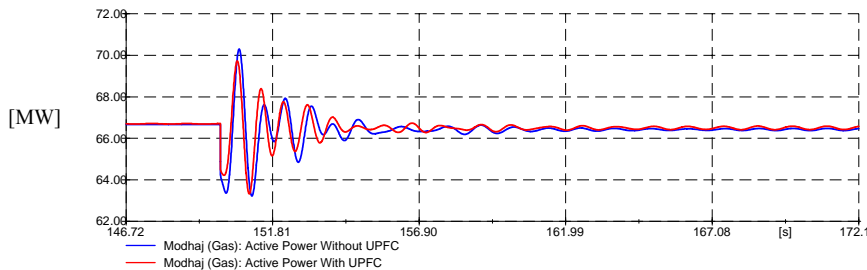
شکل (۲۳): تغییرات توان راکتیو نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳



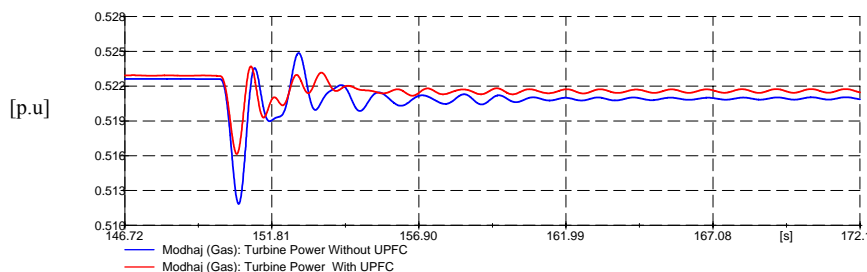
شکل (۲۴): تغییرات ولتاژ ترمینال نیروگاه آبادان در سناریوی اغتشاش ۳

جایابی بهینه UPFC در شبکه برق اصفهان- خوزستان با استفاده از الگوریتم APSO به منظور بهبود پایداری گذرا

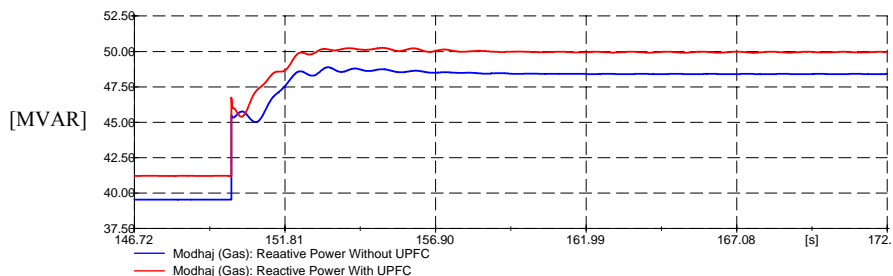
در این سناریو نیز سیستم مجهز به UPFC رفتار دینامیکی بهتری در شرایط گذرا نسبت به حالتی که UPFC وجود ندارد، از خود نشان می دهد. آخرین سناریوی مورد بررسی به شبیه سازی یک سناریوی اغتشاش N=۳ می پردازد.



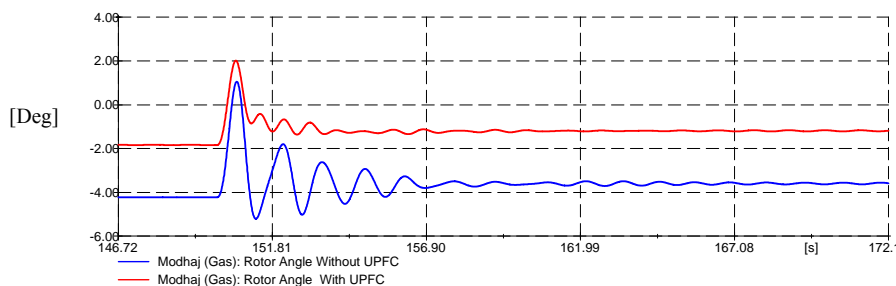
شکل (۲۵): تغییرات توان اکتیو نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴



شکل (۲۶): تغییرات توان مکانیکی توربین نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴

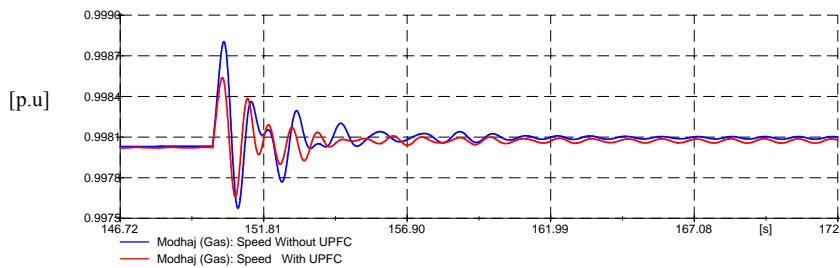


شکل (۲۷): تغییرات توان راکتیو نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴

