

مکان‌یابی تجهیزات انتقال انرژی انعطاف پذیر در سیستم‌های قدرت حلقوی با حضور توربین‌های بادی و واحدهای حرارتی

مرتضی کاظمی^{۱*}، افشین لشکرآرا^۲

* ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران،
morteza.kaazemi@gmail.com

۲- استادیار گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران،
lashkarara@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱

چکیده: در این مقاله، مکان‌یابی تجهیزات سیستم انتقال انعطاف‌پذیر (FACTS) در سیستم‌های قدرت حلقوی شکل با حضور توربین‌های بادی و واحدهای حرارتی صورت پذیرفته است. تجهیزات مد نظر STATCOM و TCSC می‌باشد. استفاده از این تجهیزات می‌تواند بهره برداری سیستم را افزایش دهد. بنابراین مکانیابی این تجهیزات همراه با پخش بار بهینه مد نظر قرار گرفته است. هدف پخش بار بهینه با هدف حداقل سازی هزینه‌های ناشی از تولید توان مولدها می‌باشد. شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB پیاده سازی شده است. الگوریتم جستجوی گرانشی بمنظور حل مسئله مورد استفاده قرار گرفته است و شبکه استاندارد ۳۹ شین IEEE بمنظور پیاده سازی روش پیشنهادی بکار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: پخش بار بهینه، الگوریتم جستجوی گرانشی، توربین‌های بادی، هزینه بهره برداری

۱- مقدمه

گردید. ایده‌ای که در طرح سیستم‌های انتقال انرژی جریان متناوب انعطاف‌پذیر وجود داشت، کنترل پارامترهای سیستم انتقال در زمان حقیقی و در نتیجه تغییر سریع و تقریباً آنی سیلان توان، مطابق با وضعیت‌های ایجاد شده در سیستم بود. به این ترتیب ادوات FACTS به عنوان ابزاری برای مدیریت تراکم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این ادوات با تغییر در پارامترهای شبکه (امپدانس خط، دامنه ولتاژ و زاویه ولتاژ) به کنترل پخش توان در شبکه و کاهش توان عبوری از خطوط متراکم کمک می‌کنند.

در سال‌های اخیر، الگوهای جدید زیادی برای مسائل مختلف بهینه سازی چند برنامه ای گسترش یافته و به کار رفته اند. در [۱]، پژوهشی با عنوان "کاربرد الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای پخش بار بهینه چند هدفه با وجود ادوات TCSC" نشان دادند که الگوریتم ژنتیک چند هدفه را برای بهینه سازی هزینه تولید، آلودگی و تلفات انتقال توان اکتیو در سیستم‌های قدرت مجهز شده به سیستم‌های انتقال AC قابل انعطاف (FACTS) ارائه می‌کند.

سوخت‌های فسیلی دارای منابع محدودی هستند و از دست دادن منابع انرژی فسیلی دغدغه‌ی همیشگی برای دانشمندان و مهندسان بوده است که منجر به یافتن منابع انرژی جایگزین برای تامین نیاز انرژی شده است. بزودی استفاده از این نوع انرژی‌ها در سراسر جهان همه‌گیر خواهد شد. توجه به این نکته ضروری است که منابع جدید باید پیوسته، در دسترس، بدون آلاینده‌گی و با حداقل هزینه‌ی تولید باشند. از گزینه‌های فراوان موجود، می‌توان به انرژی بادی اشاره کرد که می‌تواند یکی از امید بخش‌ترین راه‌حل‌ها، جهت مرتفع کردن نیاز روز افزون انرژی باشد.

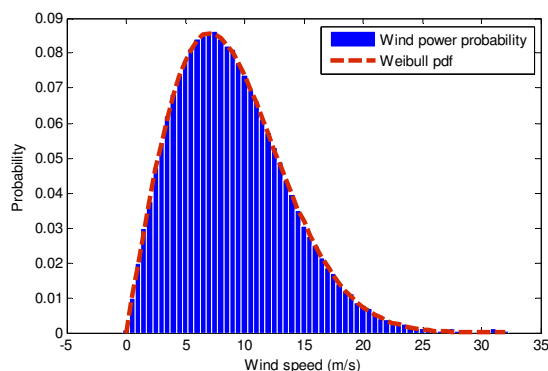
همچنین، بایبشرفت روزافزون صنعت نیمه‌هادی‌ها و استفاده از آنها در سیستم‌های قدرت، مفهوم سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS) ارائه شد. این طرح که شامل استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در سطح توان بالا، مراکز کنترل پیشرفته و نیز لینک‌های مخابراتی در سیستم‌های قدرت می‌باشد، که در سال ۱۹۹۰ در کمیته EPRI مطرح

