درمدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن ادوات FACTS

رفعت صبور *[۱]، افشین لشکرآرا محمره [۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، rafatsabour@yahoo.com
۲- استادیار گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، lashkarara@gmail.com

چکیده: در این مقاله در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن ادوات FACTS در سیستمهای قدرت انجام خواهد شد. امنیت در سیستمهای قدرت یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی و بهره‌برداری می‌باشد. همچنین حل مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها (UC) که در آن امنیت شبکه انتقال نیز در نظر گرفته شده باشد تحت عنوان در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC) نقش مهمی در بهره برداری کوتاه مدت سیستمهای قدرت بازی می‌کند. با توجه به اینکه ادوات FACTS موجب افزایش امنیت شبکه‌های انتقال می‌گردد لذا در این مقاله مسئله SCUC با حضور ادوات FACTS حل خواهد شد. ادوات FACTS ترکیبی مبتنی بر جابجاگر فاز (PST) از جمله کنترل‌کننده یکپارچه توان بهینه (OUPFC) از ادوات شاخص جهت کنترل و هدایت توان در مسیرهای معین می‌باشند. در این مقاله مسئله در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC) با حضور کنترل‌کننده یکپارچه توان بهینه (OUPFC) و به‌منظور بهینه‌سازی چند منظوره توابع هدف شامل هزینه سوخت کل ژنراتورها، تلفات شبکه و هزینه نصب ادوات FACTS مدل‌سازی خواهد شد. برای تولید جوابهای پارتو، مسأله بهینه‌سازی چند هدفه با استفاده از روش محدودیت ε حل خواهد شد. یک ابزار تصمیم‌گیری فازی جهت انتخاب بهترین جواب مصالحه‌ای از بین جوابهای پارتو طراحی می‌گردد. مسأله بهینه‌سازی در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته (DNLP) روی شبکه استاندارد ۱۴ شینه IEEE پیاده‌سازی و با استفاده از نرم افزار GAMS حل خواهد شد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده قابلیت و توانایی الگوریتم پیشنهادی در حل مسئله SCUC و جایابی بهینه چند منظوره ادوات FACTS بصورت همزمان و بهبود عملکرد سیستم قدرت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها (UC)، در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC)، OUPFC، جایابی بهینه، بهینه سازی چندهدفه، روش محدودیت اپسیلون

۱- مقدمه

در مدار قرار گرفتن نیروگاهها (UC) برنامه زمانبندی واحدهای تولیدی را بصورت ساعتی و برای روز بعد تا افق

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

زمانی یک هفته و بمنظور حداقل سازی هزینه سوخت و راه اندازی/ خاموش کردن واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن قیودی از جمله تعادل بار ساعتی و محدودیتهای نرخ افزایش و کاهش تولید واحدها تعیین می‌کند. برای تأمین مطمئن برق، امنیت سیستم باید در بهره برداری کوتاه مدت در نظر گرفته شود. بهره برداری کوتاه مدت بعنوان یک راه کار برای افزایش حفظ امنیت لحظه‌ای مورد توجه می‌باشد. بهره برداری کوتاه مدت یک برنامه زمانبندی تولید ساعتی مبتنی بر امنیت (توسط برنامه در مدار قرارگرفتن مقید به امنیت نیروگاه ها (SCUC)) محاسبه و برای تأمین ساعتی بارها آن را توزیع (توسط برنامه پخش بار بهینه مقید به امنیت (SCOPF)) می‌کند. اجزای مدل بهره‌برداری کوتاه مدت برای مدیریت امنیت شامل برنامه‌ریزی تولید بهینه، وابستگی‌های مربوط به تولید و انتقال و ... است. در وابستگی‌های سیستمهای انتقال، ادوات سیستمهای انتقال توان از جمله ترانسفورماتورهای تپ چنجر، فازشیفترها، خازنهای سری قابل کنترل، ادوات FACTS و خطوط قابل کلیدزنی نقش مهمی را در انتقال کم هزینه انرژی الکتریکی از تولیدکنندگان به مصرف کنندگان، کنترلهای بهینه سیستمهای قدرت و تضمین امنیت سیستم انتقال بازی می‌کنند [۱].

ادوات FACTS ضمن افزایش ظرفیت قابل انتقال، مشخصه‌های مهمی مانند پایداری سیستم، میرایی نوسانات توان و پایداری ولتاژ را نیز بهبود می‌بخشند. یکی از شاخص‌ترین این ادوات جهت کنترل و هدایت توان در مسیرهای معین، جابجاگر فاز (PST) می‌باشد که از مدتها قبل از لحاظ تئوری مورد بررسی و مطالعه [۲]، و از لحاظ عملکردی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به ضعف عملکرد PST بر روی متغیرهای شبکه و کنترل مناسب توان، می‌توان از جابجاگرهای فاز ترکیبی (HPS) استفاده نمود. جابجاگرهای فاز ترکیبی ساختار جدید مداری نداشته، بلکه ترکیبی از کنترل‌کننده‌های توان موجود می‌باشد. این جابجاگرفاز ترکیبی، ترکیب PST با کنترل‌کننده یکپارچه توان (UPFC) می‌باشد که به آن کنترل‌کننده یکپارچه توان بهینه (OUPFC) گفته می‌شود [۴].

مسئله در مدارقرار گرفتن نیروگاهها (UC) در کتابها و مقالات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. در مدار قرارگرفتن مقید به امنیت نیروگاه ها (SCUC) و بطور کلی چارچوب امنیت سیستمهای قدرت در مقاله مشهور آقای دکتر شاهیده پور مورد بررسی و جایگاه آن در بهره برداری سیستمهای قدرت تعریف گردیده است [۱]. در [۱۲] یک روش موثر برای مسئله SCUC با در نظر گرفتن قیود ac معرفی و با استفاده از الگوریتم بندرز حل شده است. در [۱۰] مسئله SCUC با استفاده از الگوریتم بندرز حل شده است که در آن مسئله UC بعنوان مسئله اصلی و امنیت بعنوان زیرمسئله در نظر گرفته شده است. در [۱۳] یک پیشامد پیشگیرانه/اصلاحی موثر ac روی یک پریود ۲۴ ساعته مبتنی بر مدل SCUC پیشنهاد شده است. در خصوص در مدار قرارگرفتن مقید به امنیت نیروگاه ها (SCUC) و ادوات FACTS تحقیقات بسیار کمی انجام شده است که با طرح تحقیق پیشنهادی متفاوت می باشد. در [۱۴] مسئله

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

SCUC با در نظر گرفتن ادوات FACTS و با استفاده از الگوریتم زنبور مصنوعی(ABC) حل شده است که در آن از پخش بار اقتصادی مقید به امنیت (Security-Constrained Economic Dispatch (SCED) استفاده شده است. ادوات FACTS مورد استفاده شامل SVC، TCSC، STATCOM، SSSC، UPFC و IPFC می باشد. در [۱۵] مسئله UC با در نظر گرفتن عنصر UPFC و با استفاده از الگوریتم بندرز حل شده است که در آن از پخش بار اقتصادی (ED) برای کاهش هزینه استفاده شده است.

