# 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 کارشناسی‌ارشد گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران،
morteza.kaazemi@gmail.com
۲- استادیارگروه 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 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، توربین های بادی، هزینه بهره برداری**

## ۱- مقدمه

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 آلایندگی 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، باپیشرفت 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، مراکزکنترل پیشرفته و نیز لینک‌های مخابراتی درسیستم‌های قدرت می‌باشد، که در سال ۱۹۹۰ درکمیته EPRI مطرح 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 درسیستم 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 ازخطوط متراکم کمک می‌کنند.

در سال های 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 سیستم های قدرت مجهز شده به سیستم های انتقال AC قابل انعطاف (FACTS) ارائه می کند.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

در مطالعه [۲]، روش جدیدی بر اساس الگوریتم های ابتکاری جدید، برای مکان یابی و مدل سازی قابل انعطاف چند نوعی که ادوات (سری و موازی) سیستم انتقال جریان (FACTS) را به منظور بهبود قابلیّت انتقال کل و کاهش تراکم خط و اتلاف قدرت کل تغییر می دهد، استفاده می شود. 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 قابلیّت و امنیّت سیستم خواهد شد. الگوریتم های 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.

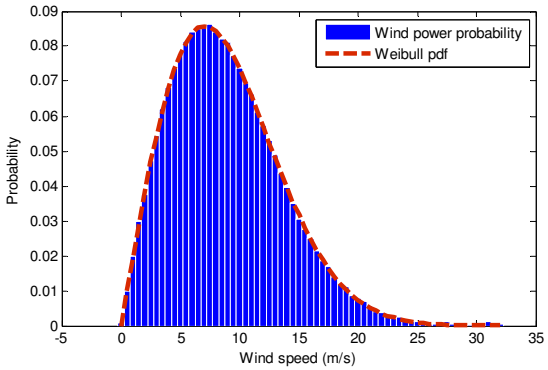
هدف از این تحقیق مکانیابی و ظرفیت یابی تجهیزات FACTS با رویکرد پخش بار بهینه در شبکه های برق قدرت رینگی شکل با حضور توربین های بادی توسط الگوریتم هوشمند جستجوی گرانشی می‌باشد. در تحقیق پیش رو با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی با پخش بار بهینه شبکه های قدرت در حضور توربین های بادی به مکانیابی و ظرفیت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

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

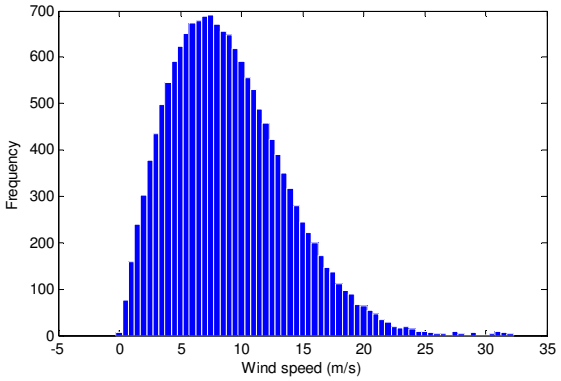
### • مدلسازی توربین بادی

توزیع احتمالی سرعت باد یک مشخصه مهم باد 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 شده‌است. شکل زیر این امر را نشان می‌دهد:




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

با درنظر 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 درنظرگرفتن ۸۰۰۰ نمونه



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

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 درنظر 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:

$$P_W = \begin{cases} 0 & V < V_{Ci} \\ A + B \times V + C \times V^2 & V_{Ci} < V < V_r \\ P_r & V_r < V < V_{Co} \\ 0 & V > V_{Co} \end{cases} \quad (۱)$$

که داریم:

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

$P_w$: توان خروجی توربین بادی

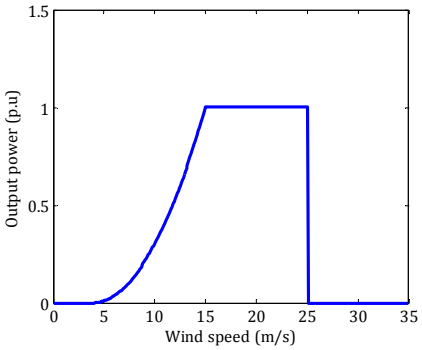
مقادیر ثابت A، B و C به صورت روابط (۲) الی (۴) به دست می آیند:

$$A = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2}\left\{V_{Ci}(V_{Ci} + V_r) - 4V_{Ci}V_r\left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r}\right]^3\right\} \quad (۲)$$

$$B = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2}\left\{4(V_{Ci} + V_r)\left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r}\right]^3 - (3V_{Ci} + V_r)\right\} \quad (۳)$$

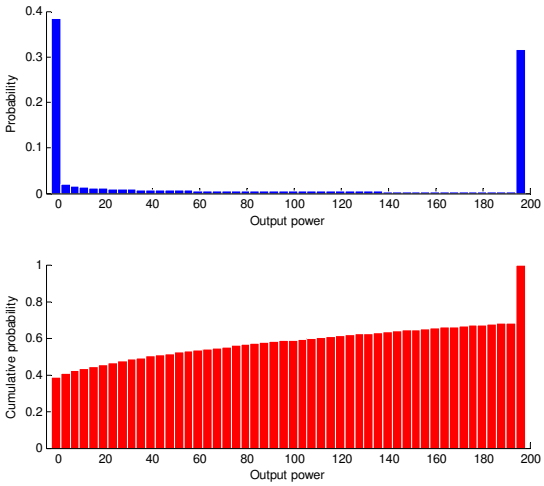
$$C = \frac{1}{(V_{Ci} - V_r)^2}\left\{2 - 4\left[\frac{(V_{Ci} + V_r)}{2V_r}\right]^3\right\} \quad (۴)$$

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 نامی15 m/s، حداکثرسرعت مجاز باد برای تولید توان 25 m/s می‌باشد.




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

با اعمال داده‌های باد در نظر گرفته شده به رابطه‌ی (۱) می-توان توان خروجی توربین- ژنراتور بادی را بدست آورد و با انجام تحلیل‌های آماری، احتمال تولید مقادیر مختلف توان را برای آن می‌توان بصورت بدست‌آورد. همانطور که مشاهده می-شود، 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.

$$\boldsymbol{Fitness} = \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{Cost_{th}(P_i) + Cost_w(P_w)} \quad (۵)$$

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

$$\boldsymbol{Cost_{th}(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i} \quad (۶)$$

با توجه به عدم قطعیت سرعت باد، توان درنظر 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 حدف 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:

$$\boldsymbol{C_L = k_L P_r(P_w < P_{sch}) \times [P_{sch} - E_{(P_w<P_{sch})}(P_w)]} \quad (۷)$$

$$\boldsymbol{C_H = k_H P_r(P_w > P_{sch}) \times [E_{(P_w<P_{sch})}(P_w) - P_{sch}]} \quad (۸)$$



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

$$Cost_w(P_w) = C_L + C_H \quad (۹)$$

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 می‌باشند که هر کدام برابر با ۰/۰۱ $/h درنظر گرفته شده‌اند.

برای این تابع هدف قیود زیر درنظر گرفته شده‌است:

$$P_{gi} - P_{di} - \sum_{j=1}^{N} V_i V_j Y_{ij}(x_{TCSC}) cos\left(\delta_{ij} - \gamma_j - \gamma_i\right) = 0 \quad (۱۰)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - \sum_{j=1}^{N} V_i V_j Y_{ij}(x_{TCSC}) sin\left(\delta_{ij} + \gamma_j - \gamma_i\right) = 0 \quad (۱۱)$$