بنابراین، در ادامه ابتدا مدل‌سازی سیستم بیان شده است، در این قسمت مدل‌سازی مربوط به سیستم‌های تولید توان بادی و همچنین عدم قطعیت مربوط به آن، تابع هدف و همچنین قیود مربوطه گزارش شده است. روش حل مسئله در قسمت سوم و شبکه تحت مطالعه در قسمت ۴ تشریح گردیده است. بخش پنجم شامل نتایج در سناریوهای متفاوت است و سرانجام نتیجه گیری مقاله در بخش ۶ آمده است.

۲- مدل‌سازی

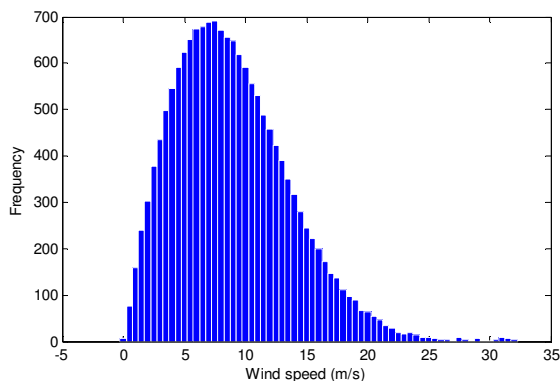
• مدل‌سازی توربین بادی

توزیع احتمالی سرعت باد یک مشخصه مهم برای ارزیابی پتانسیل انرژی بادی، برنامه‌ریزی سیستم‌های تبدیل انرژی بادی، طراحی، تحلیل ساختاری و زیست محیطی می‌باشد. در این مقاله از توزیع ویبل با مقادیر $c=10$ و $b=2$ برای تخمین وزش باد استفاده شده است. شکل زیر این امر را نشان می‌دهد:



شکل (۱): احتمال سرعت وزش باد و تابع توزیع احتمال ویبل

با در نظر گرفتن مقدار ۸۰۰۰ نمونه از سرعت باد، منحنی فراوانی سرعت‌های مختلف باد بصورت شکل زیر نشان داده خواهد شد:



شکل (۲): فراوانی سرعت‌ها مختلف باد با در نظر گرفتن ۸۰۰۰ نمونه

در مطالعه [۲]، روش جدیدی بر اساس الگوریتم‌های ابتکاری جدید، برای مکان یابی و مدل‌سازی قابل انعطاف چند نوعی که ادوات (سری و موازی) سیستم انتقال جریان (FACTS) را به منظور بهبود قابلیت انتقال کل و کاهش تراکم خط و اتلاف قدرت کل تغییر می‌دهد، استفاده می‌شود. چند نوع ادوات FACTS، از جمله جبران گر سری های استاتیک سنکرون، جبران گر استاتیک، کنترل کننده جریان قدرت یکپارچه به صورت بهینه برآورد شده و به طور همزمان، از طریق الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA) مکان یابی شده است.

در [۳]، تخصیص بهینه SVC و TCSC برای افزایش ثبات ولتاژ و کاهش تلفات سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک باینری ترکیبی و بهینه سازی ازدحام ذرات ارائه شده است.

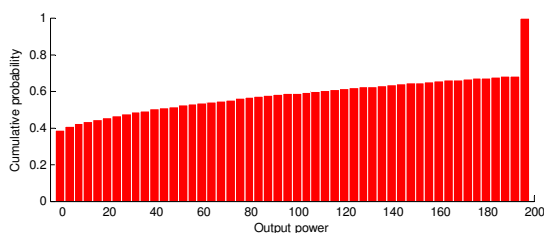
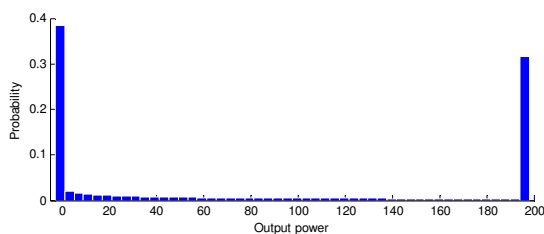
در [۴]، مطالعه ای نشان دادند که جایابی بهینه این عناصر در یک شبکه قدرت از تنظیم خارج شده باعث بهبود قابلیت و امنیت سیستم خواهد شد. الگوریتم‌های هوشمند و جستجوی ابتکاری مشابه بهینه سازی گروه زنبورها برای یافتن مکان مناسب این عناصر استفاده شده است.