با توجه به نیازهای مطرح شده برای افزایش امنیت و کنترل توان در بهره برداری کوتاه مدت سیستمهای قدرت، مسئله اصلی مقاله جایابی و تنظیمات بهینه ادوات FACTS در پروسه در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه ها می باشد. جهت نیل به این منظور،

اهدافی که در این مقاله دنبال می‌شوند عبارتند از:

۱) فرمول بندی مسئله در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه ها با حضور ادوات FACTS.
۲) مدل‌سازی استاتیکی OUPFC و به‌دست آوردن نواحی عملکردی آن.
۳) طراحی پروسه جایابی بهینه ادوات FACTS در مسئله SCUC.
۴) فرمول بندی مسئله بهینه سازی چند هدفه SCUC با حضور ادوات FACTS با روش محدودیت ε در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته (DNLP).
۵)طراحی و جایابی بهینه OUPFC در سیستم استاندارد ۱۴ شینه IEEE با استفاده از نرم‌افزار GAMS و به‌منظور بهینه‌سازی منحصر به فرد و ترکیبی توابع هدف شامل هزینه سوخت کل ژنراتورها، تلفات اکتیو شبکه و هزینه نصب ادوات FACTS و مقایسه عملکرد آن.

لازم بتوضیح است که مسئله جایابی ادوات FACTS در پروسه UC و بخصوص جایابی بهینه عنصر OUPFC در پروسه UC برای اولین بار در این مقاله انجام شده است.

۲- مساله جایابی بهینه عنصر OUPFC در پروسه UC

در این مقاله، با استفاده از مدل‌سازی استاتیکی کنترل‌کننده یکپارچه توان بهینه (OUPFC)، مطالعات در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC) با حضور این عنصر انجام خواهد شد. در این راستا ابتدا مقیاسهای زمانی تحلیل امنیت سیستم های قدرت تشریح شدند و سپس در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC) مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه مروری بر کارهای انجام شده توسط دیگران صورت گرفت و در پایان اهداف مقاله و همچنین روند انجام و تدوین مطالب مقاله ارائه شد.

۲-۱-تابع هدف

تابع هدف اصلی شامل دو بخش کلی ۱-هزینه سوخت نیروگاهها و هزینه OUPFC ۲-تلفات اکتیو شبکه است

$$F_1 = F_{11} + F_{12} \quad (۱)$$

($/h) (۲)

$$F_{11} = \sum_{t=1}^{T} f_{1t} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NG}\left(\alpha_i + b_i PG_{i,t} + c_i PG_{i,t}^2 + \left|e_i \sin(f_i (PG_i^{\min} - PG_{i,t}))\right|\right)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

$$F_{12} = \frac{C_F}{8760 * Y_F} \quad (۳)$$

$$C_{PST} = 12 \times S_{PST} \times 1000 \quad (۴)$$

F_{11}: قسمت اول از بخش اول تابع هدف مساله

f_{1t}: میزان هزینه ژنراتورها در ساعت t

$\alpha_i, b_i, c_i, e_i, f_i$: ضرایب تابع هزینه ژنراتور i

$PG_{i,t}$: توان تولیدی ژنراتور i در ساعت t بر حسب مگاوات

$PG_i^{\min}$: حداقل توان قابل تولید توسط ژنراتور i

C_F هزینه کلی OUPFC و Y_F عمر مفید آن بر حسب سال می‌باشد. در این تحقیق عمر مفید برابر ۵ سال در نظر گرفته شده است.

C_{PST} : هزینه سرمایه گذاری برای نصب PST

S_{PST}: ظرفیت PST

$$C_{UPFC} = (0.0003 S_{UPFC}^2 - 0.2691 \times S_{UPFC} + 188.22) \times S_{UPFC} \times 1000 \quad (۵)$$

$$C_{OUPFC} = \left[(12 \times S_{PST}) + (0.0003 S_{UPFC}^2 - 0.2691 \times S_{UPFC} + 188.22) \times S_{UPFC}\right] \times 1000 \quad (۶)$$

C_{UPFC} : هزینه سرمایه گذاری برای UPFC

S_{UPFC} : ظرفیت UPFC

در نهایت هزینه OUPFC به صورت زیر بدست می آید:

$$C_{OUPFC} = \left[(12 \times S_{PST}) + (0.0003 S_{UPFC}^2 - 0.2691 \times S_{UPFC} + 188.22) \times S_{UPFC}\right] \times 1000 \quad (۷)$$

۲-۲-تلفات شبکه

برای محاسبه تلفات شبکه از رابطه (۴-۷) استفاده می‌شود:

$$F_2 = \sum_{l=1}^{Nl} P_l = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (۸)$$

Y_{ij}: ادمیتانس شبکه بر حسب pu

θ: زاویه ادمیتانس شبکه بر حسب رادیان

δ: زاویه ولتاژ شبکه بر حسب رادیان

۲-۳-قیود مساوی و نامساوی

هر مساله بهینه‌سازی دارای قیود تساوی و نامساوی می‌باشد. در این مقاله نیز مساله موردنظر محدودیتهای مختلف تساوی و نامساوی مختلفی دارد. به‌طور کلی می‌توان محدودیتهای مساله را به صورت زیر بیان کرد:

$$g(x,u) = 0 \quad (۹)$$

$$h(x,u) \le 0$$

x: متغیرهای مساله

u: ورودی‌های مساله

۲-۴-قیود مساوی

قیود مساوی معادلات پخش‌بار برای توان‌های اکتیو و راکتیو می‌باشند که به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

$$P_{Gi} - P_{Di} - f_{Pi}(x,u) = 0 \quad (۱۰)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - f_{Qi}(x,u) = 0 \quad (۱۱)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

P_{Gi}وQ_{Gi} : توان‌های اکتیو و راکتیو خروجی ژنراتور i ام،

P_{Di} وQ_{Di} : توان‌های اکتیو و راکتیو بار در شین i ام،

f_{pi} وf_{Qi} : معادلات پخش‌بارتوان‌های اکتیو و راکتیو در شین i ام می‌باشند. بدیهی است که این معادلات می‌توانند با توجه به مدل تزریق توان شامل ادوات FACTS نیز باشند.