$$V_i^{min} \le V_i \le V_i^{max} \quad (۱۲)$$

$$\delta_i^{min} \le \delta_i \le \delta_i^{max} \quad (۱۳)$$

$$I^{Line} \le I^{max} \quad (۱۴)$$

$$X^{min} \le X^{comp} \le X^{max} \quad (۱۵)$$

در روابط فوق $P_{gi}$ و$Q_{gi}$ به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی در شین i ام هستند. $P_{di}$ و$Q_{di}$ نیز توان‌های اکتیو و راکتیو مصرفی در شین i ام هستند، $V_i$ ولتاژ شین شماره i و $\delta_i$ زاویه آن است. $X^{comp}$ مقدار متغیر مربوط به STATCOMیا TCSCاست 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 می‌کند یا می‌گیرد که ولتاژ باس ثابت بماند مدلسازی شده‌است. برای مدلسازی TCSC از یک امپدانس که با امپدانس خط سری می‌شود استفاده شده‌است. برای هر کدام از ادوات STATCOM و TCSC مقادیر بدست آمده باید در رابطه (۱۵) صدق نماید.

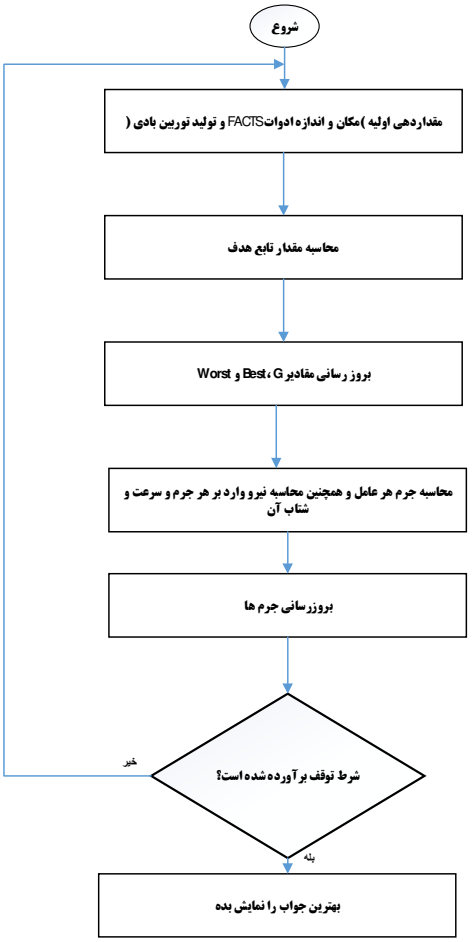
## ۳- الگوریتم جستجوی گرانشی

در الگوریتم جستجوی گرانشی یا GSA بهینه‌یابی به کمک طرح قوانین گرانشی و حرکت در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می‌شود[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 می‌کند. بنابراین می‌توان از این نیرو به عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از بهینه یاب طراحی شده برای حل هر مسئله بهینه‌سازی 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، می‌توان استفاده کرد. میزان اجرام با توجه به تابع هدف تعیین می‌شوند.

شبه کد الگوریتم جستجوی گرانشی به‌صورت زیر است:

۱- تعیین محیط سیستم و مقدار دهی اولیه.
۲- جایابی اولیه اجسام.
۳- ارزیابی اجسام.
۴- به روز رسانی مقادیر $G$ ،$best$ ،$worst$
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 می‌گردیم. در غیر اینصورت بهترین جواب دیده شده تاکنون به خروجی داده شده و الگوریتم متوقف می‌شود.

شکل زیر بیانگر فلوچارت حل مسئله می‌باشد.