در [۵]، مطالعه ای با عنوان "حل جریان قدرت بهینه با ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم گروه میگوهای جدید نقطه مقابل" نشان دادند که الگوریتم گروه میگوها (KHA) یک رویکرد فرا ابتکاری جدید است که تحت تأثیر رفتار گروهی و ازدحام میگوها در جستجو برای مواد غذایی و یا ارتباط با یکدیگر قرار گرفته است.

در [۶]، مطالعه ای با عنوان "افزایش قابلیت بارگیری با ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی"، GSA (الگوریتم جستجوی گرانشی) مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی برای تخصیص بهینه ادوات FACTS در سیستم انتقال اعمال شده است.

هدف از این تحقیق مکانیابی و ظرفیت یابی تجهیزات FACTS با رویکرد پخش بار بهینه در شبکه های برق قدرت رینگی شکل با حضور توربین های بادی توسط الگوریتم هوشمند جستجوی گرانشی می‌باشد. در تحقیق پیش رو با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی با پخش بار بهینه شبکه های قدرت در حضور توربین های بادی به مکانیابی و ظرفیت یابی تجهیزات FACTS از قبیل STATCOM و TCSC خواهد پرداخت.

با اعمال داده‌های باد در نظر گرفته شده به رابطه‌ی (۱) می‌توان توان خروجی توربین - ژنراتور بادی را بدست آورد و با انجام تحلیل‌های آماری، احتمال تولید مقادیر مختلف توان را برای آن می‌توان بصورت بدست آورد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین احتمالات مربوط به مقدار توان خروجی نامی و توان خروجی صفر می‌باشد و علت این امر ماهیت و شدت‌های وزش باد است.



شکل (۴): احتمال تولید توان در توربین - ژنراتورهای بادی

• تابع هدف

تابع هدف بهینه‌سازی در این مقاله مساله پخش بار بهینه یا حداقل سازی هزینه‌های ناشی از تولید توان ژنراتورها می‌باشد. تابع هدف بهینه‌سازی در رابطه زیر آورده شده‌است.

$$Fitness = \sum_{i=1}^N Cost_{th}(P_i) + Cost_w(P_w) \quad (5)$$

که $Cost_{th}$ بصورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$Cost_{th}(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (6)$$

با توجه به عدم قطعیت سرعت باد، توان در نظر گرفته شده توسط دیسپاچینگ که قرار است از مزرعه بادی گرفته شود ممکن است کمتر یا بیشتر از توان خروجی آن باشد. برای حالتی که توان تولیدی مزرعه بادی کمتر از توان درخواستی باشد، می‌بایستی توان باقیمانده از طریق سایر ژنراتورها یا حذف بار تامین شود. در صورتی که توان تولیدی توسط مزرعه بادی بیشتر از توان درخواستی باشد، باید آن را مجبور به کاهش توان نمود. هر دوی این موارد مستلزم هزینه می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$C_L = k_L P_r (P_w < P_{sch}) \times [P_{sch} - E_{(P_w < P_{sch})}(P_w)] \quad (7)$$

$$C_H = k_H P_r (P_w > P_{sch}) \times [E_{(P_w > P_{sch})}(P_w) - P_{sch}] \quad (8)$$

توان خروجی واحدهای بادی با سرعت متغیر، که معمولاً سیستم الکتریکی آن‌ها بصورت DFIG می‌باشد، بدین صورت است که برای سرعت‌های کمتر از سرعت حداقل در نظر گرفته شده (V_{Ci}) توربین توانی تولید نمی‌کند، برای سرعت‌های بین V_{Ci} و حداقل سرعت برای تولید توان نامی (V_r) به وسیله‌ی تقریب درجه دو توان خروجی بدست می‌آید. توان نامی توربین برای سرعت‌های مابین V_r و حداکثر سرعت برای تولید توان (V_{Co}) بدست می‌آید. سیستم کنترلی توربین برای سرعت‌های باد بیشتر از V_{Co} بنا به دلایل احتمال شکستن روتور، باعث می‌شود که توربین بادی هیچ توان تولید نکند و آزادانه بچرخد. رابطه زیر این امر را نشان می‌دهد:

$$P_w = \begin{cases} 0 & V < V_{Ci} \\ A + B \times V + C \times V^2 & V_{Ci} < V < V_r \\ P_r & V_r < V < V_{Co} \\ 0 & V > V_{Co} \end{cases} \quad (1)$$