۲-۵-قیود نامساوی

قیود نامساوی شامل قیود تولید، امنیت و قیود ادوات FACTS می‌باشد که در ذیل شرح داده می‌شوند:

قیود تولید: قیود تولید شامل محدودیت روی ولتاژ و توان‌های اکتیو و راکتیو خروجی ژنراتورها می‌باشد:

$$V_{Gi}^{\min} \le V_{Gi} \le V_{Gi}^{\max} \ , \ i = 1,...,NG \qquad (۱۲)$$

$$P_{Gi}^{\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{\max} \ , \ i = 1,...,NG \qquad (۱۳)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi}^{\max} \ , \ i = 1,...,NG \qquad (۱۴)$$

قیود امنیت: این قیود شامل محدودیت روی ولتاژ شین‌های بار و بارگذاری خطوط انتقال می‌باشد [۲۶]

$$V_{Li}^{\min} \le V_{Li} \le V_{Li}^{\max} \ , \ i = 1,...,Nd \qquad (۱۵)$$

$$S_{Li} \le S_{Li}^{\max} \qquad , \ i = 1,...,Nl \qquad (۱۶)$$

که Nd و Nl به‌ترتیب تعداد شین‌های بار و خطوط انتقال می‌باشد.

محدودیت نرخ افزایش /کاهش خروجی ژنراتورها: بر اساس این محدودیتها، هر ژنراتور در هر ساعت قادر است حداکثر میزان مشخصی از توان تولیدی خود را کاهش یا افزایش دهد. این قیود که به قیود رمپ ریت معروف هستند با روابط زیر بیان می شوند:

UR_i: حداکثر نرخ افزایش خروجی در هر ساعت

DR_i: حداکثر نرخ کاهش خروجی در هر ساعت

قیود ادوات FACTS: این قیود شامل محدودیت روی توان و تنظیمات ادوات FACTS می‌باشد:

$$S_{FACTS} \le S_{FACTS}^{\max} \qquad (۱۷)$$

$$\text{for UPFC} \quad \left.\begin{array}{l} r^{\min} \le r \le r^{\max} \\ \gamma^{\min} \le \gamma \le \gamma^{\max} \end{array}\right\} \qquad (۱۸)$$

$$\text{for OUPFC} \quad \left.\begin{array}{l} r^{\min} \le r \le r^{\max} \\ \rho^{\min} \le \rho \le \rho^{\max} \\ \sigma^{\min} \le \sigma \le \sigma^{\max} \end{array}\right\} \qquad (۱۹)$$

۳-الگوریتم پیشنهادی

مساله موردنظر یک مساله دینامیکی است که طی آن باید واحدهای موجود در مدار و میزان تولید ژنراتورهای موجود در شبکه در طول ۲۴ ساعت به گونه ای تعیین شود که علاوه بر برقراری محدودیتهای فنی شبکه، هزینه بهره‌برداری از شبکه نیز حداقل باشد. این هزینه می‌توان بر اساس هزینه سوخت ژنراتورها، تلفات شبکه یا ترکیب هر دو تعریف شود.

با توجه به این مساله، از نرم افزار GAMS برای حل مساله استفاده می‌شود. متغیرهای اصلی مساله در این قسمت ولتاژ، زاویه ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط ژنراتورهایی که در مدار قرار دارند و پارامترهای OUPFC می‌باشد. متغیرهای مساله به صورت رابطه زیر تعریف می شوند:

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

$$X = \begin{bmatrix} V_{i,t} \\ \delta_{i,t} \\ pg_{i,t} \times u_0 \\ qg_{i,t} \times u_0 \\ r \\ \rho \\ \sigma \end{bmatrix} \quad (۲۰)$$

متغیر u_0، متغیر باینری مسئله UC است که نشانگر خاموش (0) یا روشن (1) بودن واحدهای شبکه است. همچنین متغیرهای واسط دیگری برای تکمیل فرآیند حل مساله تعریف شده‌اند که صرفا جنبه ساده سازی روابط ریاضی را دارند.

برای حل مساله از حل کننده[1] قدرتمند CONOPT استفاده شده است. با توجه به اینکه ابعاد مساله بزرگ است لذا تنظیمات اولیه مربوط به تعداد تکرار، حافظه تخصیصی، میزان خطا، زمان اجرای برنامه در خود برنامه روی مقادیر نسبتا بالایی تنظیم شده است.

مساله موردنظر در دو بخش کلی حل می‌شود. در بخش اول حل مساله در حالت اولیه و بدون حضور OUPFC صورت می‌گیرد. در این بخش از مساله همه محدودیتهای مربوط به پخش بار بهینه دینامیکی لحاظ شده است. در پایان این بخش می توان مقادیر Fvsi را با استفاده از رابطه ارائه شده در این فصل برای یک ساعت خاص محاسبه کرد. در این مقاله این مقادیر برای ساعت ۲۱ محاسبه شده‌اند. همچنین پارامترهای بدست آمده از این قسمت شامل ولتاژ، زاویه ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورهایی که در مدار قرار دارند به عنوان مقادیر مطالعات اولیه در فصل شبیه‌سازی آمده است.

در بخش دوم، مساله در حضور OUPFC حل می‌شود. برای سریعتر شدن همگرایی مساله، مقادیر بدست آمده از بخش اول به عنوان نقطه شروع این بخش در نظر گرفته می‌شود. در این بخش مساله در یک حلقه تکراری برای ۴ کاندید نصب OUPFC حل شده و نتایج نهایی در هر قسمت محاسبه و ذخیره می‌شود. در پایان با تحلیل نتایج بدست آمده می توان بهترین مکان و پارامترها را برای OUPFC مشخص کرد.

۳-۱- استفاده از روش ε-constraint برای حل مساله در حالت ترکیبی تابع هدف

در این مقاله روش محدودیت ε برای حل مسئله چند هدفه انتخاب شده است. در این روش یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف و سایر توابع هدف به عنوان قید در نظر گرفته می‌شود. روابط زیر یک بهینه سازی چند هدفه با چهار تابع هدف را نشان می دهد که توابع هدف f_1، f_2 و f_4 جهت حداقل سازی و تابع هدف f_3 بمنظور حداکثرسازی می باشد. در اینجا تابع هدف اصلی تابع f_1 می باشد[۲۷].

$$\begin{aligned} &\min f_{1,k} \\ &f_{2,k} \le \varepsilon_{2,k} \\ &f_{3,k} \ge \varepsilon_{3,k} \\ &f_{4,k} \le \varepsilon_{4,k} \\ &h(x,u) = 0 \\ &g(x,u) \le 0 \end{aligned} \quad (۲۱)$$

که k شماره خط انتقالی است که عنصر FACTS در آن قرار گرفته است. در معادله فوق، برای توابعی که به قصد مینیمم‌سازی در قید اضافه می‌شوند از علامت کوچکتر مساوی و توابعی که به قصد ماکزیمم‌سازی در قید اضافه می‌شوند از علامت بزرگتر

[1] Solver

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

مساوی استفاده می‌شود. در ادامه باید مقدار εها مشخص شود. بهترین روش برای این منظور استفاده از جدول payoff (نتیجه) می‌باشد. برای تعیین اعداد این جدول ابتدا باید هر یک از توابع، منحصراً بهینه شود (که با علامت (*) در جدول مشخص می‌شود) سپس به ازای متغیرهای بدست آمده از این تابع مقدار توابع دیگر مشخص شود. این روند را برای تک‌تک توابع انجام داده و سپس جدولی به فرم جدول (۱) تشکیل می‌شود.

