

پخش بار بهینه با قیود امنیتی به همراه ادوات FACTS با استفاده از روش تجزیه بندر

محمود زاده باقری^۱، رحیم ایلدر آبادی^۲، فرزاد سلیمی فر^۳، احسان شاکر^۴
گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، ایران، mzadehbagheri@gmail.com
گروه برق دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، r.ildr@hsu.ac.ir
گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران، farzadsalimifar@gmail.com
گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران، shaker.e59@gmail.com

چکیده - این مقاله در ارتباط با پخش بار بهینه با قیود امنیتی است که در آن ادوات FACTS به کار گرفته شده است تا قیود سیستم در حالت نرمال و حالت‌های احتمالی برآورده شوند. قیود در نظر گرفته شده محدودیت تولید توان، ولتاژ، انتقال و عملکرد تجهیزات FACTS است. در حالت عادی، تابع هدف مینیمم کردن هزینه‌ها با رعایت قیود است. اگر حالت احتمالی رخ دهد تجهیزات FACTS به طور بهینه کنترل شده‌اند تا نقض Ramp Rate ژنراتورها را حذف کرده و محدودیت‌های سیستم را برآورده نماید. فرایندهای تکراری برای اطمینان از عدم نقض Ramp Rate بکار می‌رود. اگر حذف کردن نقض Ramp Rate بر آورده نگردد، این نقض به شرایط نرمال فیدبک داده می‌شود تا خروجی ژنراتورها را برای حالت بعدی برنامه‌ریزی کند. با استفاده از این شرایط مبنا، حالت احتمالی دوباره شبیه‌سازی خواهد شد. این فرایند تکراری زمانی که Ramp Rate حذف گردد، متوقف خواهد شد. برای تجزیه مسئله اصلی به شرایط نرمال و شرایط احتمالی روش تجزیه بندر با توجه به ارتباط بین توان تولیدی تحت شرایط نرمال و شرایط احتمالی به عنوان معادلات کوپلینگ مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم ۳۰ باسه IEEE برای نشان دادن توانایی روش ارائه شده برای SCOPF نشان داده شده است.

کلید واژه - ادوات FACTS، پخش بار بهینه همراه با قیود امنیتی، کنترلر تصحیح کننده و جلوگیری کننده، تجزیه بندر

اقتصاد و جمعیت تقاضای برق نیز به‌طور ویژه‌ای افزایش یافته است. در نتیجه مسئله‌ی پخش بار نیز با محدودیت‌های انتقال گره خورده است. علاوه بر این به دلیل انتقال توان از طریق خطوط طولانی، ولتاژباسب‌ها نزدیک به محدوده پایین خود می‌باشد. و اگر حالات احتمالی رخ دهند از این حد هم کمتر خواهد شد. بنابراین اخیراً بسیاری از محققان تعدادی از روش‌های حل مسائل را مورد مطالعه و گسترش قرار داده‌اند. مقاله [2] روش‌های هزینه امنیتی برق را برای حل مسایل مورد استفاده قرار داده است. هدف اصلی مینیمم کردن هزینه‌های اقتصادی در شرایط نرمال و وقوع حالات محتمل می‌باشد. این روش به دلیل استفاده از ماتریس بزرگ برای حل کردن، زمان بر می‌باشد. روش هوش مصنوعی یعنی PSO در [3] برای حل مسئله به کار رفته است. فهرست عملکرد (PI) به کار رفته است تا سطوح نقض محدودیت خط‌ها را اندازه بگیرد. میزان PI برای دوباره مرتب کردن خروجی ژنراتورها مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا از نقض خطوط جلوگیری

