

## تأثیر مدل سازی جبران کننده توان راکتیو استاتیکی بر ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت

سیاوش عباسی<sup>۱\*</sup>، غضنفر شاهقلیان<sup>۲\*</sup>، مجید معظمی<sup>۳\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

\*۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران، shahgholian@iaun.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران، m\_moazzami@pel.iaun.ac.ir

۴- مرکز تحقیقات ریزشبکه های هوشمند، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲

**چکیده:** یکی از موارد مهم مورد نیاز برای کارکرد درست سیستم قدرت در شرایط طبیعی و شرایط بحرانی، ذخیره کافی توان راکتیو است. طراحی و کاربرد تجهیزات توان راکتیو نقش بسیار مهمی در حفظ عملکرد بهینه قابلیت اطمینان سیستم های قدرت دارند. با رشد روز افزون کاربرد جبران کننده های استاتیکی در سیستم های انرژی، بررسی تأثیر آن ها بر شاخص های عملکرد سیستم به مراتب از اهمیت زیادی برخوردار شده است. در این مقاله نقش اجزای مختلف یک جبران کننده وار استاتیکی (SVC) بررسی شده و ایجاد یک مدل ارزیابی برای بررسی عملکرد SVC اشاره خواهد شد. سپس با به کارگیری شاخص های مناسب به علت کمبود توان اکتیو و راکتیو مانند انرژی مورد انتظار تامین نشده (EENS)، وار مورد انتظار تامین نشده (EVNS) و قطع بار اکتیو (ELC) تعریف شده اند و میزان تأثیر SVC بر ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم قدرت بررسی شده است. نتایج این مطالعه برای مدیریت SVC ها به عنوان یکی از اجزای مهم منابع ذخیره توان راکتیو و همچنین طراحی دقیق تر سیستم های قدرت و سیستم های کنترلی ساخت SVC به کار برده می شود.

**واژه های کلیدی:** توان راکتیو، جبران سازهای استاتیکی توان راکتیو، قابلیت اطمینان، شاخص های ارزیابی، مدل مارکوف

### ۱- مقدمه

با گسترش سیستم های قدرت، نیاز به تولید و انتقال انرژی الکتریکی رو به افزایش است [۱،۲]، بنابراین علاوه بر پیشرفت های انجام شده در زمینه تولید برق مانند استفاده از انرژی های نو، آب و انرژی هسته ای، نیاز به گسترش شبکه های قدرت و بهره وری بهتر با بازدهی بالاتر از آنها افزایش یافته است [۳،۴].

استفاده از جبران کننده های توان راکتیو مانند راکتورها، بانک های خازنی سری و موازی، ترانسفورماتورهای تغییردهنده فاز و نیز تنظیم کننده های ولتاژ به منظور کاهش راکتانس خط، کاهش تغییرات ولتاژ،

کنترل عبور توان در حالت دائمی، بهبود وضعیت های دینامیکی سیگنال کوچک گسترش پیدا کرد [۵،۶].

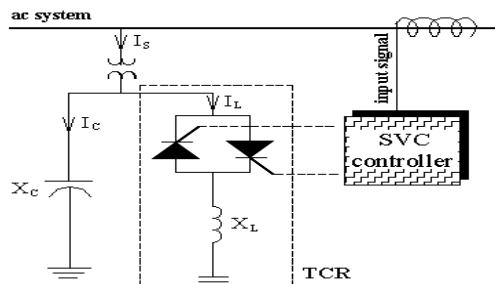
ساختار سیستم قدرت بر بسیاری از مشخصات مانند هزینه پروژه، استحکام، تاب آوری، قابلیت اطمینان، قابلیت پذیری، کنترل پذیری و سلسله مراتب سیستم تأثیر می گذارد [۷،۸].

پیشرفت سریع الکترونیک قدرت و ساخت نیمه هادی های توان زیاد امکانات شگفت انگیزی برای توسعه تجهیزات جدید در زمینه جبران سازهای سیستم قدرت فراهم آورده است [۹،۱۰]. تاکنون ادوات کنترلی فراوانی تحت عنوان فناوری سیستم های انتقال انعطاف پذیر

روش‌های پیشنهاد شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نتایج آن که شامل شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان مبتنی بر کمبود توان اکتیو و راکتیو می‌باشند در قسمت پنجم نشان داده شده است.

## ۲- مدل قابلیت اطمینان جبران کننده وار استاتیکی

جبران کننده وار استاتیکی دارای دو ساختار عمده است که عبارتند از [۳۲] (الف) ساختار FC و TCR به نام FC-TCR [۳۳] و (ب) ساختار TSC و TCR به نام TCR-TSC [۳۴]. در این مقاله از ساختار اول نشان داده شده در شکل (۱) استفاده شده است. اجزای اصلی ساختار FC-TCR عبارتند از: ظرفیت ثابت خازن (FC)، فیلترهای ac (ACF)، راکتور (XL)، کلیدهای تریستوری (ThV)، سیستم خنک کننده سوئیچ تریستوری (ThVCS) و سیستم کنترل SVC (SVCCS).



شکل (۱): سیستم FC-TCR

در مدل مارکوف اجزای هر سیستم در فضای دو حالتی مورد بررسی قرار می‌گیرند که هر جزء دارای یک حالت سرویس کامل یا عملکرد و حالت دوم آن خرابی است که پارامتر  $\lambda$  نرخ خرابی و  $\mu$  نرخ تعمیرات را نشان می‌دهند [۳۵]. فرض شده که تمامی اجزا تنها دو حالت عملکرد سرویس و خارج از سرویس را دارند. شکل (۲) نشان‌دهنده وضعیت FC-TCR در مدل مارکوف است.

با توجه به مدل مارکوف شش حالت مختلف برای عملکرد ارزیابی قابلیت اطمینان SVC وجود دارد که عبارتند از [۳۶، ۳۷]: وضعیت خرابی ACF، وضعیت خرابی FC، وضعیت خرابی TCRM، وضعیت خرابی همزمان ACF و FC، وضعیت خرابی همزمان TCRM و FC و وضعیت خرابی همزمان FC و TCRM.

## ۳- سیستم مورد مطالعه

سیستم سی با سه IEEE مطابق شکل (۳) به عنوان سیستم مورد مطالعه انتخاب شده که بارهای توان اکتیو و راکتیو آن به ترتیب برابر ۲۸۳/۳ مگاوات و ۱۲۶/۲ مگاوار است.

جریان متناوب (FACTS) برای شبکه‌های انتقال و توزیع طراحی و تکمیل شده‌اند [۱۱، ۱۲]. از کاربرد ادوات FACTS می‌توان به کنترل پخش بار و حداقل کردن تلفات خطوط انتقال، افزایش پایداری دینامیکی، تقویت پایداری گذرا [۱۳، ۱۴]، قابلیت اطمینان یا امنیت [۱۵]، بهبود کیفیت توان [۱۶، ۱۷] و بهبود نمایه ولتاژ [۱۸] اشاره کرد. ادوات FACTS مبتنی بر ادوات الکترونیک قدرت متشکل از تجهیزات استاتیکی برای بهبود کنترل پذیری و توسعه ظرفیت انتقال توان در شبکه به کار می‌روند [۱۹، ۲۰].