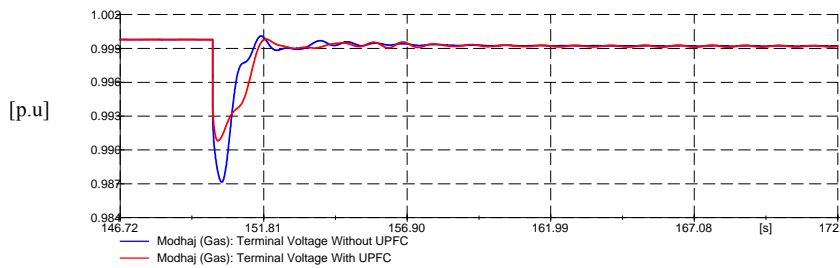


شکل (۲۸): تغییرات زاویه روتور نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴





شکل (۲۹): تغییرات سرعت نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴



شکل (۳۰): تغییرات ولتاژ ترمینال نیروگاه شهید مدحج در سناریوی اغتشاش ۴

بهبود شرایط گذرای ولتاژ قابل توجه است. با توجه به محلی بودن متغیر ولتاژ، هرچه از مکان نصب UPFC دور می شویم، تاثیر آن بر ولتاژ کمتر می شود. این نکته در مورد نیروگاه شهید محمد منتظری در سناریوی دوم و نیروگاه آبادان در سناریوی سوم و نیروگاه شهید مدحج در سناریوی چهارم با توجه به فاصله قابل توجه آنها تا مکان نصب UPFC مشهود است.

## ۸- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش مکانیابی بهینه UPFC با استفاده از الگوریتم بهینه سازی APSO برای شبکه انتقال اصفهان-خوزستان بیان شده است. برای مکانیابی این عنصر فیود ولتاژ، تراکم خطوط، تلفات سیستم انتقال و هزینه بهره برداری UPFC در نظر گرفته شده است. با مدل سازی دقیق المان های سیستم قدرت مطابق استانداردهای موجود و در نظر گرفتن کنترل کامل UPFC و افزودن سیگنال کنترل تکمیلی روند مزبور با استفاده از نرم افزار DigSILENT شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی بیانگر تاثیر قابل توجه UPFC در بهبود میرایی سیستم قدرت و کاهش نوسان ها در سناریوهای اغتشاش مختلف است. وجود UPFC باعث بهبود چشمگیر پروفیل ولتاژ سیستم در

اغتشاش شدید سناریوی چهارم ناشی از خروج ۲ خط ۴۰۰ کیلوولت خارج شده از باس نیروگاه شهید عباسپور به سمت پست ۴۰۰ کیلوولت گلپایگان و پست ۴۰۰ کیلوولت شهرکرد و نیروگاه گازی آبادان است. در این سناریو نیز رفتار UPFC باعث بهبود شرایط دینامیکی شده است. نتایج این سناریو نشان می دهد که UPFC برای اغتشاشات سنگین N-3 نیز رفتار قابل قبولی دارد.

نتایج شبیه سازی در سناریوهای مختلف اغتشاش نشان می دهد که وجود UPFC باعث افزایش میرایی سیستم و بهبود پایداری گذرا شده است. در کلیه موارد پس از وقوع خطا سرعت و زاویه ماشین ها با وجود UPFC نوسان های کمتری دارد. تغییرات ولتاژ ترمینال در هر چهار نیروگاه که در شکل های (۱۲)، (۱۸)، (۲۴) و (۳۰) نشان داده شده است بیانگر اثر قابل توجه UPFC در کنترل ولتاژ سیستم در شرایط گذرا پس از وقوع اتصال کوتاه است. این نتایج نشان می دهد که نصب UPFC در مکان پیشنهادی می تواند تاثیر مهمی در جلوگیری از خروج های پی در پی در اغتشاشات سنگین و کاهش ریسک خاموشی های گسترده داشته باشد. البته، باید توجه داشت که میزان تاثیر UPFC بر بهبود ولتاژ در شرایط گذرا با توجه به مکان نصب آن و مکان وقوع خطا متفاوت است. واضح است که با توجه به نزدیک بودن UPFC به مکان وقوع خطا در سناریوی اول تاثیر آن بر