که داریم:

V : سرعت باد، V_{Ci} : حداقل سرعت باد برای تولید برق، V_r : سرعت باد برای ایجاد توان نامی، V_{Co} : حداکثر سرعت مجاز باد برای تولید توان،

P_w : توان خروجی توربین بادی

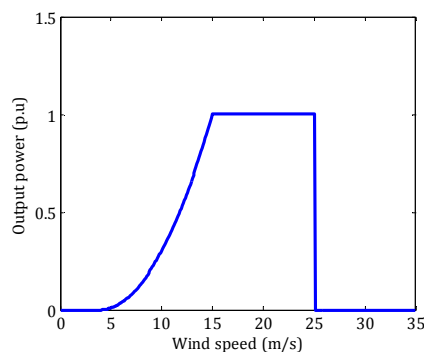
مقادیر ثابت A ، B و C به صورت روابط (۲) الی (۴) به دست می‌آیند:

$$A = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2} \left\{ V_{Ci}(V_{Ci} + V_r) - 4V_{Ci}V_r \left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r} \right]^3 \right\} \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2} \left\{ 4(V_{Ci} + V_r) \left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r} \right]^3 - (3V_{Ci} + V_r) \right\} \quad (3)$$

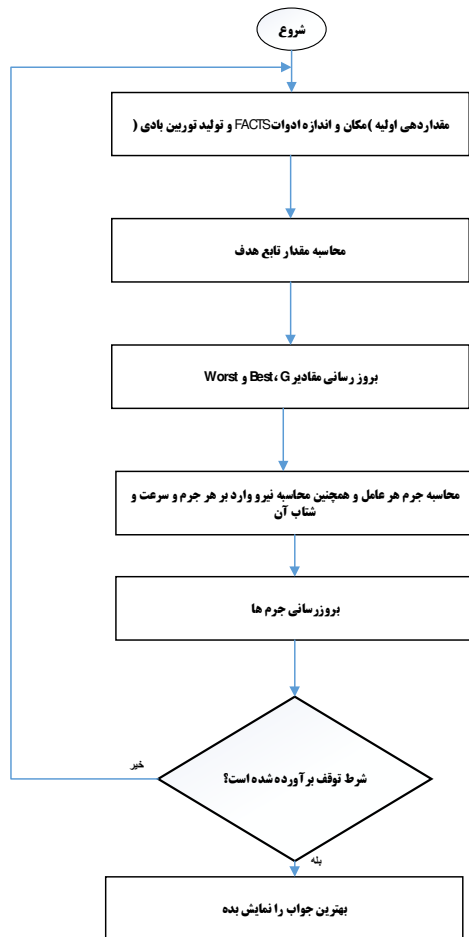
$$C = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2} \left\{ 2 - 4 \left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r} \right]^3 \right\} \quad (4)$$

نمودار تابع توان خروجی واحد بادی برای یک نمونه که در این مقاله استفاده شده در شکل زیر آمده‌است. در این توربین بادی، حداقل سرعت باد برای تولید برق 4 m/s، سرعت باد برای ایجاد توان نامی 15 m/s، حداکثر سرعت مجاز باد برای تولید توان 25 m/s می‌باشد.



شکل (۳): نمودار توان خروجی توربین - ژنراتور بادی بر حسب سرعت وزش باد

- ۴- به روز رسانی مقادیر $worst, best, G$
 - ۵- محاسبه جرم هر عامل (M).
 - ۶- محاسبه نیروی وارد بر هر جسم.
 - ۷- محاسبه شتاب و سرعت هر جسم.
 - ۸- به روز رسانی موقعیت اجسام.
 - ۹- در صورتی که شرط توقف برآورده نشده، به مرحله ۳ بر می گردیم. در غیر اینصورت بهترین جواب دیده شده تاکنون به خروجی داده شده و الگوریتم متوقف می شود.
- شکل زیر بیانگر فلوچارت حل مسئله می باشد.



شکل (۵): فلوچارت الگوریتم حل مسئله

۴- شبکه تحت مطالعه

در این مقاله به منظور مطالعه مد نظر از شبکه استاندارد ۳۹ شین IEEE استفاده شده است. شمای این شبکه در شکل ۶ مشخص شده است. این شبکه شامل ۱۰ ژنراتور است و همچنین دو سطح ولتاژ ۲۳۰ و ۱۳۸ کیلوولت در آن حضور دارد. ضرایب مربوط به تابع هزینه در این مقاله یعنی ضرایب a, b و c برای ژنراتورهای به صورت جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

$$Cost_w(P_w) = C_L + C_H \quad (9)$$

که در این روابط P_w توان تولیدی نیروگاه بادی، P_{sch} توان درخواستی از طرف دیسپاچینگ، E امید ریاضی و k_L و k_H ضرایب هزینه می باشند که هر کدام برابر با $0.1 \$/h$ در نظر گرفته شده اند.