قابلیت اعتماد<sup>۱</sup> یک سیستم قدرت بیانگر میزان اعتماد به عملکرد صحیح و مطلوب این سیستم در آینده و احتمال پاسخ‌گویی مطلوب این سیستم در سرویس‌دهی و انجام وظایف از پیش تعیین شده است [۲۱، ۲۲]. با گسترش صنعت برق، جبران‌کننده‌های توان راکتیو استاتیکی<sup>۲</sup> برای دست یافتن به انعطاف‌پذیری بهتر شبکه قدرت کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند [۲۳، ۲۴]. این جبران‌کننده‌ها برای کاهش تلفات توان، بهبود نمایه<sup>۳</sup> ولتاژ، حل مشکلات ناپایداری ولتاژ و افزایش حداکثر توان انتقالی در خطوط انتقال استفاده می‌شود [۲۵، ۲۶]. نقش اصلی جبران‌کننده وار استاتیکی<sup>۴</sup> (SVC) تنظیم مقدار جبران توان راکتیو برای برطرف نمودن نیاز سیستم‌های قدرت الکتریکی واقعی است [۲۷، ۲۸]. در اکثر پیشامدها مؤلفه توان راکتیو خط باردار به‌طور قابل توجه‌ای بیشتر از توان اکتیو بار تغییر می‌کند [۲۹، ۳۰]. بنابراین SVC اثر قابل توجه روی پایداری سیستم در طی اتفاقات دارد و باید در قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت در نظر گرفته شود.

الگوریتم‌های موجود در ارزیابی قابلیت اطمینان، توان راکتیو را به علت استفاده از پخش بار dc در نظر نمی‌گیرند [۳۱]. توجه به سه نکته اساسی در سیستم‌های قدرت الکتریکی واقعی حائز اهمیت است که عبارتند از: (۱) همه بارهای شبکه مقاومتی نیستند، (۲) خطوط انتقال در شبکه باعث برخی محدودیت‌ها در توان انتقالی می‌شود و (۳) ارتباط بین خروجی توان اکتیو و راکتیو در یک ژنراتور توسط یک نمودار P-Q تعیین می‌شود. بنابراین نکات فوق در ارزیابی قابلیت اطمینان با به-کارگیری تحلیل‌های پخش بار ac باید در نظر گرفته شود.

در این مقاله برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت که توان راکتیو آنها بر اثر از دست رفتن منابع ذخیره‌ای توان راکتیو مانند ژنراتورها، کندانسورهای سنکرون و جبران‌کننده‌ها کم می‌شود، با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف کارکرد SVC شاخص‌های قابلیت اطمینان تعریف می‌شود. این شاخص‌ها جهت بررسی دقیق‌تر سیستم برای سیستم قدرت ۳۰ با سه IEEE محاسبه شده‌اند. ساختار مقاله به این شرح است: در قسمت دوم شاخص‌های معتبر ارائه شده و در قسمت سوم SVC از نوع سلف کنترل شده با تریستور همراه با خازن ثابت (FC-TCR) به عنوان رایج‌ترین نوع SVC انتخاب شده و اجزای SVC و کارکردشان بیان شده است، سپس با استفاده از روش مارکوف<sup>۵</sup> هشت حالت معادل مدل قابلیت اطمینان برای SVC ارائه شده است. در قسمت چهارم سیستم سی با سه IEEE با استفاده از

#### ۴- نتایج بررسی و شبیه سازی

در این قسمت با استفاده از نرم افزار متلب به تاثیر عملکرد SVC در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت اشاره می گردد. در این برنامه باس ۲۸ که ضعیف ترین باس در کل سیستم است برای نصب SVC از نوع FC-TCR انتخاب می شود و وضعیت های مختلف در نظر گرفته می شود.

با توجه به ویژگی های SVC مورد استفاده، در حالت های مختلف SVC تولید یا جذب توان راکتیوی از کمترین مقدار تا بیشترین مقدار را دارد که در شبیه سازی در نظر گرفته می شود. ویژگی های این نوع خاص SVC را می توان از لحاظ توان راکتیو مورد نیاز، در وقایع احتمالی تعیین کرد. این ویژگی ها در جدول (۱) آمده است.

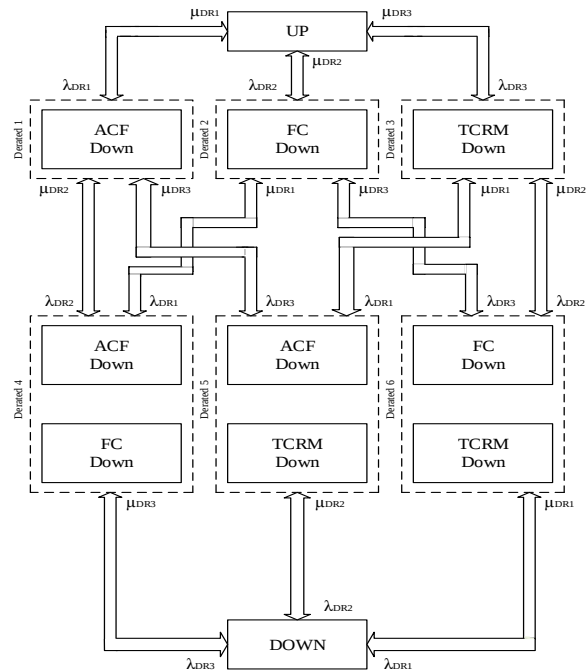
همچنین در جدول (۲) مقادیر متغیر توان راکتیو تزریقی SVC در حالت های مختلف بیان شده است. تمامی وضعیت های بحرانی دسته اول و دسته دوم با احتمال بالاتر از  $5e^{-6}$  در ارزیابی استفاده می شوند و از احتمال های کمتر از  $5e^{-6}$  صرف نظر می گردد.

شاخص های متفاوت برای تهیه اطلاعات قابلیت اطمینان عبارتند از:

- ۱- قطع بار اکتیو با توجه به کمبود توان اکتیو<sup>۱</sup> (ELCP)
  - ۲- قطع بار اکتیو با توجه به کمبود توان راکتیو یا خطای ولتاژ<sup>۲</sup> (ELCQ)
  - ۳- قطع بار راکتیو با توجه به کمبود توان اکتیو<sup>۳</sup> (EQCP)
  - ۴- قطع بار راکتیو با توجه به کمبود توان راکتیو<sup>۴</sup> (EQCQ)
  - ۵- انرژی مورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان اکتیو<sup>۵</sup> (EENS<sub>P</sub>)
  - ۶- انرژی مورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان راکتیو<sup>۶</sup> (EENS<sub>Q</sub>)
  - ۷- VAR مورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان اکتیو<sup>۷</sup> (EVNS<sub>P</sub>)
  - ۸- VAR مورد انتظار تأمین نشده با توجه به کمبود توان راکتیو<sup>۸</sup> (EVNS<sub>Q</sub>)
  - ۹- کمبود VAR مورد انتظار به علت خطای کاهش ولتاژ<sup>۹</sup> (EvarS).
- اجزای داده های قابلیت اطمینان براساس مرجع [۳۹] در جدول (۳) آمده است. همچنین بر اساس این داده های به دست آمده، احتمال هر هشت وضعیت مدل مارکوف در جدول (۴) آمده اند.

جدول (۱): مقادیر المان های FC-TCR

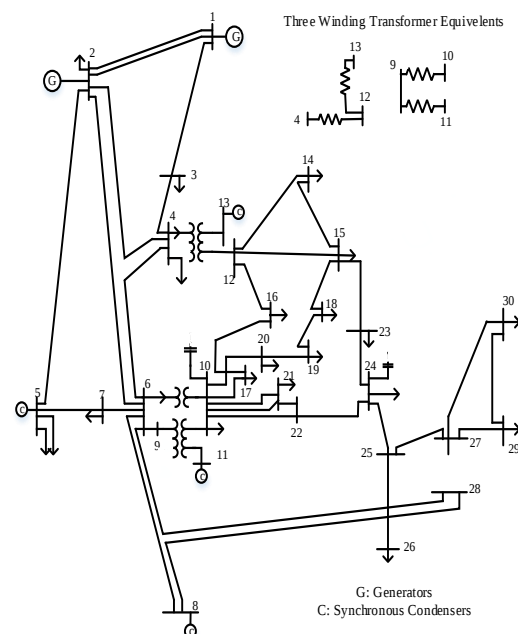
|           |             |
|-----------|-------------|
| ۶۰ مگاوار | TCR         |
| ۶۰ مگاوار | FC          |
| ۱۰ مگاوار | ACF         |
| ۱ پریونتی | تنظیم ولتاژ |



شکل (۲): مدل مارکوف از یک سیستم FC-TCR

سه واحد تولیدی در باس یک که باس مبنا است ۳۰۰ مگاوات و دو واحد تولیدی در باس دو برابر ۵۰ مگاوات است. در باس های ۵، ۱۳، ۱۱ و ۸ کندانسور سنکرون و در باس های ۱۰ و ۲۴ از خازن ثابت استفاده شده است. داده های ساختار سیستم و پارامترهای قابلیت اطمینان اجزای آن در مرجع [۳۸] آمده است.