۱- مقدمه

اطمینان از اینکه سیستم قدرت در شرایط عادی و در شرایط بروز اختلالات محتمل عملکرد مناسب داشته باشد امری بسیار ضروری است [1]. برای تشخیص آن شرایط عملکرد سیستم معمولاً به صورت محدودیت‌های امنیتی پخش بار بهینه فرموله می‌شود که در واقع توسعه و بسط پخش بار بهینه استاندارد می‌باشد. اگر رویدادی اتفاق بیفتد و باعث نقص محدودیت خطوط یا ولتاژ شود چندین اقدام باید صورت بگیرد تا چنین نقص‌هایی را حذف نماید. ادوات فکس، برنامه ریزی دوباره تولید می‌تواند از جمله این اقدامات باشد. این دو اقدام می‌تواند در هر دو حالت نرمال و حالات محتمل انجام شود. اگر اقدامات قبل از وقوع حالات احتمالی صورت گیرد به عنوان اقدامات کنترلی جلوگیری کننده دسته بندی می‌شوند و اگر اقدامات اندکی بعد از وقوع حالات محتمل انجام گیرد به عنوان کنترل تصحیح شده دسته بندی می‌شوند. با رشد

IEEE به کار گرفته شده تا قابلیت روش ارائه شده را در حل مسائل SCOPF نشان دهند.

۲- فورمول بندی مسئله

در این بخش فورمول بندی SCOPF با تجهیزات FACTS نشان داده می‌شود. ابتدا مدل FACTS مورد استفاده معرفی خواهد شد سپس مدل در فورمول SCOPF قرار داده خواهد شد.

۱-۲- تجهیزات FACTS

دو نوع از ادوات FACTS در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. اولین وسیله SVC که از ادوات موازی FACTS است. SVC یک تزریق کننده‌ی توان راکتیو است و به عنوان یک ژنراتور که توان حقیقی ندارد مدل می‌شود. نوع دوم تایریستورهای کنترل شده بوسیله‌ی خازن‌های استاتیک است. این وسیله متعلق به ادوات سری FACTS است. به منظور شرکت دادن TCSC در

کنند. چون دستاوردها بر اساس روش‌ها رندوم می‌باشد موجب می‌شوند که زمان زیادی را مصرف کنند. برای اطمینان از عملکرد سیستم قدرت در شرایط عادی و حالات محتمل مفهوم کنترل تصحیح کننده و جلوگیری کننده در [4,5] مورد استفاده قرار گرفته است. کنترل جلوگیری کننده قبل از وقوع حالات احتمالی اجرا می‌شود. یعنی در طول طراحی. به عبارت دیگر کنترل تصحیح کننده اندکی بعد از اتفاق حالات احتمالی در نظر گرفته می‌شود تا از جریان بیش از حد خطوط جلوگیری کند و یا بازبایی ولتاژ سیستم را انجام دهد. این مقاله روشی را برای حل مسئله‌ی رواج می‌دهد که در ارتباط با تجهیزات FACTS می‌باشد. تجهیزات به عنوان کنترل جلوگیری کننده در شرایط عادی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا هزینه‌ها را مینیمم کنند و همچنین پارامترهای سیستم را با محدودیت‌های آن حفظ کند. علاوه بر این، این تجهیزات همچنین برای کاهش انحرافات میزان تولید و برآورده ساختن محدودیت‌های سیستم در هنگامی که حالات محتمل به وقوع بپیوندد، مفید می‌باشد. در این مورد کاربرد تجهیزات FACTS به عنوان کنترل جلوگیری کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های تکراری ارائه شده در [6] برای حل مسئله‌ی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تکنیک برای تجزیه‌ی مسئله‌ی کلی به حالت نرمال و حالات احتمالی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تکنیک برای تجزیه‌ی مسئله‌ی کلی به حالت نرمال و احتمال روش تجزیه بندر استفاده شده است. معادلات نشان دهنده-ی ارتباط بین تولید توان تحت شرایط عادی و حالات احتمالی برای کوپل کردن معادلات در شرایط نرمال و حالات احتمالی مورد استفاده قرار گرفته است. دو نوع از ادوات FACTS در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. اولین نوع از ادوات سری، تایریستور-های کنترل شده بوسیله‌ی خازن‌های استاتیک (TCSC) و دومین نوع که از ادوات موازی است (SVC). در این مقاله مکان بهینه‌ی این وسایل با استفاده از [7] در نظر گرفته شده‌اند. سیستم ۳۰ باسه