برای این تابع هدف قیود زیر در نظر گرفته شده است:

$$P_{gi} - P_{di} - \sum_{j=1}^N V_i V_j Y_{ij}(x_{TCSC}) \cos(\delta_{ij} - \gamma_j - \gamma_i) = 0 \quad (10)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - \sum_{j=1}^N V_i V_j Y_{ij}(x_{TCSC}) \sin(\delta_{ij} + \gamma_j - \gamma_i) = 0 \quad (11)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (12)$$

$$\delta_i^{min} \leq \delta_i \leq \delta_i^{max} \quad (13)$$

$$I^{line} \leq I^{max} \quad (14)$$

$$X^{min} \leq X^{comp} \leq X^{max} \quad (15)$$

در روابط فوق P_{gi} و Q_{gi} به ترتیب توان های اکتیو و راکتیو تولیدی در شین i ام هستند. P_{di} و Q_{di} نیز توان های اکتیو و راکتیو مصرفی در شین i ام هستند، V_i ولتاژ شین شماره i و δ_i زاویه آن است. X^{comp} مقدار متغیر مربوط به STATCOM یا TCSC است که بایستی مابین مقدار حداقل و حداکثر آن قرار بگیرد.

در این مقاله، STATCOM بصورت یک باس PV که به مقدار مورد نیاز به شبکه جریان راکتیو تزریق می کند یا می گیرد که ولتاژ باس ثابت بماند مدل سازی شده است. برای مدل سازی TCSC از یک امپدانس که با امپدانس خط سری می شود استفاده شده است. برای هر کدام از ادوات STATCOM و TCSC مقادیر بدست آمده باید در رابطه (۱۵) صدق نماید.

۳- الگوریتم جستجوی گرانشی

در الگوریتم جستجوی گرانشی یا GSA بهینه یابی به کمک طرح قوانین گرانشی و حرکت در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می شود [۷]. محیط سیستم همان محدوده تعریف مسئله است. طبق قانون گرانش، هر جرم، محل و وضعیت سایر اجرام را از طریق قانون جاذبه گرانشی درک می کند. بنابراین می توان از این نیرو به عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از بهینه یاب طراحی شده برای حل هر مسئله بهینه سازی که در آن هر جواب مسئله به صورت یک موقعیت در فضا قابل تعریف و میزان شباهت آن با سایر جوابهای مسئله به صورت یک فاصله قابل بیان باشد، می توان استفاده کرد. میزان اجرام با توجه به تابع هدف تعیین می شوند. شبه کد الگوریتم جستجوی گرانشی به صورت زیر است:

۱- تعیین محیط سیستم و مقدار دهی اولیه.

۲- جایابی اولیه اجسام.

۳- ارزیابی اجسام.

در شکل های (۷) و (۸) به ترتیب مقادیر ولتاژ باس ها در دو حالت با حضور ادوات FACTS و پخش بار بهینه و بدون آن ها آورده شده- است.

همانطور که مشاهده می گردد قرارگیری بهینه ادوات FACTS و پخش بار بهینه باعث شده که ولتاژها و جریان ها در شبکه بهبود یابند.

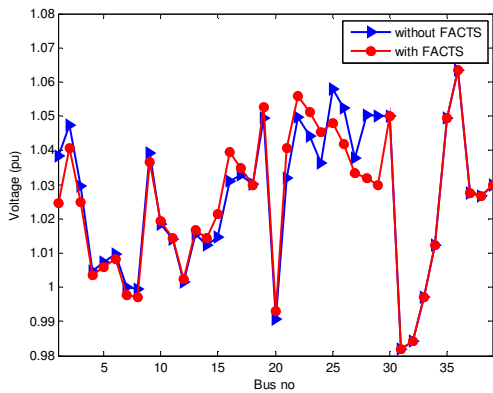
جدول (۲): مکان بهینه STATCOM و TCSC و مقدار تنظیمی