با توجه به اطلاعات سیستم باس های ۲۷ تا ۳۰ به دلیل دور بودن از منابع تولید و کندانسورهای سنکرون از نظر افت ولتاژ، باس های ضعیف شبکه هستند که به دلیل اینکه باس ۲۸ از یک طرف به دو خط و از طرف دیگر به ترانسفورماتور متصل است و باس قابل اطمینانی است، SVC در این باس نصب می شود.



شکل (۳): سیستم قدرت ۳۰ باس IEEE مورد مطالعه

جدول (۲): توان راکتیو SVC در وضعیت‌های مختلف

| توان راکتیو تولید شده (+) یا جذب شده (-) SVC بر حسب مگاوار | حالت‌های مختلف SVC |
|------------------------------------------------------------|--------------------|
| صفر تا ۶۰                                                  | وضعیت ۱            |
| ۱۰- تا ۷۰                                                  | وضعیت ۲            |
| ۵۰                                                         | وضعیت ۳            |
| ۶۰- تا صفر                                                 | وضعیت ۴            |
| ۶۰                                                         | وضعیت ۵            |
| ۱۰- تا ۶۰                                                  | وضعیت ۶            |
| ۱۰- تا ۵۰                                                  | SVC کامل           |

جدول (۳): اجزای داده‌های قابلیت اطمینان

| تجهیز | $\lambda$ (خطا در سال) | $\mu$ (تعمیر در سال) |
|-------|------------------------|----------------------|
| SVCCS | ۰/۲۷۵۳۷۴۵              | ۱۰۶/۸                |
| ACF   | ۰/۰۵۲۲۰۵۰              | ۱۰۰                  |
| FC    | ۰/۰۱۱۷۳۷۵              | ۱۰۰                  |
| XL    | ۰/۰۱۵۲۵۵۰              | ۱۰۰                  |
| ThV   | ۰/۰۷۲۲۰۵۰              | ۱۰۰                  |
| ThVCS | ۰/۲۶۹۹۵۵۰              | ۱۰۰                  |

با توجه به مقدار احتمال‌ها، چهار وضعیت آخر را می‌توان از ارزیابی - های انجام شده حذف کرد اما با در نظر گرفتن این حقیقت که هدف مقایسه اثرات هر وضعیت بر روی ارزیابی قابلیت اطمینان است، این چهار وضعیت در ارزیابی‌ها نیز در نظر گرفته خواهند شد. شاخص‌های سیستم می‌توانند اطلاعات قابل توجه را درباره توانایی کل سیستم برای ارائه بار مورد تقاضای مشتریان در اختیار قرار دهند [۴۰، ۴۱].

جدول (۴): احتمال مربوط به هر هشت وضعیت

| حالت     | احتمال                |
|----------|-----------------------|
| SVC کامل | ۰/۹۹۳۲۴۹۱۶۸۸۲۲۳۴۹۰۰   |
| وضعیت ۱  | ۰/۰۰۰۶۱۷۸۵۰۶۴۵۴۶۵۹۴۲  |
| وضعیت ۲  | ۰/۰۰۰۱۱۶۵۸۲۶۲۱۱۹۰۵۲۳  |
| وضعیت ۳  | ۰/۰۰۰۶۰۱۱۸۷۹۶۱۷۷۴۲۹۳۰ |
| وضعیت ۴  | ۷/۲۵۲۰۲۱۹۵۱۱۵۶۴۹e-۰۸  |
| وضعیت ۵  | ۳/۷۳۹۶۸۹۷۱۶۲۱۶۹۹e-۰۶  |
| وضعیت ۶  | ۷/۰۵۶۴۴۳۷۰۱۳۲۵۷۶e-۰۷  |
| بدون SVC | ۴/۳۸۹۴۶۰۸۰۴۴۰۹۶۹e-۱۰  |

این سیستم و شاخص‌های نقاط بار برای سیستم قدرت در ادامه بیان شده‌اند:

جدول (۵) نشان‌دهنده مقادیر  $ELC_P$  برای هر وضعیت SVC مدل مارکوف و هم‌چنین برای هر باس بار در سیستم است.

جدول (۶) نشان‌دهنده مقادیر  $EQC_P$  است. محدودیت‌های انرژی حقیقی یا بارزدایی در سیستم قدرت بر اساس مصرف هر باس صورت

می‌گیرد. بنابراین در وضعیت بدون SVC باس ۵ بالاترین و باس ۲۰ پایین‌ترین شاخص را داراست. باس‌هایی که شاخص صفر دارند به دلیل بدون بار بودن هیچ بارزدایی ندارند.

با مقایسه دو حالت سرویس و خارج از سرویس SVC، به دلیل اینکه SVC منبع توان راکتیو است در وضعیت‌های مختلف تأثیری بر شاخص  $ELC_P$  و  $EQC_P$  ندارد.

مقادیر مربوطه به  $ELC_Q$  و  $EQC_Q$  برای هر یک از وضعیت‌های SVC در مدل مارکوف به ترتیب در جدول‌های (۷) و (۸) آمده است. با مقایسه  $ELC_Q$  و  $ELC_P$  و هم‌چنین  $EQC_Q$  و  $EQC_P$  می‌توان میزان افت بار در وضعیت خروج کامل SVC را مشخص کرد به‌طوری که  $ELC_P$  بسیار بیشتر از  $ELC_Q$  است.

در حالت سرویس کامل، میزان افت بار برای بهبود و تقویت ولتاژ در مقایسه با حالت خروج کامل SVC ناچیز است که نشان‌دهنده اهمیت SVC در افزایش قابلیت اطمینان سیستم است.

مقادیر  $EENS_P$  و  $EVNS_P$  نیز به دلیل بارزدایی توان اکتیو در همه حالت‌های SVC یکسان است که در جدول‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

نتایج به‌دست آمده از جدول‌های (۱۱) و (۱۲) نشان می‌دهد که برای رفع مشکل کمبود ولتاژ در باس‌های متفاوت سیستم در طول یک سال، باید مقدار زیادی توان راکتیو در وضعیت خروج کامل قطع کرد اما این مقدار با استفاده از SVC کاهش می‌یابد.

توان راکتیو به باس‌های دارای محدودیت ولتاژ تزریق می‌شود تا ولتاژ مورد نظر خود را باز یابد. میزان بالای EVArS در یک باس نشانه خوبی برای طراحان سیستم‌ها برای نصب منابع ذخیره توان راکتیو در آن باس است. بنابراین مشخص است که با استفاده از SVC می‌توان این شاخص را در باس مورد نظر و باس‌های مجاور آن کاهش داد. مقایسه مقدار این شاخص در حالت‌های SVC کامل و خروج کلی آن، نشان دهنده درستی آن است. جدول (۱۳) مقادیر شاخص EVArS را نشان می‌دهد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله وضعیت عملکرد شبکه قدرت با در نظر گرفتن تأثیر خرابی اجزای SVC به عنوان یک منبع توان راکتیو بررسی گردید. با استفاده از فرایندهای مارکوف، یک مدل تعیین اعتبار برای نوع FC-TCR از SVC‌ها اشاره شد. نتایج شبیه‌سازی تأثیر SVC و اجزای آن را در حالت‌های مختلف بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم قدرت نشان داد. همان‌طور که دیده شده، SVC می‌تواند تأثیر قابل توجه بر قابلیت اطمینان و بهبود عملکرد سیستم داشته باشد.