شرایط نرمال و حالات پیش بینی نشده (بروز خطا) جلوگیری کند. فورمول بندی عمومی (scopf) به صورت زیر می باشد.

$$\text{minimize} \Rightarrow OC = \sum_{m \in G} \alpha P_{Gm}^{0^2} + b P_{Gm}^0 + c \quad (5)$$

که OC هزینه های راه اندازی و ضرائب تابع هزینه مشروط به قیود حالت نرمال هستند.

$$P_{GM}^0 - P_{lm} - P_m^{TCSC} = V_m^0 \sum_{n=1}^{NB} V_n^0 (G_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n) + B_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n)) \quad (6)$$

$$Q_{Gm}^0 - Q_{Lm} - Q_m^{SVC} - Q_m^{TCSC} = V_m^0 \sum_{n=1}^{NB} V_n^0 \left(\frac{G_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) + B_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)}{B_{mn}} \right) \quad (7)$$

$$\underline{P_{GM}} \leq P_{GM}^0 \leq \overline{P_{GM}} \quad (8)$$

$$\underline{Q_{GM}} \leq Q_{GM}^0 \leq \overline{Q_{GM}} \quad (9)$$

$$\underline{V_m} \leq V_m^0 \leq \overline{V_m}, m, n = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

$$|S_{mn}^0| \leq \overline{S_{mn}}, m, n = 1, 2, \dots, N, m \neq n \quad (11)$$

$$\underline{x^o} \leq x \leq \overline{x^o} \quad (12)$$

$$P_{Gm}^k - P_{Lm} - P_m^{TCSC} = V_m^k \sum_{n=1}^{NB} V_n^k \left(\frac{G_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n) + B_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n)}{B_{mn}} \right) \quad (13)$$

$$Q_{Gm}^k - Q_{Lm} - Q_m^{SVC} - Q_m^{TCSC} = V_m^k \sum_{n=1}^{NB} V_n^k \left(\frac{G_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) + B_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)}{B_{mn}} \right) \quad (14)$$

$$\underline{P_{GM}^k} \leq P_{GM}^k \leq \overline{P_{GM}^k} \quad (15)$$

$$\underline{Q_{GM}^k} \leq Q_{GM}^k \leq \overline{Q_{GM}^k} \quad (16)$$

$$\underline{V_m^k} \leq V_m^k \leq \overline{V_m^k}, m = 1, 2, \dots, N \quad (17)$$

$$|S_{MN}^k| \leq \overline{S_{MN}}, m, n = 1, 2, \dots, N, m \neq n \quad (18)$$

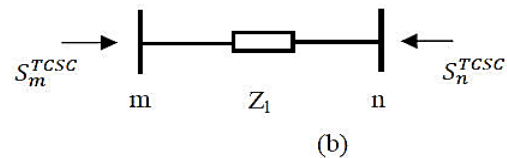
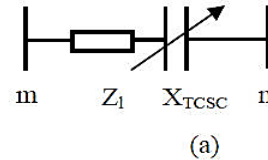
$$\underline{x^k} \leq x \leq \overline{x^k} \quad (19)$$

ارتباط بین حالت نرمال و احتمال به صورت زیر است.

$$|P_{GM}^o - P_{GM}^k| \leq \Delta P_G \quad (20)$$

که P_{GM} و Q_{GM} توان اکتیو و راکتیو تولیدی در باس m ، P_{LM} و Q_{LM} توان اکتیو و راکتیو مورد تقاضا در باس M ، V_m و θ_m دامنه و زاویه ولتاژ باس m ، $\underline{P_{GM}}$ و $\underline{Q_{GM}}$ مینیمم توان راکتیو و اکتیو در باس m ، $\underline{V_m}$ و $\underline{V_m}$ مینیمم و ماکزیمم ولتاژ در باس m

مسئله ی پخش بار بهینه در این مقاله مدل تزریقی [8] استفاده شده است. در زیر توضیحات مدل تزریقی TCSC بیان شده است.