شکل (۵): فلوچارت الگوریتم حل مسئله

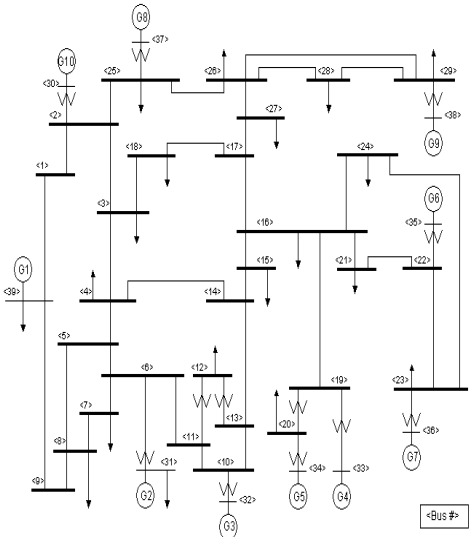
## ۴- شبکه تحت مطالعه

در این مقاله به‌منظور 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 به‌صورت جدول ۱ در نظر گرفته شده است.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]




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- مکان‌یابی ادوات FACTS

در این بخش از مقاله مکان‌یابی ادوات FACTS از نوع STATCOM و TCSC در سه حالت کم‌باری (۷۰درصد بار نرمال)، بار نرمال و پرباری (۱۱۵درصد بار نرمال) شبکه انجام شده‌است.

- **بار نرمال**

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

در شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب مقادیر ولتاژ باس‌ها در دو حالت با حضور ادوات FACTS و پخش بار بهینه و بدون آن‌ها آورده شده-است.

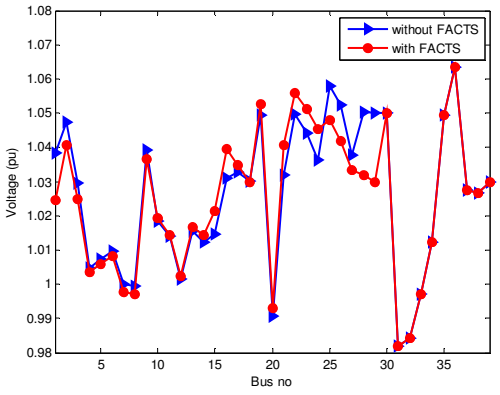
همانطور که مشاهد می‌گردد قرارگیری بهینه ادوات FACTS و پخش بار بهینه باعث شده که ولتاژها و جریان‌ها در شبکه بهبود یابند.

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

| | | |
|---|---|---|
| STATCOM | Bus | ۲۹ |
| | Q (MVAr) | -۸/۵۸ |
| TCSC | Line | ۲۶ |
| | X (pu) | ۰/۵ |

جدول (۳): مقدار توان برنامه‌ریزی 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 |



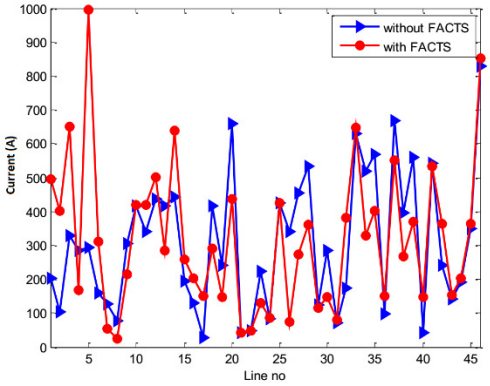

شکل (۷): پروفیل ولتاژ شین های شبکه



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]




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) مقدارتوان راکتیو تزریقی توسط STATCOM جهت جبرانسازی آن منفی می‌باشد. مقدار TCSCنیز 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 |