جدول(۱) payoff بدست آمده توسط بهینه منحصر به فرد هر تابع

	$f_{1,k}$	$f_{2,k}$	$f_{3,k}$	$f_{4,k}$
$f_{1,k}^*$	$f_{1,k}^*(x_1^*)$	$f_{2,k}(x_1^*)$	$f_{3,k}(x_1^*)$	$f_{4,k}(x_1^*)$
$f_{2,k}^*$	$f_{1,k}(x_2^*)$	$f_{2,k}^*(x_2^*)$	$f_{3,k}(x_2^*)$	$f_{4,k}^*(x_2^*)$
$f_{3,k}^*$	$f_{1,k}(x_3^*)$	$f_{2,k}(x_3^*)$	$f_{3,k}^*(x_3^*)$	$f_{4,k}(x_3^*)$
$f4,k^*$	$f1,k(x4^*)$	$f2,k(x4^*)$	$f3,k(x4^*)$	$f_{3,k}^*(x_4^*)$

(x_i^* به معنای متغیرهای بدست آمده از بهینه کردن تابع iام)

حال با توجه به ستون سوم و چهارم جدول payoff و معادلات زیر این حدود بدست آورده می‌شوند[۲۷]:

(۲۲)

$$e_{2,i,k}=\max(F_{2,k})-\left(\frac{\max(F_{2,k})-\min(F_{2,k})}{q_2}\right)\times i,\quad i=0,1,...,q_2$$

$$e_{3,j,k}=\min(F_{3,k})+\left(\frac{\max(F_{3,k})-\min(F_{3,k})}{q_3}\right)\times j,\quad j=0,1,...,q_3$$

$$e_{4,l,k}=\max(F_{4,k})-\left(\frac{\max(F_{4,k})-\min(F_{4,k})}{q_4}\right)\times l,\quad l=0,1,...,q_4$$

برای بدست آوردن مقدار εها محدوده هر تابع هدف (فاصله بین ماکزیمم و مینیمم هر تابع) به q فاصله مساوی تقسیم می شود. به این ترتیب مسئله بهینه‌سازی به $(q_2+1)\times(q_3+1)\times(q_4+1)$ زیرمسئله تبدیل می‌شود که به همین تعداد نقاط بهینه پارتو به ازای قرار گیری عنصر FACTS در خط kام بدست می‌آید. هر چه مقدار q بزرگتر باشد نقاط پارتو بیشتری بدست می‌آید اما از طرفی زمان شبیه‌سازی افزایش خواهدیافت. در این تحقیق عدد ۴ برای مقدار q انتخاب شده است.

در این تحقیق مسئله در مدار قرارگرفتن مقید به امنیت نیروگاهها توام با جایابی بهینه چند منظوره عنصر OUPFC با استفاده از روش محدودیت اپسیلون حل خواهد شد. در این روش مراحل زیر طی می‌شود:

ابتدا مساله دو بار حل می‌شود. در بار اول هدف کاهش هزینه و بار دوم کاهش تلفات می‌باشد. در این مرحله ماتریس زیر تشکیل می‌شود.

$$F=\begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} \\ f_{12} & f_{22} \end{bmatrix} \qquad (۲۳)$$

f_{11}, f_{12} : مقادیر تابع هدف اول (هزینه سوخت و هزینه سرمایه گذاری OUPFC) و دوم (تلفات) در اولین بار حل مساله (با هدف کاهش هزینه سوخت و هزینه سرمایه گذاری OUPFC)

f_{21}, f_{22} : مقادیر تابع هدف اول (هزینه سوخت و هزینه سرمایه گذاری OUPFC) و دوم (مجموع تولید) در دومین بار حل مساله (با هدف کاهش تلفات)

در مرحله بعد مساله موردنظر به صورت زیر ۴ بار دیگر حل می‌شود.

(۲۴)

$$\min F_1(x_t,u_t)$$
$$st: F_{2t}(x_t,u_t)\le e_{2it},$$
$$e_{2,it}=\max(F_{2t})-\left(\frac{\max(F_{2t})-\min(F_{2t})}{q_2}\right)\times i,\ i=0,1,...,q_2$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

هر بار مقدار i تغییر می کند. در این شبیه‌سازی مقدار i از ۱ تا ۴ در نظر گرفته شده است. در این رابطه مقـادیر max() و min() برای f_2از ماتریس بدست آمده در مرحله قبل محاسبه می‌شود. در پایان این مرحله ماتریس زیر تشکیل می‌شود. هر ردیف مقادیر تابع هدف اول و دوم را به ازای هر i نشان می‌دهد.

$$\begin{bmatrix} f_1^{\,1} & f_2^{\,1} \\ f_1^{\,2} & f_2^{\,2} \\ f_1^{\,3} & f_2^{\,3} \\ f_1^{\,4} & f_2^{\,4} \end{bmatrix} \qquad (۲۵)$$

در پایان برای محاسبه بهترین حالت از بین ۴ حالت بدست آمده، از روش فازی استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا با اسـتفاده از رابطه زیر مقادیر تابع عضویت برای هر یـک از پاسـخهای بدسـت آمده محاسبه می‌شود.

(۲۶)

$$\mu_{\substack{i \\ i=1,2}}^{n} = \begin{cases} 1 & F_i^n \le \min(F_i) \\ \dfrac{\max(F_i) - F_i^n}{\max(F_i) - \min(F_i)} & \min(F_i) \le F_i^n \le \max(F_i) \\ 0 & F_i^n \ge \max(F_i) \end{cases}$$

در این مرحله ماتریس زیر بدست می آید:

$$\begin{bmatrix} \mu_1^1 & \mu_2^1 \\ \mu_1^2 & \mu_2^2 \\ \mu_1^3 & \mu_2^3 \\ \mu_1^4 & \mu_2^4 \end{bmatrix} \qquad (۲۷)$$

در آخرین مرحله با استفاده از رابطـه زیـر بهتـرین پاسـخ از بـین پاسخهای مدل‌سازی شده بدست می آید:

$$\mu_{opt} = \max\left(\frac{\sum_{i=1}^{p} w_{\,i} . \mu_i^n}{\sum_{n=1}^{M} \sum_{i=1}^{p} w_{\,i} . \mu_i^n} \right) \qquad (۲۸)$$

$$where$$

$$0 \le w_{\,i} \le 1, \sum_i w_{\,i} = 1$$

هر اندازه مقدار w_i بزرگتر باشد نشان می‌دهد که اهمیت آن تابع نسبت به توابع دیگر برای تصمیم گیرنده بیشتر است. w_i میتواند بوسیله بهره بردار سیسـتم قـدرت بـر اسـاس اهمیـت صـنعتی و اقتصادی هر تابع انتخاب شود. در پایان مقـدار توابـع، موقعیـت و تنظیمات بهینه عنصر FACTS بـر اسـاس فـاکتور وزن توسـط الگوریتم پیشنهادی مشخص می‌شود.