جدول (۵): نقاط بار و  $ELC_P$  سیستم (MW/yr مگاوات در سال)

|        | DN       | UP       | DR1      | DR2      | DR3      | DR4      | DR5      | DR6      | ALL      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bus1   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus2   | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  | 17.1255  |
| Bus3   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   | 1.8997   |
| Bus4   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   | 5.9979   |
| Bus5   | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  | 74.6535  |
| Bus6   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus7   | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  | 18.0690  |
| Bus8   | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  |
| Bus9   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus10  | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   | 4.5773   |
| Bus11  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus12  | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   | 8.8390   |
| Bus13  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus14  | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   | 4.9161   |
| Bus15  | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   | 6.4714   |
| Bus16  | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   | 2.8185   |
| Bus17  | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   | 7.3253   |
| Bus18  | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   | 2.5611   |
| Bus19  | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   | 7.6386   |
| Bus20  | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   | 1.7608   |
| Bus21  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  | 14.5308  |
| Bus22  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus23  | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   | 2.5650   |
| Bus24  | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   | 6.8660   |
| Bus25  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus26  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  | 23.8113  |
| Bus27  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus28  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus29  | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   | 2.1301   |
| Bus30  | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   | 9.4080   |
| System | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 | 247.7150 |

جدول (۶): نقاط بار و  $EQC_P$  سیستم (MVar/yr)

|        | DN       | UP       | DR1      | DR2      | DR3      | DR4      | DR5      | DR6      | ALL      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bus1   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus2   | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  | 10.0228  |
| Bus3   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   | 0.9498   |
| Bus4   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   | 1.2627   |
| Bus5   | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  | 15.0575  |
| Bus6   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus7   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   | 8.6383   |
| Bus8   | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  | 23.7502  |
| Bus9   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus10  | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   | 1.5784   |
| Bus11  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus12  | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   | 5.9190   |
| Bus13  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus14  | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   | 1.2687   |
| Bus15  | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   | 1.9730   |
| Bus16  | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   | 1.4495   |
| Bus17  | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   | 4.7208   |
| Bus18  | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   | 0.7203   |
| Bus19  | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   | 2.7338   |
| Bus20  | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   | 0.5602   |
| Bus21  | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   | 9.2997   |
| Bus22  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus23  | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   | 1.2825   |
| Bus24  | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   | 5.2876   |
| Bus25  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus26  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  | 15.6474  |
| Bus27  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus28  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Bus29  | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   | 0.7988   |
| Bus30  | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   | 1.6863   |
| System | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 | 114.6073 |

جدول (۷) نقاط بار و  $ELC_Q$  سیستم (برحسب MW/yr)

|        | DN         | UP      | DR1     | DR2     | DR3        | DR4     | DR5        | DR6     | ALL     |
|--------|------------|---------|---------|---------|------------|---------|------------|---------|---------|
| Bus1   | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus2   | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus3   | 0.0011     | 0.0038  | 0.0170  | 0.0039  | 6.8386e-04 | 0.0110  | 6.8386e-04 | 0.0039  | 0.0037  |
| Bus4   | 0.0132     | 0.0206  | 0.0628  | 0.0216  | 0.0022     | 0.0437  | 0.0022     | 0.0216  | 0.0205  |
| Bus5   | 17.7185    | 17.8925 | 18.6679 | 22.0333 | 4.9770     | 18.2218 | 3.0712     | 22.0333 | 17.8157 |
| Bus6   | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus7   | 1.2450     | 0.8759  | 1.0023  | 1.5127  | 0.2079     | 0.9448  | 0.2079     | 1.5135  | 0.8720  |
| Bus8   | 0.1910     | 0.2486  | 0.4045  | 0.5507  | 0.0085     | 0.3389  | 0.0085     | 0.5512  | 0.2473  |
| Bus9   | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus10  | 0.0012     | 0.0081  | 0.0402  | 0.0089  | 0.0017     | 0.0257  | 0.0017     | 0.0089  | 0.0081  |
| Bus11  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus12  | 0.0060     | 0.0270  | 0.0882  | 0.0311  | 0.0036     | 0.0609  | 0.0034     | 0.0311  | 0.0269  |
| Bus13  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus14  | 0.0234     | 0.0316  | 0.0657  | 0.0374  | 0.0026     | 0.0504  | 0.0027     | 0.0375  | 0.0315  |
| Bus15  | 0.0037     | 0.0138  | 0.0591  | 0.0263  | 0.0031     | 0.0386  | 0.0030     | 0.0263  | 0.0138  |
| Bus16  | 6.9402e-04 | 0.0051  | 0.0245  | 0.0055  | 9.9730e-04 | 0.0157  | 9.9730e-04 | 0.0055  | 0.0051  |
| Bus17  | 0.0087     | 0.0205  | 0.0703  | 0.0219  | 0.0094     | 0.0478  | 0.0094     | 0.0219  | 0.0205  |
| Bus18  | 0.0017     | 0.0083  | 0.0259  | 0.0123  | 0.0013     | 0.0180  | 0.0013     | 0.0123  | 0.0083  |
| Bus19  | 0.0070     | 0.0305  | 0.0797  | 0.0402  | 0.0036     | 0.0593  | 0.0035     | 0.0404  | 0.0304  |
| Bus20  | 0.0010     | 0.0052  | 0.0174  | 0.0078  | 6.9922e-04 | 0.0119  | 6.6323e-04 | 0.0078  | 0.0052  |
| Bus21  | 0.0819     | 0.1131  | 0.2100  | 0.1315  | 0.0835     | 0.1662  | 0.0333     | 0.1318  | 0.1130  |
| Bus22  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus23  | 0.0065     | 0.0131  | 0.0307  | 0.0180  | 0.0011     | 0.0228  | 0.0011     | 0.0180  | 0.0131  |
| Bus24  | 0.0054     | 0.0268  | 0.0723  | 0.0467  | 0.0057     | 0.0532  | 0.0057     | 0.0468  | 0.0267  |
| Bus25  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus26  | 0.3240     | 0.3248  | 0.3433  | 0.6130  | 0.1425     | 0.3326  | 0.1022     | 0.6120  | 0.3237  |
| Bus27  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus28  | 0          | 0       | 0       | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0       |
| Bus29  | 2.1599     | 1.3577  | 1.3691  | 1.4160  | 1.1260     | 1.3648  | 1.0005     | 1.4162  | 1.3563  |
| Bus30  | 11.2222    | 7.6318  | 7.6910  | 8.2679  | 6.5556     | 7.6590  | 6.1834     | 8.2679  | 7.6255  |
| System | 33.0222    | 28.6589 | 30.3420 | 34.8068 | 13.1376    | 29.4870 | 10.6432    | 34.8079 | 28.5673 |