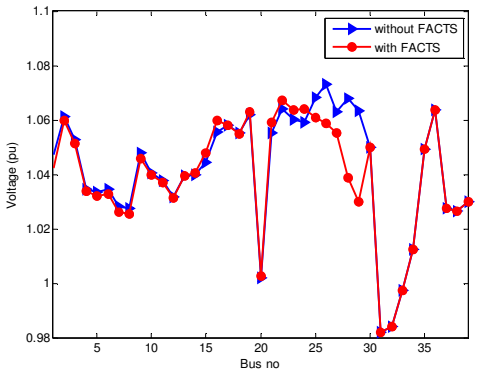
جدول (۵): مقدار توان برنامه‌ریزی شده برای واحدهای حرارتی و مزرعه بادی در شرایط کم باری

| 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 |

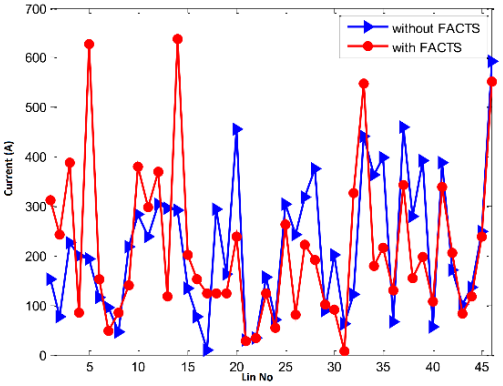
در شکل (۹) پروفیل ولتاژ خطوط نشان داده شده که مشاهده می‌گردد STATCOM باعث شده که و ولتاژ باس‌های نزدیک به محلی که در آن قرار گرفته پائین بیاید تا از اضافه‌ولتاژ در شبکه جلوگیری گردد. در شکل (۱۰) جریان خطوط نشان داده شده و مشاهده می‌گردد که TCSC باعث شده که جریان خطوط نزدیک به آن متعادل‌تر گردد.

- **پرباری**

مکان و مقادیر بهینه TCSC و STATCOM در جدول (۶) آورده شده و مشاهد می‌گردد با توجه به اضافه‌بار شبکه این مقادیر بصورت تزریق توان راکتیو و کاهش امپدانس خط می‌باشند. با توجه به پروفیل ولتاژباس‌ها 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 ۲درصد از کل توان تولیدی می‌باشد شکل (۱۱) و شکل (۱۲) بترتیب پروفیل ولتاژ و جریان را در شرایط پرباری نشان می‌دهد.




شکل (۹): پروفیل ولتاژ شین های 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 |



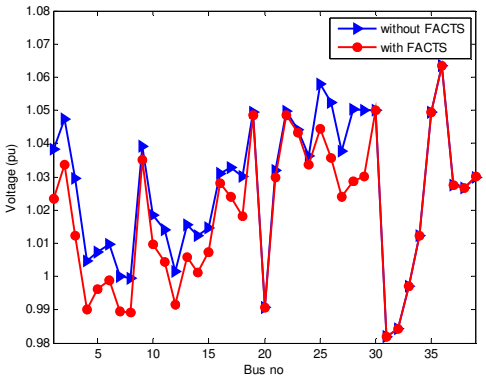
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

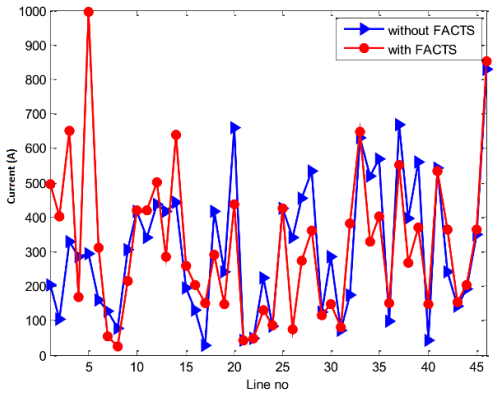
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

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 |




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




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

## ۶- نتیجه‌گیری

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 آلایندگی 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، باپیشرفت 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 تجیزات FACT با پخش بار اقتصادی بهینه در سیستم های 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



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

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)، به‌ترتیب 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 برق‌و الکترونیک آمریکا (IEEE Senior Member)، و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان شبکه‌های هوشمند، بهینه سازی 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.



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]

# 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

[2]Assistant 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

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14 ]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 5 -No. 1- spring & summer 2016

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1395.5.1.6.6 ]