۳-۲- انتخاب مکان‌های بهینه برای نصب OUPFC

شاخص‌های مختلفی برای تعیین خطوط بحرانـی یـک شـبکه در مقالات مختلف ارائه شده است. یکی از این شاخص‌هـا اسـتفاده از شاخص سریع پایداری ولتاژ[۲] است.

در سالهای اخیر شاخص‌های مختلفی بـرای پایـداری ولتـاژ ارائـه شده است. شاخص پایداری ولتاژ سریع (FVSI)، شاخصی اسـت که با استفاده از آن می‌توان خطوطی را که ازنظر پایداری وضعیت مناسبی ندارند مشخص کرد. این شاخص با استفاده ازفرمول ۲۹و شکل (۱) بدست می‌آید که در این رابطه Q اندازه تـوان تزریقـی به شین موردنظر است [۲۸]. بر این اساس هر خط از شـبکه کـه مقدار FVSI بیشتری داشته باشد ازنظر وضعیت ولتاژ شین‌هـای متصل به آن بحرانی تلقی شـده و مـی‌تـوان بـا نصـب OUPFC

[2]Fast Voltage Stability Index (FVSI)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

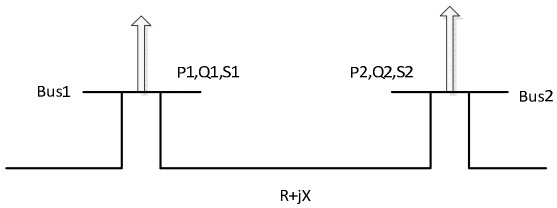
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

وضعیت آنرا بهبود بخشید.

$$fvsi_{ij} = \frac{4Z^2 Q_j}{V_i^2 X} \qquad (۲۹)$$

$$z = \sqrt{R^2 + X^2}$$



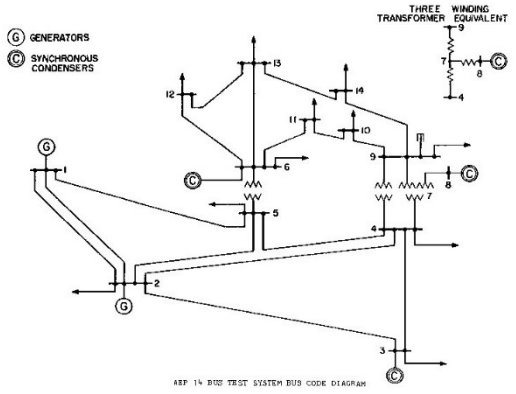
شکل(۱)نمایی از یک خط با دو شین ابتدا و انتها جهت محاسبه شاخص FVSI

در شبیه‌سازی ابتدا با استفاده از نتایج بدست آمده از حل مساله در حالت اولیه، مقادیر Fvsi محاسبه می‌شود. سپس در بخش بعد با استفاده از مقادیر بدست آمده، خطوط شبکه اولویت‌بندی شده و به ترتیب اولویت مساله پخش بار دینامیکی در حضور OUPFC برای آن حل می‌شود. در این تحقیق مساله تنها برای ۴ کاندید اول حل شده و از بین این ۴ خط، بهترین پاسخ تعیین می‌شود.

۴- شبیه سازی کامپیوتری

الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه استاندارد ۱۴ شینه IEEE پیاده‌سازی و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. مکان بهینه عنصر OUPFC و تنظیمات آن به‌منظوربهینه‌سازی توابع هدف هزینه سوخت کل ژنراتورها، تلفات شبکه و هزینه نصب ادوات FACTS تعیین می‌گردد. مسأله بهینه سازی در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته (DNLP) می‌باشد. در این مقاله مسئله بهینه‌سازی DNLP با استفاده از حل‌کننده CONOPT حل می‌گردد.

شکل (۲) شبکه استاندارد ۱۴ شینه IEEE را نشان می دهد که دارای ۲۰ خط انتقال و ۵ ژنراتور روی شینهای ۱، ۲، ۳، ۶ و ۸ می باشد[۳۰]. مشخصات فنی و هزینه ای واحدهای تولیدی شبکه در جدول (۱) و اطلاعات بارهای اکتیو و راکتیو ۲۴ ساعته برای ۱۴ شین بترتیب در جدولهای (۲) و (۳) آورده شده است. لازم بتوضیح است که بار پیک و پایه مربوط به ساعت ۲۱ می‌باشد.



شکل۲- شبکه استاندارد ۱۴ شینه IEEE [۳۰]

جدول ۱-مشخصات فنی و هزینه ای واحدهای تولیدی شبکه

	Pmin	Pmax	RU	RD	a	b	c	ei	fi	P0	Qmin	Qmax
1	0	332.4	100	100	0	20	0.043029	30	0.05	232.4	0	10

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

2	0	140	50	50	0	20	0.25	30	0.05	40	-40	50
3	0	100	30	30	0	40	0.1	30	0.05	0	0	40
6	0	100	30	30	0	40	0.1	30	0.05	0	-6	24
8	0	100	30	30	0	40	0.1	30	0.05	0	-6	24

نقطه شروع مطالعه در جدول (۱) به عنوان P0 مشخص شده است که میزان تولید هر ژنراتور را در نقطه شروع نشان می‌دهد. داشتن اطلاعات نقطه شروع برای چک کردن قیود مربوط به نرخ افزایش/کاهش خروجی ژنراتورها ضروری است.

جدول ۲–اطلاعات بار اکتیو ساعتی روی شینها برحسب مگاوات (MW)