آن ها		
STATCOM	Bus	۲۹
	Q (MVar)	-۸/۵۸
TCSC	Line	۲۶
	X (pu)	۰/۵

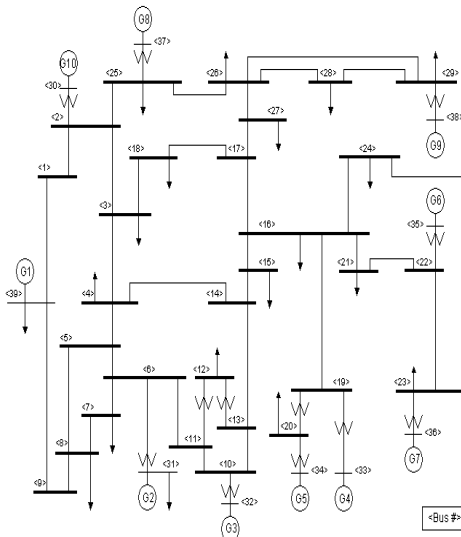
جدول (۳): مقدار توان برنامه ریزی شده برای واحدهای حرارتی و

مزرعه بادی

Gen	Power (MW)
P1	۹۸۷/۹
P2	۴۸/۸
P3	۴۱۶/۳
P4	۶۵۱/۳
P5	۳۰۱/۷
P6	۵۳۷/۳
P7	۳۸۶/۳
P8	۳۵۳/
P9	۵۸۷/۹
P10	۵۶۱/۴
Pw	۱۹۹/۹



شکل (۷): پروفیل ولتاژ شین های شبکه



شکل (۶): دیاگرام تک خطی شبکه ۳۹ شین IEEE

جدول (۱): ضرایب تابع هزینه ژنراتورها [۶]

Gen no.	a (\$/MW ² h)	b (\$/MWh)	c (\$/h)
۱	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۹
۲	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۱۶
۳	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۲۴
۴	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۲۳
۵	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۲۳
۶	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۲۵
۷	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۴۵
۸	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۵۴
۹	۰/۰۱	۰/۳۹	۰/۳۲
۱۰	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۴۶

۵- مکان یابی ادوات FACTS

در این بخش از مقاله مکان یابی ادوات FACTS از نوع STATCOM و TCSC در سه حالت کم باری (۷۰ درصد بار نرمال)، بار نرمال و پر باری (۱۱۵ درصد بار نرمال) شبکه انجام شده است.

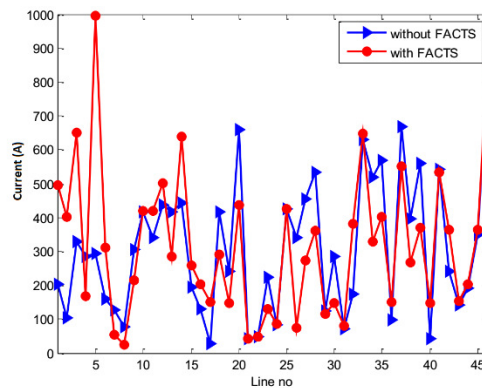
• بار نرمال

مکان بهینه STATCOM و TCSC توسط روش بهینه سازی پیشنهادی در جدول (۲) و توان بهینه تولیدی واحدهای حرارتی و توان درخواستی از واحد بادی در جدول (۳) آورده شده است.

به محلی که در آن قرار گرفته پائین بیاید تا از اضافه‌ولتاژ در شبکه جلوگیری گردد. در شکل (۱۰) جریان خطوط نشان داده شده و مشاهده می‌گردد که TCSC باعث شده که جریان خطوط نزدیک به آن متعادل‌تر گردد.

• پرباری

مکان و مقادیر بهینه TCSC و STATCOM در جدول (۶) آورده شده و مشاهده می‌گردد با توجه به اضافه‌بار شبکه این مقادیر بصورت تزریق توان راکتیو و کاهش امپدانس خط می‌باشند. با توجه به پروفیل ولتاژبازها و جریان خطوط به علت اضافه بار شبکه مقادیر ولتاژ کاهش یافته و جریان خطوط نیز افزایش پیدا کرده‌است. در این حالت توان درخواستی از مزرعه بادی حداکثر مقدار ممکن است که به مقدار ۲ درصد از کل توان تولیدی می‌باشد شکل (۱۱) و شکل (۱۲) بترتیب پروفیل ولتاژ و جریان را در شرایط پرباری نشان می‌دهد.