شکل ۱: a: مدل TCSC معمول b: مدل تزریقی TCSC

شکل (۱) یک TCSC معمول را نشان می دهد. توان تزریقی مربوط به TCSC به صورت زیر نوشته می شود.

$$P_m^{TCSC} = V_m^2 \Delta G_{mn} - V_m V_n [\Delta G_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n) + \Delta B_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n)] \quad (1)$$

$$Q_m^{TCSC} = -V_m^2 \Delta B_{mn} - V_m V_n [\Delta G_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) - \Delta B_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)] \quad (2)$$

$$Q_n^{TCSC} = -V_n^2 \Delta B_{mn} - V_m V_n [\Delta G_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) + \Delta B_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)] \quad (3)$$

$$P_n^{TCSC} = V_n^2 \Delta G_{mn} - V_m V_n [\Delta G_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n) - \Delta B_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n)] \quad (4)$$

۲-۲- قیود امنیتی مربوط به پخش بار با تجهیزات

FACTS

پخش بار بهینه ی استاندارد و پخش بار بهینه با قیود امنیتی دارای تفاوت هایی می باشند که شامل رویدادهای غیر پیش بینی شده است. بنابراین قادر است تا از نقض محدودیت های سیستم تحت

$$\underline{P}_{GM} \leq P_{GM}^K \leq \overline{P}_{GM} \quad (24)$$

$$\underline{Q}_{GM} \leq Q_{GM}^K \leq \overline{Q}_{GM} \quad (25)$$

$$V_M \leq V_M^K \leq \overline{V}_M, m = 1, 2, \dots, N \quad (26)$$

$$|S_{mn}^k| \leq s_{mn}, m, n = 1, 2, \dots, N, m \neq n \quad (27)$$

$$\underline{x}^k \leq x \leq \overline{x}^k \quad (28)$$

$$-\Delta p_{Gm} + P_{Gm}^0 - P_{Gm}^k - \alpha \leq 0 \quad (29)$$

$$-\Delta p_{Gm} + P_{Gm}^0 + P_{Gm}^k - \alpha \leq 0 \quad (30)$$

$$\alpha_m \geq 0 \quad (31)$$

که α_m نقض ramp rate به سبب وقوع احتمال است و λ_p لاگرانژ مربوط به تعادل توان اکتیو است.

۲-۳- مسئله اصلی

حل زیر مسئله منجر به دو بردار می‌گردد. یعنی α, λ . این دو بردار سپس به مسئله‌ی اصلی فیدبک داده می‌شوند. هدف مسئله-ی اصلی مینیمم کردن هزینه‌ها در صورت وجود قیود می‌باشد. فورمول‌بندی مسئله اصلی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\min imize \Rightarrow OC = \sum_{m \in G} \alpha P_{Gm}^{0,2} + b P_{Gm}^0 + c \quad (32)$$

مشروط به قیود زیر

$$P_{GM}^0 - P_{lm} - P_m^{TCSC} = \quad (33)$$

$$V_m^0 \sum_{n=1}^{NB} v_n^0 (G_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)) + B_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) \quad (34)$$

$$Q_{Gm}^0 - Q_{Lm} - Q_m^{SVC} - Q_m^{TCSC,0} = \quad (35)$$

$$V_M \sum_{n=1}^{NB} V_n^0 (G_{mn} \sin(\theta_m - \theta_n) + B_{mn} \cos(\theta_m - \theta_n)) \quad (36)$$

$$\underline{P}_{GM} \leq P_{GM}^0 \leq \overline{P}_{GM} \quad (37)$$

$$\underline{Q}_{GM} \leq Q_{GM}^0 \leq \overline{Q}_{GM} \quad (38)$$

$$\underline{V}_M \leq V_M^0 \leq \overline{V}_M, m = 1, 2, \dots, N \quad (39)$$