شین/ساعت	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14
t0	15.18	65.90	33.44	5.32	7.84	20.64	6.30	2.45	4.27	9.44	10.42
t1	15.18	65.90	33.44	5.32	7.84	20.64	6.30	2.45	4.27	9.44	10.42
t2	14.32	62.18	31.55	5.02	7.39	19.47	5.94	2.31	4.03	8.91	9.84
t3	12.61	54.74	27.77	4.42	6.51	17.14	5.23	2.03	3.54	7.84	8.66
t4	8.68	37.66	19.11	3.04	4.48	11.79	3.60	1.40	2.44	5.40	5.96
t5	10.84	47.07	23.89	3.80	5.60	14.74	4.50	1.75	3.05	6.75	7.45
t6	13.01	56.49	28.66	4.56	6.72	17.69	5.40	2.10	3.66	8.10	8.93
t7	15.18	65.90	33.44	5.32	7.84	20.64	6.30	2.45	4.27	9.44	10.42
t8	16.92	73.46	37.27	5.93	8.73	23.00	7.02	2.73	4.76	10.53	11.62
t9	17.79	77.23	39.19	6.23	9.18	24.19	7.38	2.87	5.00	11.07	12.22
t10	19.09	82.87	42.05	6.69	9.85	25.95	7.92	3.08	5.37	11.88	13.11
t11	19.30	83.80	42.52	6.76	9.96	26.24	8.01	3.11	5.43	12.01	13.26
t12	18.22	79.09	40.13	6.38	9.40	24.77	7.56	2.94	5.12	11.34	12.51
t13	17.35	75.32	38.22	6.08	8.95	23.59	7.20	2.80	4.88	10.79	11.91
t14	16.49	71.59	36.33	5.78	8.51	22.42	6.84	2.66	4.64	10.26	11.32
t15	19.09	82.87	42.05	6.69	9.85	25.95	7.92	3.08	5.37	11.88	13.11
t16	19.52	84.73	42.99	6.84	10.07	26.53	8.10	3.15	5.49	12.14	13.40
t17	18.45	80.08	40.63	6.46	9.52	25.08	7.65	2.98	5.19	11.48	12.67
t18	19.30	83.80	42.52	6.76	9.96	26.24	8.01	3.11	5.43	12.01	13.26
t19	20.39	88.51	44.91	7.14	10.52	27.72	8.46	3.29	5.73	12.68	14.00
t20	21.26	92.28	46.83	7.45	10.97	28.90	8.82	3.43	5.98	13.23	14.60
t21	21.70	94.20	47.80	7.60	11.20	29.50	9.00	3.50	6.10	13.50	14.90
t22	19.52	84.73	42.99	6.84	10.07	26.53	8.10	3.15	5.49	12.14	13.40
t23	18.88	81.94	41.58	6.61	9.74	25.66	7.83	3.04	5.31	11.74	12.96
t24	17.79	77.23	39.19	6.23	9.18	24.19	7.38	2.87	5.00	11.07	12.22

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

جدول ۳-اطلاعات بار راکتیو ساعتی روی شینها برحسب مگاوار (MVAR)

شین/ساعت	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14
t0	8.88	13.29	-2.73	1.12	5.25	11.61	4.06	1.26	1.12	4.06	3.50
t1	8.88	13.29	-2.73	1.12	5.25	11.61	4.06	1.26	1.12	4.06	3.50
t2	8.38	12.54	-2.57	1.06	4.95	10.96	3.83	1.19	1.06	3.83	3.30
t3	7.38	11.04	-2.27	0.93	4.36	9.65	3.37	1.05	0.93	3.37	2.91
t4	5.08	7.60	-1.56	0.64	3.00	6.64	2.32	0.72	0.64	2.32	2.00
t5	6.35	9.49	-1.95	0.80	3.75	8.30	2.90	0.90	0.80	2.90	2.50
t6	7.62	11.39	-2.34	0.96	4.50	9.95	3.48	1.08	0.96	3.48	3.00
t7	8.88	13.29	-2.73	1.12	5.25	11.61	4.06	1.26	1.12	4.06	3.50
t8	9.90	14.82	-3.04	1.25	5.85	12.94	4.52	1.40	1.25	4.52	3.90
t9	10.41	15.58	-3.20	1.31	6.15	13.61	4.76	1.48	1.31	4.76	4.10
t10	11.17	16.71	-3.43	1.41	6.60	14.60	5.10	1.58	1.41	5.10	4.40
t11	11.30	16.90	-3.47	1.42	6.67	14.77	5.16	1.60	1.42	5.16	4.45
t12	10.66	15.95	-3.27	1.34	6.30	13.94	4.87	1.51	1.34	4.87	4.20
t13	10.15	15.19	-3.12	1.28	6.00	13.27	4.64	1.44	1.28	4.64	4.00
t14	9.65	14.44	-2.96	1.22	5.70	12.62	4.41	1.37	1.22	4.41	3.80
t15	11.17	16.71	-3.43	1.41	6.60	14.60	5.10	1.58	1.41	5.10	4.40
t16	11.42	17.09	-3.51	1.44	6.75	14.93	5.22	1.62	1.44	5.22	4.50
t17	10.80	16.15	-3.32	1.36	6.38	14.11	4.93	1.53	1.36	4.93	4.25
t18	11.30	16.90	-3.47	1.42	6.67	14.77	5.16	1.60	1.42	5.16	4.45
t19	11.93	17.85	-3.66	1.50	7.05	15.60	5.45	1.69	1.50	5.45	4.70
t20	12.44	18.61	-3.82	1.57	7.35	16.26	5.68	1.76	1.57	5.68	4.90
t21	12.70	19.00	-3.90	1.60	7.50	16.60	5.80	1.80	1.60	5.80	5.00
t22	11.42	17.09	-3.51	1.44	6.75	14.93	5.22	1.62	1.44	5.22	4.50
t23	11.05	16.53	-3.39	1.39	6.52	14.44	5.05	1.57	1.39	5.05	4.35
t24	10.41	15.58	-3.20	1.31	6.15	13.61	4.76	1.48	1.31	4.76	4.10

در این مقاله حل مسئله در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاه‌ها (SCUC) و جایابی بهینه عنصر OUPFC توأم با هم در دو حالت با تابع هدف تکی و ترکیبی انجام می‌گیرد. انتظار می‌رود نتایج این مطالعات بیانگر بهبود وضعیت بهره‌برداری از شبکه پس از نصب OUPFC در شبکه باشد. همچنین انتظار می‌رود روش پیشنهادی در حالت تابع هدف ترکیبی، هم بتواند هزینه بهره‌برداری و هم تلفات شبکه را کاهش دهد. ضمن اینکه استفاده از OUPFC تاثیر زیادی در بهبود وضعیت ولتاژ شبکه در شین‌های اطراف محل نصب دارد. پارامترهای مورد نیاز برای حل مساله از جمله محدودیتهای OUPFC در جدول (۴) آمده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

جدول۴-محدودیتهای عنصر OUPFC و سایر پارامترها

t	24
q	4
Y	5
ρ^{min}	-180°
ρ^{max}	180°
r^{min}	0
r^{max}	0.15
σ^{min}	-20°
σ^{max}	20°

جدول۵-نتایج UC قبل از نصب OUPFC (1: روشن، 0: خاموش)

شین ژنراتوری/ساعت	1	2	3	6	8
t0	1	1	1	1	1
t1	1	1	1	1	1
t2	1	1	1	0	1
t3	1	1	1	0	0
t4	1	1	1	0	0
t5	1	1	1	0	0
t6	1	1	1	0	0
t7	1	1	1	0	1
t8	1	1	1	0	1
t9	1	1	1	0	1
t10	1	1	1	0	1
t11	1	1	1	0	1
t12	1	1	1	0	0
t13	1	1	1	0	0
t14	1	1	1	0	0
t15	1	1	1	0	0
t16	1	1	1	0	1
t17	1	1	1	1	1
t18	1	1	1	1	1
t19	1	1	1	1	1
t20	1	1	1	1	1
t21	1	1	1	1	1
t22	1	1	1	1	1
t23	1	1	1	0	1
t24	1	1	0	0	0