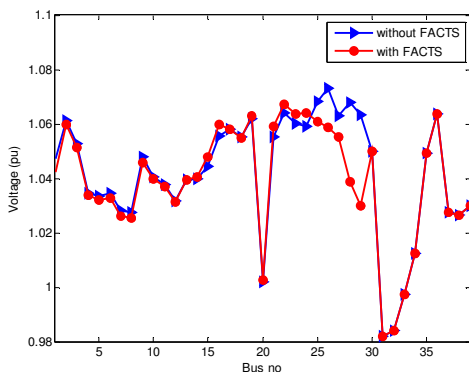
شکل (۸): جریان خطوط شبکه

• کم باری

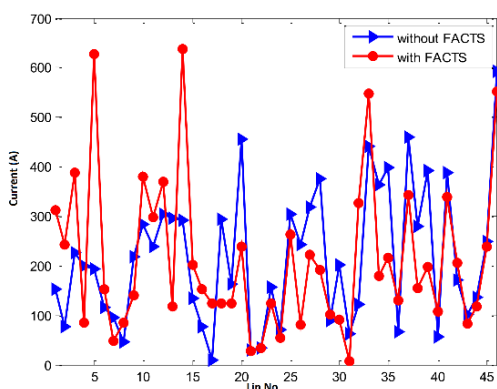
در جدول (۴) مکان بهینه STATCOM و TCSC و مقدار تنظیمی آن‌ها آورده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌گردد، به علت کم‌بار بودن شبکه و غلبه بودن حالت خازنی آن (به علت اثرات خازنی خطوط) مقدار توان راکتیو تزریقی توسط STATCOM جهت جبران‌سازی آن منفی می‌باشد. مقدار TCSC نیز در این حالت بدلیل فوق‌الذکر در راستای افزایش امپدانس خط است.

جدول (۴): مکان بهینه STATCOM و TCSC و مقدار تنظیمی آن‌ها در شرایط کم باری

STATCOM	Bus	۲۹
	Q (MVar)	-۹/۹
TCSC	Line	۲۷
	X (pu)	-۰/۲



شکل (۹): پروفیل ولتاژ شین‌های شبکه در شرایط کم باری



شکل (۱۰): جریان خطوط شبکه در شرایط کم باری

جدول (۶): مکان بهینه STATCOM و TCSC و مقدار تنظیمی آن‌ها در شرایط اضافه بار

STATCOM	Bus	۲۹
	Q (MVar)	۴۹/۹
TCSC	Line	۳۴
	X (pu)	۰/۴۳

جدول (۵): مقدار توان برنامه‌ریزی شده برای واحدهای حرارتی و مزرعه بادی در شرایط کم باری

Gen	Power (MW)
P1	۶۲۵/۲
P2	۷۴/۰
P3	۲۳۳/۳
P4	۵۵۰/۱
P5	۱۵۱/۶
P6	۳۳۵/۱
P7	۱۹۶/۵
P8	۳۳۵/۱
P9	۵۴۷/۸
P10	۴۰۷/۵
Pw	۱۹۵/۰

در شکل (۹) پروفیل ولتاژ خطوط نشان داده شده که مشاهده می‌گردد STATCOM باعث شده که ولتاژبازهای نزدیک

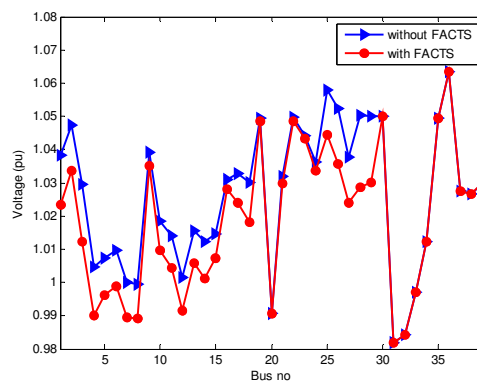
جدول (۷): مقدار توان برنامه‌ریزی شده برای واحدهای حرارتی و مزرعه بادی در شرایط اضافه بار

Gen	Power (MW)
P1	۱۰۴۰/۰
P2	۶۸/۲
P3	۵۵۶/۳
P4	۶۵۲/۰
P5	۴۱۵/۷
P6	۶۸۶/۹
P7	۵۲۲/۷
P8	۵۶۳/۹
P9	۸۶۴/۹
P10	۸۱۷/۰
Pw	۱۹۹/۹