$$|S_{MN}^0| \leq s_{MN}, m, n = 1, 2, \dots, N, m \neq n \quad (40)$$

$$\underline{x}^0 \leq x \leq \overline{x}^0 \quad (41)$$

$$\alpha_m + \lambda_m (P_{GM}^0 - P_{GM}^k) \leq 0 \quad (42)$$

۴- الگوریتم

شکل (۲) فلوچارت روش ارائه شده را به نمایش می‌گذارد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود ابتدا پخش بار بهینه در حالت نرمال انجام

S_{mn} توان عبوری از خط و \overline{S}_{mn} ظرفیت خط، Δp_{Gm} ramp rate واحد m ، x تنظیم ادوات FACTS، \underline{x} و \overline{x} ماکزیمم و مینیمم تنظیم ادوات FACTS است. در این مقاله کنترل جلوگیری کننده بوسیله تولید توان و تنظیم ادوات FACTS در شرایط نرمال نشان داده شده است. اگر اتفاقی رخ دهد باز آرایبی تولید توان دوباره انجام می‌شود و تنظیمات تجهیزات FACTS دوباره تنظیم خواهد شد تا پارامترهای سیستم را در محدوده نگه دارد.

۳- تجزیه بندر برای SCOPF

حل مسئله‌ی پخش بار بهینه همراه باقیود امنیتی پیچیده است. چون شامل فورمول‌های حالت نرمال و حالات محتمل می‌باشد. برای ساده سازی روش تجزیه بندر به کار گرفته شده است. تا مسئله کلی را به یک مسئله‌ی اصلی و یک زیر مسئله تجزیه کند. مسئله اصلی شرایط نرمال را نشان می‌دهد در حالی که زیر مسئله شرایط احتمال را نمایش می‌دهد. سپس فرایندهای تکراری هر دو آن‌ها را در بر می‌گیرد تا حل بهینه بدست آید. در زیر جزئیات مسئله اصلی و زیر مسئله توضیح داده شده است.

۳-۱- زیرمسئله

زیر مسئله حالت احتمال را به نمایش می‌گذارد. هنگامی که اتفاقی رخ دهد، کنترل تصحیح کننده باید در مدت زمان کمی برای حذف نقض قیود اقدام نماید. در این مورد کنترل تصحیح کننده شامل آرایش مجدد تولید ژنراتورها و تنظیم مجدد تجهیزات FACTS است. هدف زیر مسئله مینیمم کردن نقض ramp rate است در حالی که محدودیت‌های سیستم را حفظ کند. فورمول بندی زیر مسئله می‌تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$\min imize \sum a_m \quad (21)$$

که مشروط به قیود زیر است.

$$P_{GI}^K - P_{LM} - P_M^{TCSC,K} = V_I^K \sum_{n=1}^{NB} V_J^K \left(G_{MN} \cos(\theta_m - \theta_n) + B_{MN} \sin(\theta_m - \theta_n) \right) \quad (22)$$

$$Q_{GI}^K - Q_{DM} - Q_M^{SVC,K} = \quad (23)$$

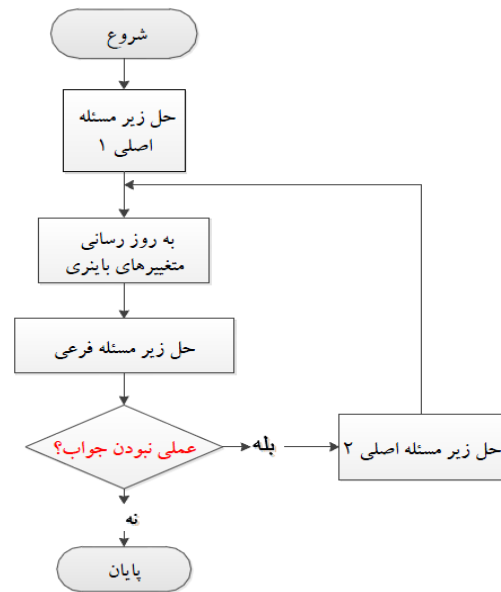
$$V_I^K \sum_{n=1}^{NB} V_J^K (G_{MN} \sin(\theta_m - \theta_n) + B_{MN} \cos(\theta_m - \theta_n))$$