در ابتدا UC بدون حضور OUPFC و بمنظور کاهش هزینه انجام شده است که در آن قیود امنیت شبکه نیز لحاظ شده است یعنی شامل حل مساله پخش بار دینامیکی برای شبکه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین هزینه راه اندازی نیز در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل برای شاخص‌های شبکه در جدول (۶) و نتایج UC در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول۶-شاخص های شبکه بدون حضور OUPFC

نوع تابع هدف	با هدف حداقل سازی هزینه
هزینه ($)	149648.95
تلفات (MW)	188.09
حداکثر مقدار fvsi	1.154 (خط ۱-۵)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

با توجه به اینکه در هر ساعت مقدار FVSI متفاوت است، لذا این مقدار برای ساعت ۲۱ یعنی اوج بار محاسبه شده است. لذا با نصب OUPFCروی خط (۱-۵) از شبکه که بیشترین مقدار FVSI را دارد می‌توان وضعیت ولتاژ شینهای شبکه بخصوص شینهای بحرانی ۱ و ۵ را بهبود بخشید.

در این مقاله، مسئله در مدار قرار گرفتن مقید به امنیت نیروگاهها (SCUC) با حضور عنصر OUPFC در سه سناریو مختلف حل شده و مورد بررسی قرار گرفته است. سناریوی اول بصورت تک هدفه و بمنظور کاهش هزینه می باشد و در سناریوی دوم تابع هدف تلفات شبکه بصورت تک هدفه بهینه خواهد شد. در سناریوی سوم، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون مسئله SCUC و بمنظور کاهش هزینه و تلفات بصورت چند هدفه تحلیل خواهد شد. برای حالت چند هدفه ۴ اپسیلون در نظر گرفته شده است و مقادیر چند هدفه محاسبه شده و با استفاده از روش فازی بهترین پاسخ از بین ۴ حالت بررسی شده بدست می آید. ضرایب w1 و w2 برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. مقادیر شاخص های شبکه برای هر سه سناریو در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷-شاخصهای شبکه در سناریوهای مختلف و با حضور OUPFC

نوع تابع هدف	تک هدفه		چند هدفه			
	با هدف حداقل سازی هزینه$/h	با هدف حداقل سازی تلفاتkw	i1	i2	i3	i4
سناریو۱: هزینه	144082.18	242275.57	146307.72	148268.06	153676.32	155887.38
سناریو۲: تلفات	287.38	142.55	251.17	214.96	178.76	142.55
سناریو ۳: چندهدفه (مقادیر اپسیلون)	-	-	0.268	0.188	0.121	0.424
حداکثر مقدار fvsi	0.492 (خط ۱-۵)	0.601 (خط ۱-۵)	0.251 (خط ۱-۵)	0.595 (خط ۱-۵)	0.880 (خط ۱-۵)	1.059 (خط ۱-۵)

همانطور که از جدول (۷) مشاهده می گردد، حالت i4 به عنوان بهینه‌ترین حالت انتخاب شده است.

نتایج UC در بهینه سازی چند هدفه و حالت i4 و با حضور OUPFC در جدول (۸) آورده شده است

جدول۸-نتایج UC با حضور OUPFC و در بهینه سازی چندهدفه(1: روشن، 0: خاموش)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

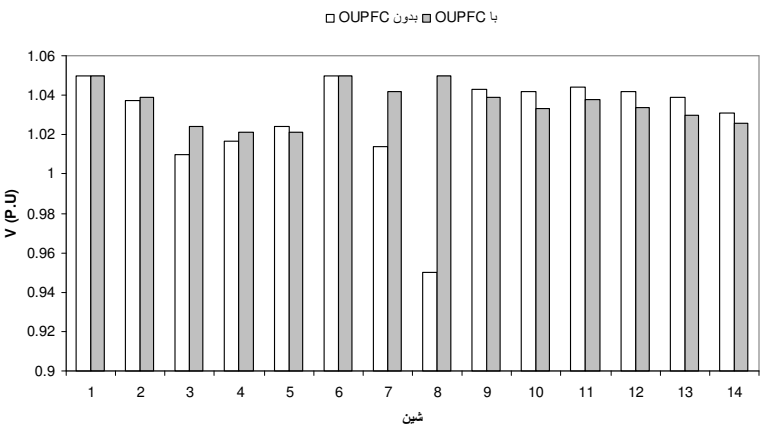
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

جـدول۸-نتـایج UC بـا حضـور OUPFC و در بهینـه سـازی چندهدفه(1: روشن، 0: خاموش)

شین / ژنراتوری/ساعت	1	2	3	6	8
t0	1	1	1	1	1
t1	1	1	1	1	1
t2	1	1	1	1	1
t3	1	1	1	1	1
t4	1	1	1	1	1
t5	1	1	1	1	1
t6	1	1	1	1	1
t7	1	1	1	1	1
t8	1	1	1	1	1
t9	1	1	1	1	1
t10	1	1	1	1	1
t11	1	1	1	1	1
t12	1	1	1	1	1
t13	1	1	1	1	1
t14	1	1	1	1	1
t15	1	1	1	1	1
t16	1	1	1	1	1
t17	1	1	1	1	1
t18	1	1	1	1	1
t19	1	1	1	1	1
t20	1	1	1	1	1
t21	1	1	1	1	1
t22	1	1	1	1	1
t23	1	1	1	1	1
t24	1	1	1	1	1

جهت نشان دادن بهبود وضعیت ولتاژ شینها، نتایج حاصـل بـدون حضور OUPFC با نتایج حاصل بـا حضـور OUPFC در بهینـه سازی چند هدفه و حالت i4 مقایسـه شـده نتـایج حاصـل نشـان دهنده مسطح تر شدن پروفیل ولتاژ بـا حضـور عنصـر OUPFC می باشد.



شکل۲-مقایسه پروفیل ولتاژ با و بدون حضور OUPF

نتیجه گیری

در این مقاله شاخص‌های بهره‌برداری شامل هزینـه سـوخت کـل ژنراتورها، تلفات شبکه و هزینه نصب عنصر OUPFC بـه‌عنـوان توابع هدف مسأله SCUC مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تعیین مکان بهینه عنصر OUPFC ابتدا مسئله UC مبتنی بـر پخـش بار بهینه (OPF) بمنظور تعیـین خطـوطی کـه دارای بیشـترین مقدار FVSI هستند انجـام مـی‌شـود. مسـئله UC بصـورت ۲۴ ساعته بوده و با توجه به اینکه در هر ساعت مقدار FVSI متفاوت بدست می آید، لـذا ایـن مقـدار بـرای سـاعت ۲۱ یعنـی اوج بـار محاسبه شده است و بدین ترتیب مکانهای کاندیـد نصـب عنصـر OUPFC بدست می‌آید.