جدول (۸) نقاط بار و  $EQC_Q$  سیستم (MVar / yr)

|        | DN         | UP     | DR1    | DR2    | DR3        | DR4    | DR5        | DR6    | ALL    |
|--------|------------|--------|--------|--------|------------|--------|------------|--------|--------|
| Bus1   | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus2   | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus3   | 5.3665e-04 | 0.0019 | 0.0085 | 0.0020 | 3.4193e-04 | 0.0055 | 3.4193e-04 | 0.0020 | 0.0019 |
| Bus4   | 0.0028     | 0.0043 | 0.0132 | 0.0046 | 4.5591e-04 | 0.0092 | 4.5591e-04 | 0.0046 | 0.0043 |
| Bus5   | 3.5738     | 3.6089 | 3.7653 | 4.4441 | 1.0039     | 3.6753 | 0.6195     | 4.4441 | 3.5934 |
| Bus6   | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus7   | 0.5952     | 0.4187 | 0.4792 | 0.7232 | 0.0994     | 0.4517 | 0.0994     | 0.7235 | 0.4169 |
| Bus8   | 0.1910     | 0.2486 | 0.4045 | 0.5507 | 0.0085     | 0.3389 | 0.0085     | 0.5512 | 0.2473 |
| Bus9   | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus10  | 3.9658e-04 | 0.0028 | 0.0139 | 0.0031 | 5.6989e-04 | 0.0089 | 5.6989e-04 | 0.0031 | 0.0028 |
| Bus11  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus12  | 0.0040     | 0.0181 | 0.0591 | 0.0208 | 0.0024     | 0.0408 | 0.0023     | 0.0208 | 0.0180 |
| Bus13  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus14  | 0.0060     | 0.0082 | 0.0170 | 0.0097 | 6.7622e-04 | 0.0130 | 7.0823e-04 | 0.0097 | 0.0081 |
| Bus15  | 0.0011     | 0.0042 | 0.0180 | 0.0080 | 9.4798e-04 | 0.0118 | 9.1235e-04 | 0.0080 | 0.0042 |
| Bus16  | 3.5692e-04 | 0.0026 | 0.0126 | 0.0028 | 5.1290e-04 | 0.0081 | 5.1290e-04 | 0.0028 | 0.0026 |
| Bus17  | 0.0056     | 0.0132 | 0.0453 | 0.0141 | 0.0061     | 0.0308 | 0.0060     | 0.0141 | 0.0132 |
| Bus18  | 4.9072e-04 | 0.0023 | 0.0073 | 0.0035 | 3.6808e-04 | 0.0051 | 3.5642e-04 | 0.0035 | 0.0023 |
| Bus19  | 0.0025     | 0.0109 | 0.0285 | 0.0144 | 0.0013     | 0.0212 | 0.0012     | 0.0144 | 0.0109 |
| Bus20  | 3.2306e-04 | 0.0017 | 0.0055 | 0.0025 | 2.2248e-04 | 0.0038 | 2.1103e-04 | 0.0025 | 0.0016 |
| Bus21  | 0.0524     | 0.0724 | 0.1344 | 0.0842 | 0.0534     | 0.1063 | 0.0213     | 0.0843 | 0.0723 |
| Bus22  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus23  | 0.0032     | 0.0066 | 0.0153 | 0.0090 | 5.5982e-04 | 0.0114 | 5.3417e-04 | 0.0090 | 0.0065 |
| Bus24  | 0.0041     | 0.0207 | 0.0557 | 0.0359 | 0.0044     | 0.0410 | 0.0044     | 0.0360 | 0.0206 |
| Bus25  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus26  | 0.2129     | 0.2134 | 0.2256 | 0.4028 | 0.0936     | 0.2186 | 0.0671     | 0.4022 | 0.2127 |
| Bus27  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus28  | 0          | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0          | 0      | 0      |
| Bus29  | 0.8100     | 0.5091 | 0.5134 | 0.5310 | 0.4222     | 0.5118 | 0.3752     | 0.5311 | 0.5086 |
| Bus30  | 2.0115     | 1.3680 | 1.3786 | 1.4820 | 1.1751     | 1.3728 | 1.1083     | 1.4820 | 1.3668 |
| System | 7.4784     | 6.5366 | 7.2009 | 8.3482 | 2.8749     | 6.8858 | 2.3179     | 8.3489 | 6.5152 |

جدول (۹): نقاط بار و  $EENS_p$  سیستم (MW/yr)

|        | DN         | UP         | DR1        | DR2        | DR3        | DR4        | DR5        | DR6        | ALL        |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Bus1   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus2   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   | 274.7172   |
| Bus3   | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    | 30.4094    |
| Bus4   | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    | 96.2143    |
| Bus5   | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 | 1.1940e+03 |
| Bus6   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus7   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   | 288.9904   |
| Bus8   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   |
| Bus9   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus10  | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    | 73.4267    |
| Bus11  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus12  | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   | 141.7895   |
| Bus13  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus14  | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    | 78.5969    |
| Bus15  | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   | 103.8102   |
| Bus16  | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    | 44.5693    |
| Bus17  | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   | 114.9668   |
| Bus18  | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    | 40.6759    |
| Bus19  | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   | 120.9194   |
| Bus20  | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    | 27.9647    |
| Bus21  | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   | 224.8801   |
| Bus22  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus23  | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    | 40.6942    |
| Bus24  | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   | 110.1401   |
| Bus25  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus26  | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   | 208.4672   |
| Bus27  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus28  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus29  | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    | 31.4763    |
| Bus30  | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   | 139.0201   |
| System | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 | 3.7659e+03 |

جدول (۱۰): نقاط بار و  $EVNS_p$  سیستم (بر حسب MVarh/yr)

|        | DN         | UP         | DR1        | DR2        | DR3        | DR4        | DR5        | DR6        | ALL        |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Bus1   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus2   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   | 160.7792   |
| Bus3   | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    | 15.2047    |
| Bus4   | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    | 20.2556    |
| Bus5   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   | 240.8254   |
| Bus6   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus7   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   | 138.1577   |
| Bus8   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   | 380.1363   |
| Bus9   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus10  | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    | 25.3196    |
| Bus11  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus12  | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    | 94.9483    |
| Bus13  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus14  | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    | 20.2831    |
| Bus15  | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    | 31.6494    |
| Bus16  | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    | 22.9213    |
| Bus17  | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    | 74.0897    |
| Bus18  | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    | 11.4401    |
| Bus19  | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    | 43.2764    |
| Bus20  | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     | 8.8979     |
| Bus21  | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   | 143.9233   |
| Bus22  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus23  | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    | 20.3471    |
| Bus24  | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    | 84.8205    |
| Bus25  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus26  | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   | 136.9927   |
| Bus27  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus28  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Bus29  | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    | 11.8036    |
| Bus30  | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    | 24.9187    |
| System | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 | 1.7110e+03 |

جدول (۱۱): نقاط بار و EENS<sub>Q</sub> سیستم (بر حسب MWh/yr)