بهینه‌ی ادوات FACTS در مکان مناسب در نظر گرفته شده است، علاوه بر این حالت محتمل در نظر گرفته شده قطع خط ۲-۴ و ۲۵-۲۷ است. محل SVC در باس ۲۸ و با تنظیمات بین صفر تا ماکزیمم توان نامی یعنی ۱۵,۴ مگاوار و ۱۰,۲۹ مگاوار در نظر گرفته شده است، محل TCSC در خطوط ۱-۲، ۱-۳، ۲-۴، ۳-۴، ۲-۵ با تنظیم بین جبران‌سازی امپدانس بین صفر تا ماکزیمم انجام شده است. برای سیستم ۳۰ باسه مکان بهینه SVC در باس ۲۸ و TCSC با توجه به اولویت در خطوط ۱-۲، ۱-۳، ۲-۴، ۳-۴، ۲-۵ قرار داده شده است.

می‌شود تا میزان توان تولیدی ژنراتورها بدست آید. و سپس این نتایج از پخش بار بهینه‌ی (OPF) عبور داده می‌شود و در واقع نقطه‌ی پایه‌ای و اساسی برای آن می‌باشد. سپس (OPF) حالات محتمل انجام می‌شود و نتیجه به صورت کلی α بدست می‌آید. شبیه سازی حالت محتمل تا آخرین احتمال در نظر گرفته شده شبیه سازی خواهد شد. اگر سرانجام یکی از حالات شبیه سازی احتمال، α بزرگتر از صفر باشد در نتیجه نقض ramp rate تولید وجود دارد. به عبارت دیگر انحراف تولید توان حداقل یکی از ژنراتورها بزرگتر از ramp rate متناظر با آن واحد است. در این مورد α, λ به عنوان فیدبک به شرایط پخش بار حالت نرمال فرستاده می‌شود در نهایت فرایند تکراری متوقف خواهد شد اگر α کلی مساوی صفر گردد، و بیانگر این است که همگرایی مورد نظر به دست آمده است.

جدول ۱: اطلاعات ژنراتور سیستم ۳۰ باسه

شماره باس	RAMP RATE	تابع هزینه	مینیمم توان اکتیو (MW)	ماکزیمم- توان اکتیو
۱	۱۰	$0.200P^2+10P$	۱۵	۸۰
۲	۱۰	$0.0175P^2+10P$	۱۵	۸۰
۲۲	۱۰	$0.025P^2+10P$	۱۰	۵۰
۲۷	۱۰	$0.0625P^2+10P$	۱۰	۵۰
۲۳	۱۰	$0.025p^2+16p$	۵	۳۰



شکل ۲: فلوجارت روش ارائه شده

۵- نتایج عددی

در این بخش نتایج عددی و بحث در مورد آن نشان داده خواهد شد. سیستم ۳۰ باسه IEEE با پنج ژنراتور به عنوان سیستم مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. اطلاعات ژنراتور در جدول (۱) نشان داده شده است. برای شبیه سازی با استفاده از [7] مکان

مسئله پخش بار بهینه همراه با قیود امنیتی به یک زیر مسئله و یک مسئله اصلی تجزیه خواهد شد. ابتدا زیر مسئله حل شده و نتایج به مسئله اصلی فیدبک شده اند تا قیود امنیتی نقض نشوند با توجه به نتایج عددی نشان داده شده است که نقض محدودیت‌های سیستم قدرت می‌تواند در شرایط عددی و شرایط احتمال حذف گردد. برای کارهای تحقیقاتی آینده اعمال روی سیستم قدرت غیرتنظیم شده می‌باشد علاوه بر این کنترل‌های تصحیح کننده حذف بار می‌تواند در فرمول بندی SCOPF در نظر گرفته شود.