الگوریتم پیشنهادی بـر روی شـبکه اسـتاندارد ۱۴ شـینه IEEE پیاده‌سازی و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که OUPFC قادر به کاهش هزینه‌های بهره برداری، کاهش تلفـات شـبکه و بهبـود شاخص FVSI می‌باشد. در این مقاله مسـأله بهینـه‌سـازی در در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته (DNLP) بوده و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015
[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

با استفاده از حل‌کننده CONOPT نرم‌افزار GAMS حل شده

است.

منابع

[1] M. Shahidehpour, W.F. Tinney, Y. Fu, 2005, ***"Impact of Security on Power Systems Operation"***, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 11.

[2] W. J. Lyman, 1930, ***"Controlling Power Flow with Phase-Shifting Equipment"***, AIEE Trans. Vol. 49, pp. 825-831.

[3] A. Nabavi Niaki, R. Iravani, and M. Noroozian, 2008, ***"Power-flow model and steady-state analysis of the hybrid flow controller"***, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, pp. 2330-2338.

[4] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, and S.A. Nabavi Niaki, 2011, ***"Modelling of Optimal Unified Power Flow Controller (OUPFC) for Optimal Steady-State Performance of Power Systems"***, Energy Conversion and Management, Vol. 52, No. 2, pp. 1325-1333.

[5] N.G. Hingorani, L. Gyugyi, 2000, "***Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems"***, Wiley-IEEE Press.

[6] M.R. Iravani, D. Maratukulam, 1994, ***"Review of Semiconductor-Controlled (Static) Phase Shifters for Power System Applications"***, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 4.

[7] Brian K. Johnson, Giri Venkataramanan, 1998, ***"A Hybrid Solid State Phase Shifter Using PWM AC Converters"***, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 4.

[8] C. Rehtanz, 2007, "***Dynamic power flow controllers for transmission corridors***", iREP Symposium- Bulk Power System Dynamics and Control – VII, Revitalizing Operational Reliability, pp. 1-9.

[9] H.Y. Yamin, 2004, ***"Review on methods of generation scheduling in electric power systems"***, Elect Power Syst Res,Vol 69, pp 227–248.

[10] N. Laothumyingyong,P. Damrongkulkamjorn, 2010,***"Security-ConstrainedUnit CommitmentusingMixed-Integer Programming withBenders Decomposition",*** Electrical Engineering/Electronics Computer TelecommunicationsandInformation Technology, pp. 19-21.

[11] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Gerald B. Sheblé, 2014, ***"Power Generation, Operation, and Control"*** Published by John Wiley & Sons, Third edition.

[12] Y. Fu, M. Shahidehpour, Z. Li, 2005, ***"Security-constrained unit commitment with ac constraints"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 1538-1550.

[13] Y. Fu, M. Shahidehpour, Z. Li, 2006, ***"AC contingency dispatch based on security constrained unit commitment"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 21, No. 2, pp. 897-908.

[14] S. Sreejith, S.P. Simon, M.P. Selvan, 2015, ***"Analysis of FACTS devices on Security Constrained Unit Commitment problem"***, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 66, pp. 280-293.

[15] A. Kazemi, M. Najafi, 2004, ***"Cost Reduction and Transmission Security Augment in in Unit Commitment Using UPFC"***, 19th International Power System Conference (PSC).

[16] M. Haili, M. SHahidepour, 1999, ***"Unit commitment with transmission security And Voltage Constraints"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 14, No. 2, pp.757-764

[17] S. Vemmuri, L. Lemonidis, 1992, ***"Fuel Constrained Unit Commitment"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 7, No. 1, pp.410-416

[18] A. Ahmadi-Khatir, M. Bozorg, 2013, ***"Probabilistic Spinning Reserve Provision Model in Multi Control Zone Power System"***, IEEE Transaction on Power Systems, vol.28,No 3 ,pp2819-2827

[19] E. Mashhoor, S.M. Moghadas-Tafreshi, 2011, ***"Bidding Strategy Of Virtual Power Plant for Participating in Energy And Spinning reserve Market Problem Formulation"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 26, No. 2, pp949-956.

[20] N.P. Padhy, 2004, ***"unit commitment–A bibiogrphical survey"***, IEEE Transaction on

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Power Systems, Vol.19, No. 2, PP 1196-1205.

[21] D. Han, J. Jian, L. Yang, 2014, ***"Outer Aproximation and Outer inner Approximation Approaches For Unit Commitment Problem"***, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 29, No. 2, pp. 505-513.

[22] S.An, Condren, J. and T. W. Gedra, 2007, ***"An Ideal Transformer UPFC Model, OPF First-Order Sensitivities, and Application to Screening for Optimal UPFC Locations"***, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 1, pp. 68-75.

[23] A.Lashkar Ara, A. Kazemi, S. A. Nabavi Niaki, 2009, ***"Improvement of Phase Shifting Transformer Operation by Hybrid Arrangement with UPFC"***, Intenational Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 4, No. 5, pp. 1102-1109.

[24] A. Lashkar Ara, A. H. Rahmani, E. Parham, M. Behshad, 2012, ***"Multi-objective dynamic optimal power flow through the ε-constraint method with non-smooth and non-convex fuel cost functions"*** , *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* Vol. 29, No.2, pp. 1003-1014.

[25] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, M. Behshad, 2013, ***"Improving power systems operation through multiobjective optimal location of optimal uni_ed power ow controller"*** Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol. 21, pp. 1893 – 1908.

[26] M.A. Abido, 2002, ***"Optimal power flow using particle swarm optimization"***, Electr Power Energy Syst, Vol. 24, No. 7, pp. 563-571.

[27] G. Mavrotas, 2009, ***"Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems"***, Applied Mathematics and Computation, Vol. 213, No. 2, pp. 455-465.

[28] R. Avinash, G.K. Savyasachi, N. Gowtham, P. Rakshith, 2015, ***"Optimal Location of STATCOMS using FVSI"***, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 2, No. 6.

[29] A. Drud, 1985, "***CONOPT: A GRG Coed for Large Sparse Dynamic Nonlinear Optimization Problems***", Development Researeh Department, Mathematical Programming, Washington, DC 20433, USA, Vol.31, pp. 153-191.

[30] Power Systems Test Case, The University of Washington Archive http://www.ee.washington.edu/research/pstca/ , [Accessed 15/7/2008].

رزومه

رفعت صبورسال (۱۳۵۸) در دزفول متولد شد. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک در سال (۱۳۸۴)، از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می باشد. فعالیت پژوهشی و علاقه-مندی ایشان در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت و ادوات فکس می باشد.



افشین لشکرآرا در تهران متولد شده است(۱۳۵۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی،کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق- قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان شبکه های هوشمند، بهینه سازی سیستمهای قدرت، مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.



[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 3-No. 2-autumn 2014& winter 2015

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1393.3.2.5.3]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]