- شرایط گذرای ناشی از اغتشاش شده است که می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک خروج پی در پی خطوط انتقال و وقوع خاموشی‌های گسترده در شبکه انتقال اصفهان-خوزستان داشته باشد.
- مراجع**
- [9] I. M. Wartana, N. P. Agustini, "Optimal placement of UPFC for maximizing system loadability and minimizing active power losses in system stability margins by NSGA-II", International Conference on Electrical Engineering and Informatics, pp. 1-6, 17-19 July 2011, Bandung, Indonesia.
- [10] A. Parizad, A. Khazali, M. Kalantar, "Application of HSA and GA in optimal placement of FACTS devices considering voltage stability and losses" International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS '09), pp. 1-7, 10-12 Nov. 2009.
- [11] J. G. Singh, S. N. Singh, S. C. Srivastava, "Enhancement of power system security through optimal placement of TCSC and UPFC", IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-6, 24-28 June 2007.
- [12] User's Guide of DIGSILENT power factory 14.0.510 software, DIGSILENT company, Germany.
- [13] T. K. Mok, H. Liu, Y. Ni, F. F. Wu, R. Hui, "Tuning the fuzzy damping controller for UPFC through genetic algorithm with comparison to the gradient descent training", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 27, No. 4, pp. 275-283, May 2005.
- [14] A. Alireza "PSO with adaptive mutation and inertia weight and its application in parameter estimation of dynamic systems", Acta Automatica Sinica, Vol. 37, No. 5, pp. 541-549, May 2011.
- [15] Y. Gao, Z. Ren, "Adaptive particle swarm optimization algorithm with genetic mutation operation". Third International Conference on Natural Computation (ICNC), Vol. 2, pp. 211-215, 24-27 Aug. 2007.
- [16] Z. H. Zhan, J. Zhang, Y. Li, H. Shu, H. Chung, "Adaptive particle swarm optimization", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics—Part B: Cybernetics, Vol. 39, No. 6, pp. 1362-1381, December 2009.
- [17] Z. Zhan, J. Zhang, "Adaptive particle swarm optimization", ANTS, LNCS 5217, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, pp. 227-234,
- [18] H. Fang, L. Chen, Z. Shen, "Application of an improved PSO algorithm to optimal tuning of PID gains for water turbine governor", Energy Conversion and Management, Vol. 52, pp. 1763-1770, 2011.
- [19] E. Acha, C. R. Fuerte-Esquivel, H. Ambrize-Perez, C. Angeles-Camacho "FACTS modeling and simulation in power network". England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [1] J. G. Krishnan, N. S. Kumar, M. A. Khan, "On the optimal tuning of FACTS based stabilizers for dynamic stability enhancement in multimachine power systems", International Conference on Power and Energy Systems (ICPS), pp. 1-8, 22-24 Dec. 2011.
- [2] M. S. Castro, H. M. Ayres, V. F. da Costa, L. C. P. da Silva "Impacts of the sssc control modes on small-signal and transient stability of a power system", Electric Power Systems Research, Vol.77, No-1, pp.1-9, 2007.
- [3] F. Al-Jowder, "Improvement of synchronizing power and damping power by means of sssc and statcom: A comparative study", Electric Power Systems Research, Vol.77, No-8, pp.1112-1117, 2007.
- [4] M. Tarafdar Hagh, A. Lafzi, A. Roshan Milani, "Dynamic and stability improvement of a wind farm connected to grid using UPFC", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), pp. 1-5, 21-24 April 2008.
- [5] R. Manrai, R. Khanna, B. Singh, P. Manrai, "Power system stability using fuzzy logic based unified power flow controller in SMIB power system". International Conference on Power, Signals, Controls and Computation (EPSCICON), pp. 1-4, 3-6 Jan. 2012.
- [6] S. Koul, S. Tiwari, "Model predictive control for improving small signal stability of a UPFC equipped SMIB System", Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), pp. 1-6, 8-10 Dec. 2011.
- [7] T. Masuta, A. Yokoyama, "ATC enhancement considering transient stability based on optimal power flow control by UPFC", International Conference on Power System Technology, pp. 1-6, 22-26 Oct. 2006.
- [8] R. S. Wibowo, N. Yorino, M. Eghbal, Y. Zoka, Y. Sasaki, "FACTS devices allocation for congestion management considering voltage stability by means of MOPSO", Asia and Pacific Transmission & Distribution Conference & Exposition, pp. 1-4, 26-30 Oct. 2009.