|        | DN       | UP       | DR1      | DR2      | DR3      | DR4      | DR5     | DR6      | ALL      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| Bus1   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus2   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus3   | 0.0049   | 0.0241   | 0.1165   | 0.0250   | 0.0049   | 0.0733   | 0.0049  | 0.0250   | 0.0241   |
| Bus4   | 0.0825   | 0.1374   | 0.4311   | 0.1421   | 0.0156   | 0.2932   | 0.0156  | 0.1421   | 0.1369   |
| Bus5   | 144.3618 | 145.4017 | 150.8346 | 179.8244 | 38.5486  | 147.6430 | 23.3517 | 179.8244 | 144.7662 |
| Bus6   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus7   | 10.1268  | 6.9699   | 7.8500   | 12.1971  | 1.5012   | 7.4359   | 1.5012  | 12.2006  | 6.9382   |
| Bus8   | 1.3379   | 1.7303   | 2.8187   | 4.1829   | 0.0617   | 2.3422   | 0.0617  | 4.1852   | 1.7212   |
| Bus9   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus10  | 0.0053   | 0.0539   | 0.2775   | 0.0574   | 0.0119   | 0.1728   | 0.0119  | 0.0574   | 0.0538   |
| Bus11  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus12  | 0.0358   | 0.1807   | 0.6092   | 0.2075   | 0.0247   | 0.4103   | 0.0239  | 0.2075   | 0.1800   |
| Bus13  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus14  | 0.1543   | 0.2137   | 0.4519   | 0.2454   | 0.0167   | 0.3408   | 0.0173  | 0.2458   | 0.2127   |
| Bus15  | 0.0170   | 0.0868   | 0.4029   | 0.1688   | 0.0204   | 0.2549   | 0.0199  | 0.1688   | 0.0866   |
| Bus16  | 0.0032   | 0.0336   | 0.1685   | 0.0354   | 0.0072   | 0.1053   | 0.0072  | 0.0354   | 0.0335   |
| Bus17  | 0.0402   | 0.1203   | 0.4673   | 0.1264   | 0.0502   | 0.3048   | 0.0499  | 0.1264   | 0.1201   |
| Bus18  | 0.0080   | 0.0542   | 0.1771   | 0.0796   | 0.0084   | 0.1197   | 0.0082  | 0.0796   | 0.0540   |
| Bus19  | 0.0324   | 0.1949   | 0.5388   | 0.2535   | 0.0237   | 0.3894   | 0.0231  | 0.2542   | 0.1941   |
| Bus20  | 0.0047   | 0.0332   | 0.1181   | 0.0502   | 0.0049   | 0.0783   | 0.0047  | 0.0502   | 0.0331   |
| Bus21  | 0.3794   | 0.5972   | 1.2720   | 0.7208   | 0.3994   | 0.9559   | 0.1670  | 0.7221   | 0.5964   |
| Bus22  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus23  | 0.0300   | 0.0764   | 0.1991   | 0.1059   | 0.0075   | 0.1420   | 0.0073  | 0.1059   | 0.0761   |
| Bus24  | 0.0248   | 0.1735   | 0.4903   | 0.3083   | 0.0328   | 0.3516   | 0.0328  | 0.3089   | 0.1728   |
| Bus25  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus26  | 1.6439   | 1.6490   | 1.7782   | 4.0305   | 0.6611   | 1.7013   | 0.4745  | 4.0234   | 1.6434   |
| Bus27  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus28  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus29  | 17.3997  | 10.5176  | 10.5965  | 10.9436  | 8.9593   | 10.5661  | 8.0602  | 10.9446  | 10.5083  |
| Bus30  | 90.3753  | 59.6344  | 60.0460  | 64.3448  | 52.3905  | 59.8167  | 49.8632 | 64.3448  | 59.5916  |
| System | 266.0682 | 227.8828 | 239.6442 | 278.0498 | 102.7509 | 233.4976 | 83.7062 | 278.0524 | 227.1431 |

جدول (۱۲): نقاط بار و EVNS<sub>Q</sub> سیستم (بر حسب MVAh/yr)

|        | DN      | UP      | DR1     | DR2     | DR3     | DR4     | DR5     | DR6     | ALL     |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Bus1   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus2   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus3   | 0.0025  | 0.0121  | 0.0582  | 0.0125  | 0.0025  | 0.0367  | 0.0025  | 0.0125  | 0.0120  |
| Bus4   | 0.0174  | 0.0289  | 0.0907  | 0.0299  | 0.0033  | 0.0617  | 0.0033  | 0.0299  | 0.0288  |
| Bus5   | 29.1176 | 29.3273 | 30.4231 | 36.2703 | 7.7752  | 29.7794 | 4.7100  | 36.2703 | 29.1991 |
| Bus6   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus7   | 4.8413  | 3.3321  | 3.7529  | 5.8311  | 0.7177  | 3.5549  | 0.7177  | 5.8327  | 3.3169  |
| Bus8   | 1.3379  | 1.7303  | 2.8187  | 4.1829  | 0.0617  | 2.3422  | 0.0617  | 4.1852  | 1.7212  |
| Bus9   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus10  | 0.0018  | 0.0186  | 0.0957  | 0.0198  | 0.0041  | 0.0596  | 0.0041  | 0.0198  | 0.0185  |
| Bus11  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus12  | 0.0240  | 0.1210  | 0.4079  | 0.1389  | 0.0166  | 0.2748  | 0.0160  | 0.1389  | 0.1206  |
| Bus13  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus14  | 0.0398  | 0.0551  | 0.1166  | 0.0633  | 0.0043  | 0.0879  | 0.0045  | 0.0634  | 0.0549  |
| Bus15  | 0.0052  | 0.0265  | 0.1228  | 0.0515  | 0.0062  | 0.0777  | 0.0061  | 0.0515  | 0.0264  |
| Bus16  | 0.0016  | 0.0173  | 0.0867  | 0.0182  | 0.0037  | 0.0542  | 0.0037  | 0.0182  | 0.0172  |
| Bus17  | 0.0259  | 0.0775  | 0.3011  | 0.0815  | 0.0323  | 0.1964  | 0.0322  | 0.0815  | 0.0774  |
| Bus18  | 0.0023  | 0.0152  | 0.0498  | 0.0224  | 0.0024  | 0.0337  | 0.0023  | 0.0224  | 0.0152  |
| Bus19  | 0.0116  | 0.0697  | 0.1928  | 0.0907  | 0.0085  | 0.1394  | 0.0082  | 0.0910  | 0.0695  |
| Bus20  | 0.0015  | 0.0106  | 0.0376  | 0.0160  | 0.0015  | 0.0249  | 0.0015  | 0.0160  | 0.0105  |
| Bus21  | 0.2428  | 0.3822  | 0.8141  | 0.4613  | 0.2556  | 0.6118  | 0.1069  | 0.4621  | 0.3817  |
| Bus22  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus23  | 0.0150  | 0.0382  | 0.0996  | 0.0529  | 0.0038  | 0.0710  | 0.0037  | 0.0529  | 0.0381  |
| Bus24  | 0.0191  | 0.1336  | 0.3776  | 0.2374  | 0.0253  | 0.2708  | 0.0253  | 0.2379  | 0.1331  |
| Bus25  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus26  | 1.0803  | 1.0836  | 1.1685  | 2.6486  | 0.4345  | 1.1180  | 0.3118  | 2.6440  | 1.0799  |
| Bus27  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus28  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus29  | 6.5249  | 3.9441  | 3.9737  | 4.1038  | 3.3598  | 3.9623  | 3.0226  | 4.1042  | 3.9406  |
| Bus30  | 16.1994 | 10.6892 | 10.7630 | 11.5335 | 9.3908  | 10.7219 | 8.9377  | 11.5335 | 10.6815 |
| System | 59.5119 | 51.1132 | 55.7512 | 65.8667 | 22.1096 | 53.4791 | 17.9817 | 65.8680 | 50.9433 |

جدول (۱۳): نقاط بار و EVArS سیستم (بر حسب MVarh/yr)