جدول ۳: تولید واحدها، هزینه‌ی تولید با وجود SVC و tcsc سیستم ۳۰ باسه

موقعیت	نرمال	خط ۲-۴ و خط ۲۵-۲۷ با وجود SVC	قطع خط ۲-۴ با وجود tcsc	
واحد ۱	۴۱/۵۴	۴۶/۴۶	۴۵/۱۴	
میزان تولید واحدها	واحد ۲	۵۵/۴۰	۶۰/۷۹	۵۹/۱۴
	واحد ۳	۱۶/۲۰	۱۰	۱۸/۵۵
	واحد ۴	۲۲/۷۴	۱۹/۷۲	۱۰
	واحد ۵	۱۶/۲۷	۳۷/۸۷	۱۸/۶۳
(S/hr)	هزینه	۸۹,۵۷ ۶	۵۸۷/۴۷	۵۸۶/۲۶

مراجع

- [1] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power, Generation, Operation, and Control", John Wiley & Sons Inc, America, 2014.
- [2] John Condren, Thomas W Gendra, Parnjit Damrongkulkamjorn, "Optimal Power Flow With Expected Security Costs", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 21, No. 2, May 2006
- [3] Pablo E. Onate Yumbra, Juan M. Ramirez, Carlos A. Coello Coello, "Optimal Power Flow Subject to Security Constraints Solved with a Particle Swarm Optimization", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 23, No. 1, February 2008
- [4] Zhihong Feng, Venkataramana Ajjarapu, Dominic J. Maratukulam, "A Comprehensive Approach for Preventive and Corrective Control to Mitigate Voltage Collapse", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 15, No. 2, May 2000
- [5] R.A. Schluter, S. Liu, N. Alemadi, "Preventie and Corrective Open Access System Dispatch based on the Voltage Stability Security Assessment and Diagnosis, Electric Power Systems Research, Vol. 60, 2001
- [6] M. Shaaban, W. Li, H. Liu, Z. Yan, Y. Ni and F. Wu, "ATC calculation with steady-state security constraints using Bender decomposition", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol. 150, No 5, September 2003
- [7] R. S . Wibowo, N. Yorino, M. Eghbal, Y. Zoka, and Y. Sasaki, "Facts Devices Allocation with Control Coordination Considering Congestion Relief and Voltage Stability", IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 4, pp 2302-23 10, Nov. 2011
- [8] S. N. Singh and A. K. David, "Optimal location of FACTS devices for congestion management," Elect. Power Syst. Res., vol. 58, no. 2, pp. 71-- 79, 2001.
- [9] R. Zimmerman, C.E. Murillo-Sanchez, R.J. Thomas. "Matpower: steadystate operations, planning, and analysis tools for power systems research and education. IEEE Transactions on Power System", 2011

شبیه سازی با استفاده از نرم افزار matpower متلب انجام شده است [9]. جدول ۲ و نتایج شبیه سازی را نشان می‌دهد. در این مورد فقط به ۲ تکرار برای حل مسئله مورد نیاز است. برای حذف این نقض محدودیت‌های سیستم α, λ متناظر با مسئله پخش بار بهینه حالت نرمال فیدبک می‌شود در این مورد نتایج شبیه سازی حالت عددی $\alpha = 0$ است. بنابراین عملکرد سیستم تحت دو حالت نرمال و حالت احتمال محدودیت های سیستم را از جمله محدودیت های ولتاژ، محدودیت های انتقال و محدودیت های ژنراتور را ارضا می‌کند.

۶- نتیجه گیری

روش تجزیه بندر روشی برای حل مسئله پخش بار بهینه با قیود امنیتی با وجود ادوات FACTS در این مقاله نشان داده شده است. با تجزیه