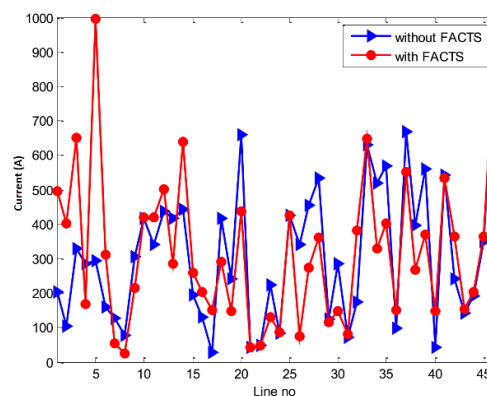
همانطور که بیان شد سوخت‌های فسیلی دارای منابع محدودی هستند و از دست دادن منابع انرژی فسیلی دغدغه‌ی همیشگی برای دانشمندان و مهندسان بوده است که منجر به یافتن منابع انرژی جایگزین برای تامین نیاز انرژی شده است. بزودی استفاده از این نوع انرژی‌ها در سراسر جهان همه‌گیر خواهد شد. توجه به این نکته ضروری است که منابع جدید باید پیوسته، در دسترس، بدون آلاینده‌گی و با حداقل هزینه‌ی تولید باشند. از گزینه‌های فراوان موجود، می‌توان به انرژی بادی اشاره کرد که می‌تواند یکی از امید بخش‌ترین راه‌حل‌ها، جهت مرتفع کردن نیاز روز افزون انرژی باشد. همچنین، با پیشرفت روزافزون صنعت نیمه هادی‌ها و استفاده از آنها در سیستم‌های قدرت، مفهوم سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS) ارائه شد. بنابراین این مقاله به بررسی یافتن بهترین مکان نصب تجهیزات FACT با پخش بار اقتصادی بهینه در سیستم‌های قدرت شامل توربین بادی و واحدهای حرارتی پرداخت.

مراجع

- [1] AbdelazizLa"ifa, AmmarMedoued, (2013), "Optimal FACTS Location to Enhance Voltage Stability Using Multi-objective Harmony Search," 2013 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, October 2-4.
- [2] K. V. Price, R. Storn, and J. Lampinen, (2005), Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization, Berlin: SpringerVerlag.
- [3] L.T. Moran P.D. ziogas and G.joos, July (2000), "Analysis and Design of a three-phase synchronous solid-state var compensator." IEEE Trans. Ind. Appl., Vol 25, No 4, pp.598-608.
- [4] M.M. El-Saadawi, S.S. Kaddah, M.G. Osman and M.N., 12-15 March (2008). Abdel-Wahab "Impact of Wind Farms on Contingent Power System Voltage Stability," Power System Conference, MEPCON 2008. 12th International Middle-East, pp.637 – 644.
- [5] Mauricio Aredes Berlin (2000), "Active Power Line Conditioners", kerkt, , 3th edition.
- [6] Milano, F, 6-9 April (2008). "Assessing Adequate Voltage Stability Analysis Tools For Networks With High Wind Power Penetration," Third International Conference on Electric Utility



شکل (۱۱): پروفیل ولتاژ شین‌های شبکه در شرایط اضافه بار



شکل (۱۲): جریان خطوط شبکه در شرایط اضافه بار

Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008, pp. 2492-2497.
[7]Rashedi, Esmat, HosseinNezamabadi-Pour, and SaeidSaryazdi. "GSA: a gravitational search algorithm." *Information sciences* 179.13 (2009): 2232-2248.

رزومه

مرتضی کاظمی در بهبهان



متولد شده است (۱۳۷۰).

تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۷)

سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است.

افشین لشکرآرا در تهران



متولد شده است (۱۳۵۲).

تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی، کارشناسی‌ارشد و دکتری، در

سال‌های (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹)، به ترتیب از دانشگاه دزفول، 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 آمریکا (IEEE Senior Member)، و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان شبکه‌های هوشمند، بهینه‌سازی سیستم‌های قدرت، مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

The location of the FACTS devices in ring power systems with the presence of wind turbines and thermal units

M. Kazemi ^{*1}, A. Lashkar Ara

^{*1}Electrical Engineering Student, Engineering Department, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, morteza.kaazemi@gmail.com

²Assistant Professor of Electrical Engineering, Engineering Department, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, lashkarara@iust.ac.ir

Abstract:

In this paper, the location of the FACTS system in ring power systems with the presence of wind turbines and thermal units has been made. Equipment required by STATCOM and TCSC. Using this equipment can increase the operation of the system. Therefore, the location of this equipment is considered with optimal load distribution. The purpose of optimal load distribution is to minimize the cost of generating power generation. Simulation is implemented by MATLAB software. The gravitational search algorithm has been used to solve the problem and the IEEE 39-channel network has been used to implement the proposed method.

Key words: Optimal load distribution, Gravitational search algorithm, Wind turbines, Cost of operation