|        | DN       | UP       | DR1      | DR2      | DR3     | DR4      | DR5     | DR6      | ALL      |
|--------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Bus1   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus2   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus3   | 0.0095   | 0.0462   | 0.2233   | 0.0480   | 0.0095  | 0.1405   | 0.0095  | 0.0480   | 0.0461   |
| Bus4   | 0.0508   | 0.0846   | 0.2654   | 0.0875   | 0.0096  | 0.1805   | 0.0096  | 0.0875   | 0.0843   |
| Bus5   | 92.9258  | 93.5951  | 97.0923  | 115.7531 | 24.8137 | 95.0379  | 15.0315 | 115.7531 | 93.1861  |
| Bus6   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus7   | 13.1151  | 9.0267   | 10.1665  | 15.7964  | 1.9441  | 9.6301   | 1.9441  | 15.8009  | 8.9856   |
| Bus8   | 3.5135   | 4.5440   | 7.4021   | 10.9848  | 0.1621  | 6.1508   | 0.1621  | 10.9908  | 4.5202   |
| Bus9   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus10  | 0.0077   | 0.0785   | 0.4042   | 0.0836   | 0.0174  | 0.2516   | 0.0174  | 0.0836   | 0.0783   |
| Bus11  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus12  | 0.0843   | 0.4250   | 1.4327   | 0.4880   | 0.0582  | 0.9649   | 0.0562  | 0.4880   | 0.4234   |
| Bus13  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus14  | 0.1524   | 0.2111   | 0.4463   | 0.2424   | 0.0165  | 0.3366   | 0.0171  | 0.2427   | 0.2100   |
| Bus15  | 0.0150   | 0.0764   | 0.3543   | 0.1485   | 0.0180  | 0.2242   | 0.0175  | 0.1485   | 0.0762   |
| Bus16  | 0.0055   | 0.0580   | 0.2913   | 0.0613   | 0.0124  | 0.1821   | 0.0124  | 0.0613   | 0.0579   |
| Bus17  | 0.0967   | 0.2890   | 1.1227   | 0.3037   | 0.1205  | 0.7322   | 0.1200  | 0.3037   | 0.2885   |
| Bus18  | 0.0093   | 0.0624   | 0.2038   | 0.0916   | 0.0097  | 0.1378   | 0.0095  | 0.0916   | 0.0622   |
| Bus19  | 0.0490   | 0.2945   | 0.8143   | 0.3831   | 0.0359  | 0.5885   | 0.0348  | 0.3842   | 0.2933   |
| Bus20  | 0.0051   | 0.0364   | 0.1292   | 0.0550   | 0.0053  | 0.0857   | 0.0051  | 0.0550   | 0.0363   |
| Bus21  | 0.6467   | 1.0180   | 2.1682   | 1.2287   | 0.6808  | 1.6295   | 0.2847  | 1.2308   | 1.0167   |
| Bus22  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus23  | 0.0433   | 0.1104   | 0.2877   | 0.1530   | 0.0109  | 0.2051   | 0.0106  | 0.1530   | 0.1099   |
| Bus24  | 0.0765   | 0.5340   | 1.5095   | 0.9490   | 0.1010  | 1.0825   | 0.1010  | 0.9509   | 0.5321   |
| Bus25  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus26  | 4.2641   | 4.2771   | 4.6123   | 10.4544  | 1.7148  | 4.4129   | 1.2307  | 10.4360  | 4.2626   |
| Bus27  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus28  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0       | 0        | 0       | 0        | 0        |
| Bus29  | 19.9988  | 12.0886  | 12.1793  | 12.5783  | 10.2976 | 12.1444  | 9.2642  | 12.5795  | 12.0780  |
| Bus30  | 44.9289  | 29.6464  | 29.8511  | 31.9882  | 26.0453 | 29.7371  | 24.7888 | 31.9882  | 29.6252  |
| System | 179.9979 | 156.5024 | 170.9565 | 201.8783 | 66.0834 | 163.8551 | 53.1268 | 201.8771 | 155.9727 |

## مراجع

- [7] H. Shahinzadeh, M. Moazzami, M. Abbasi, H. Masoudi, V. Sheigani, "Smart design and management of hybrid energy structures for isolated systems using biogeography-based optimization algorithm", Proceeding of the IEEE/SGC, pp. 1-7, Kerman, Iran, Dec. 2016.
- [8] براتی حسن، حبیبزاده علی، لشکرآرا افشین، آقایی جمشید، "استراتژی پی‌شنهاد بهینه شرکت‌های تولیدی، در بازارهای انرژی و رزرو با استفاده از برنامه‌ریزی خطی"، نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۲، ش: ۷، ص: ۱۱-۲۰، پاییز ۱۳۹۰.
- [9] S. Mehraeen, S. Jagannathan M. L. Crow, "Novel dynamic representation and control of power systems with FACTS devices", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, no. 3, pp. 1542-1554, Aug. 2010.
- [10] E. Jafari, A. Marjanian, S. Silaymani, G. Shahgholian, "Designing an emotional intelligent controller for IPFC to improve the transient stability based on energy function", Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 8, no. 3, pp. 478-489, 2013.
- [11] H. Parastvand, O. Bass, M. A. S. Masoum, A. Chapman and S. Lachowicz, "Cyber-security constrained placement of FACTS devices in power networks from a novel topological perspective", IEEE Access, vol. 8, pp. 108201-108215, 2020.
- [12] کاظمی‌زهرانی امیر، پرستگاری معین، "طراحی همزمان پارامترهای PSS و SVC با استفاده از روش کوانتوم بهبود یافته جهت ارتقای پایداری سیستم قدرت چند ماشینه"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۸، ش: ۳۱، ص: ۶۸-۷۵، ۱۳۹۶.
- [1] D. Sabzevari, S. M. Kargar, S. M. A. Zanjani "Mathematical modeling and designing PID controller for a quadrotor and optimize its step response by genetic algorithm", Majlesi Journal of Electrical Engineering, vol. 10, no. 4, pp. 17-24, 2018.
- [2] مهدویان مهدی، بهزادفر ندا، "مروری بر سیستم تبدیل انرژی بادی و کاربرد انواع ژنراتور القایی"، تحقیقات نوین در برق، سال: ۸، ش: ۴، ص: ۵۵-۶۶، زمستان ۱۳۹۸.
- [3] F. Zandi, B. Fani, A. Golsorkhi, "A visually driven nonlinear droop control for inverter-dominated islanded micro-grids", Electrical Engineering, vol. 102, pp. 1207-1222, 2020.
- [4] M. Dadkhah, B. Fani, E. Heydarian, M. Mohtaj, "An off-line algorithm for fuse-recloser coordination in distribution networks with PV resources", International Trans. on Electrical Energy Systems, vol. 30, no. 2, Article Number: e12500, Sept. 2020.
- [5] G. Yu, T. Lin, J. Zhang, Y. Tian and X. Yang, "Coordination of PSS and FACTS damping controllers to improve small signal stability of large-scale power systems", CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 5, no. 4, pp. 507-514, Dec. 2019.
- [6] امیری‌مقدم هادی، اسلامی مهدی، زاینده‌رودی هادی، "بررسی تاثیر کنترل کننده توزیع شده پخش توان بر رله دیستانس"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۹، ش: ۳۴، ص: ۴۷-۵۴، ۱۳۹۷.

ادوات FACTS سری و موازی با روش فازی-تکاملی"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۹، ش: ۳۵، ص: ۲۷-۳۸، پاییز ۱۳۹۷.

[۲۷] فلکی محسن، "بررسی اثرگذاری ادوات FACTS بر کاهش تلفات و پروفیل ولتاژ در بازار نوع اشتراکی"، تحقیقات نوین در برق، سال: ۷، ش: ۲، ص: ۲۵-۳۵، زمستان ۱۳۹۷.

[28] M. Mahdavian, G. Shahgholian, P. Shafaghi, M. Azadeh, S. Farazpey, M. Janghorbani, "Power system oscillations improvement by using static var compensator", Proceeding of the IEEE/ECTICON, Chiang Mai, Thailand, June/July 2016

[29] G Shahgholian, A Movahedi, "Coordinated control of TCSC and SVC for system stability enhancement using ANFIS method", International Review on Modelling and Simulations, vol. 4, no. 5, pp. 2367-2375, 2011.

[30] S. A. Eghbali-Khob, M. Moazzami, R. Hemmati, "Advanced model for joint generation and transmission expansion planning including reactive power and security constraints of the network integrated with wind turbine", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 29, no. 4, Article Number: w2799, April 2019.

[31] R. N. Allan, R. Billinton, A. M. Breipohl, C. H. Grigg, "Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 14, no. 1, pp. 51-57, Feb. 1999.

[32] J. Zhu, K. Cheung, D. Hwang, A. Sadjadpour, "Operation strategy for improving voltage profile and reducing system loss", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 25, no. 1, pp. 390-397, Jan. 2010.

[33] M. Hedayati, "Technical specification and requirements of static VAR compensation (SVC) protection consist of TCR, TSC and combined TCR/TSC", Proceeding of the IEEE/UPEC, Bristol, UK, vol. 1, pp. 261-264, Sept. 2004.

[34] A. Pekdemir, A. B. Yildiz, "Analysis and modelling of FC-TCR based on static VAR compensator", Proceeding of the IEEE/ICEE, Istanbul, Turkey, pp. 115-118, May 2018.

[۳۵] بهدان علی، فانی بهادر، ادیب احسان، "ارزیابی قابلیت اعتماد انواع SVC در سیستم‌های قدرت با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف"،

روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۶، ش: ۲۲، ص: ۱۳-۲۲، تابستان ۱۳۹۴.

[36] C. Jaipradidtham, "A control of real voltage and harmonic analysis with adaptive static var of electric arc furnace for power quality improvement by Grey Markov method", Proceeding of the IEEE/ICPS, pp. 1-6, New Delhi, India, March 2016.

[37] M. S. Alvarez-Alvarado, D. Jayaweera, "Reliability model for a static var compensator," Proceeding of the IEEE/ETCM, pp. 1-6, Salinas, Ecuador, Oct. 2017.

[38] M. S. Alvarez-Alvarado, D. Jayaweera, "A new approach for reliability assessment of a static var compensator integrated smart grid", Proceeding of the IEEE/PMAPS, pp. 1-7, Boise, ID, June 2018.

[39] W. Qin, P. Wang, X. Han, X. Du, "Reactive power aspects in reliability assessment of power systems", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 26, no. 1, pp. 85-92, Feb. 2011.

[40] A. Karami-Horestani, M. E. Hamedani-Golshan, H. Hajian-Hoseinabadi, "Reliability modeling of TCR-FC type SVC using Markov process", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 55, pp. 305-311, Feb. 2014.

[41] R. U. Nighot, "Incorporating substation and switching station related outages in composite system reliability evaluation", Master Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 2003.

[13] J. Segundo-Ramirez, A. Bayo-Salas, M. Esparza, J. Beerten, P. Gómez, "Frequency domain methods for accuracy assessment of wideband models in electromagnetic transient stability studies", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 35, no. 1, pp. 71-83, Feb. 2020.

[14] M. M. Eladany, A. A. Eldesouky and A. A. Sallam, "power system transient stability: an algorithm for assessment and enhancement based on catastrophe theory and FACTS devices", IEEE Access, vol. 6, pp. 26424-26437, 2018.

[15] A. Kapetanaki, V. Levi, M. Buhari, J. A. Schachter, "Maximization of wind energy utilization through corrective scheduling and FACTS deployment", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 32, no. 6, pp. 4764-4773, Nov. 2017.

[16] G Shahgholian, A Movahedi, "Coordinated control of TCSC and SVC for system stability enhancement using ANFIS method", International Review on Modelling and Simulations, vol. 4, no. 5, pp. 2367-2375, 2011.

[17] N. Abas, S. Dilshad, A. Khalid, M. S. Saleem, N. Khan, "Power quality improvement using dynamic voltage restorer", IEEE Access, vol. 8, pp. 164325-164339, 2020.

[18] B. Ismail, N. I. Abdul Wahab, M. L. Othman, M. A. M. Radzi, K. Naidu Vijayakumar, M. N. Mat Naain, "A comprehensive review on optimal location and sizing of reactive power compensation using hybrid-based approaches for power loss reduction, voltage stability improvement, voltage profile enhancement and loadability enhancement", IEEE Access, vol. 8, pp. 222733-222765, 2020.

[۱۹] زنجانی سیدمحمدعلی، عظیمی زهرا، عظیمی مصطفی، "تحلیل و

ارزیابی سیستم کنترل هیبرید در جبرانگرهای سنکرون

استاتیکی توزیع بر پایه مبدل‌های منبع جریان"، روش‌های

هوشمند در صنعت برق، سال: ۲، ش: ۷، ص: ۵۹-۶۷، پاییز ۱۳۹۰.

[20] H. Parastvand, O. Bass, M. A. S. Masoum, A. Chapman, S. Lachowicz, "Cyber-security constrained placement of FACTS devices in power networks from a novel topological perspective", IEEE Access, vol. 8, pp. 108201-108215, 2020.

[۲۱] شاهرزایی سعید، قدیمی علی‌اصغر، گندمکار مجید، معظمی مجید،

شاه‌حیدری ساناز، افشاری‌مقدم علیرضا، "ارزیابی قابلیت اعتماد

شبکه برق منطقه‌ای باختر و بررسی راهکارهای بهبود شاخص-

های قابلیت اعتماد آن"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۴،

ش: ۱۴، ص: ۳-۱۰، تابستان ۱۳۹۲.

[22] B. Hu, K. Xie, H. Tai, "Inverse problem of power system reliability evaluation: analytical model and solution method", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 33, no. 6, pp. 6569-6578, Nov. 2018.

[23] B. Singh, G. Agrawal, "Enhancement of voltage profile by incorporation of SVC in power system networks by using optimal load flow method in MATLAB/Simulink environments", Energy Reports, vol. 4, pp. 418-434, Nov. 2018.

[۲۴] شوهان فرید، براتی حسن، "پخش توان راکتیو بهینه جهت بهبود

بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت با استفاده از الگوریتم بهینه-

سازی بر پایه تعلیم یادگیری"، تحقیقات نوین در برق، سال: ۲، ش:

۳، ص: ۴۷-۵۵، زمستان ۱۳۹۲.

[25] H. Kim and C. Singh, "Reliability modeling and simulation in power systems with aging characteristics", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 25, no. 1, pp. 21-28, Feb. 2010.

[۲۶] متقی علی، علیزاده محسن، عباسیان محمدعلی، "جبران‌سازی توان

راکتیو و کاهش تلفات شبکه انتقال توسط مکان یابی بهینه ی

## زیر نویس ها

1. Reliability
2. Static reactive power compensators
3. Profile
4. Static var compensator
5. Markov approach
6. Fixed capacitor thyristor controlled reactor
7. Expected real power load curtailment due to the real power shortage
8. Expected reactive power load curtailment due to the real power shortage
9. Expected reactive power load curtailment due to the reactive power shortage or voltage violation
10. Expected energy not supplied due to the real power shortage
11. Expected energy not supplied due to the reactive power shortage
12. Expected var not supplied due to the real power shortage
13. Expected var not supplied due to the reactive power shortage or voltage violation
14. Expected var not supplied due to the real power shortage
15. Expected VAr not supplied due to the reactive power shortage or voltage violation

# The Effect of Static Var Compensator Modelling in Evaluation of Power Systems Reliability

Siavosh Abbasi<sup>1,4</sup>, Ghazanfar Shahgholian<sup>2,4</sup>, Majid Moazzami<sup>3,4</sup>

- 1- MSc Student, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir
- 3- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, m\_moazzami@pel.iaun.ac.ir
- 4- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

**Abstract:** Adequate storage of reactive power is one of the most important requirements for the proper functioning of the power system in natural and critical conditions. The design and application of reactive power equipment play a very important role in maintaining the optimal performance and reliability of power systems. With the increasing use of static compensators in energy systems, the study of their effect on system performance indicators has become very important. In this paper, the role of different components of a static compensator (SVC) is investigated and the creation of an evaluation model to evaluate the performance of SVC will be mentioned. Then, by using appropriate indicators due to lack of active and reactive power such as unreliable expected energy supply (EENS), expected unmet supply (EVNS) and active load cut-off (ELC) are defined and the effect of SVC on The reliability assessment of the power system has been investigated. The results of this study are used for the management of SVCs as one of the important components of reactive power storage resources as well as more accurate design of power systems and control systems made by SVCs. Be.

**Keywords:** Reactive power, Static reactive power compensators, Reliability, Evaluation indicators, Markov model.