

Optimal Allocation of DSTATCOM for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement in the presence of Photovoltaic Arrays in the Radial distribution Networks

Mohammad Sheerzad¹, Seyyed Mehdi Hosseini²

¹ MSc-Student, Dept. of Electrical and computer Engineering, Babol Noushirvani University of Technology, Babol, Iran

² Professor Assistant, Dept. of Electrical and computer Engineering, Babol Noushirvani University of Technology, Babol, Iran

Abstract:

Electric vehicles (EVs) are new and growing loads in distribution networks. Increasing number of electric vehicles in a distribution network causes increase of electricity energy demand. Therefore, in the absence of any energy consumption management, some distribution system operation constraints (e.g. bus voltage magnitude) may be violated. Power electronic devices used for charging and discharging the batteries, are usually called chargers. The charger could be unidirectional (transfer the energy from network to the battery) or bidirectional. Bidirectional chargers work in four areas of PQ power plane. In this paper, firstly, the active and reactive power management of smart distribution network using electric vehicles as non-linear problem is presented. Then, the problem is converted to mixed integer linear programming (MILP) problem using specific linearization method and is solved by GAMS package. The proposed scheme has been tested on the 33-bus distribution network and its performance and capability have been evaluated by simulation results.

Keywords: Electric Vehicles, Smart distribution network, Active and reactive power management, Mixed integer linear programming problem.

جایابی بهینه جبران‌ساز استاتیک توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در حضور آرایه فتوولتائیک در شبکه توزیع شعاعی

محمد شیرزاد^۱، سیدمهدی حسینی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل -

ایران

m.sheerzadi@stu.nit.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل - ایران

mehdi.hosseini@nit.ac.ir

چکیده: هزینه زیاد توسعه و تجدید ساختار شبکه‌های توزیع، استفاده از ادواتی را برای کاهش مشکلات ناشی از رشد و تغییرات بار، اجتناب‌ناپذیر کرده است. جبران‌ساز استاتیک توزیع یا DSTATCOM از جمله این ادوات است. در این مقاله به مسئله جایابی و اندازه بهینه DSTATCOM در حضور منابع تولید پراکنده مبتنی بر آرایه فتوولتائیک با در نظر گرفتن تغییرات بار پرداخته می‌شود. الگوی فصلی - ساعتی آرایه فتوولتائیک برحسب میانگین توان خروجی تولیدی آن در ساعات مختلف در نظر گرفته می‌شود. همچنین تغییرات بار شبکه نیز با اعمال منحنی فصلی - ساعتی و نیز ضریب رشد سالانه در یک دوره ۵ ساله بیان می‌شوند. در نهایت، هزینه تلفات انرژی اکتیو و راکتیو، هزینه اولیه نصب جبران‌ساز و انحراف ولتاژ میانگین تابع هدف در نظر گرفته می‌شوند. الگوریتم NSGA-II برای بهینه‌سازی مسئله و روش جاروب پسر - پیشرو برای حل معادلات پخش بار به کار گرفته می‌شود و شبیه‌سازی در شبکه‌های نمونه ۳۳ و ۶۹ شینه و در محیط نرم‌افزار Matlab اجرا می‌شود. نتایج نشان می‌دهند جایابی این جبران‌ساز، تلفات توان را کاهش می‌دهد و پروفیل ولتاژ سیستم را بهبود می‌بخشد که همراه با توجه اقتصادی خواهند بود.

واژه‌های کلیدی: آرایه فتوولتائیک، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب، پروفیل ولتاژ، تلفات توان، جبران‌ساز استاتیک توزیع.

۱- مقدمه

سیستم‌های انرژی است. همچنین کاهش تلفات ناشی از انتقال توان در جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری شبکه‌های قدرت اهمیت فراوانی دارد.

اگرچه ادوات FACTS^۱ برای بهبود مسائل کیفیت توان در سیستم‌های انتقال قدرت توسعه یافته‌اند، با ایده‌های مشابه می‌توان آنها را در سیستم‌های توزیع نیز به کار برد. جبران‌ساز استاتیک توزیع یا DSTATCOM^۲ از جمله این ادوات است که در سیستم توزیع استفاده زیادی در جهت بهبود کیفیت توان دارد [۱] از جمله تنظیم ولتاژ، متعادل کردن

تأمین توان تقاضاشده تمامی بارها با کیفیت مطلوب و دامنه ولتاژ پذیرفته شده، از جمله اصلی‌ترین محدودیت‌های

۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

نام نویسنده مسئول: سید مهدی حسینی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - بابل - خیابان دکتر شریعتی - دانشگاه صنعتی نوشیروانی - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

هزینه و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی باکتری در سیستم‌های نمونه ۳۳ و ۱۱۵ شینه بررسی شده است که البته بار سیستم‌های فوق به صورت ثابت و برابر با بار پایه آنها است.

برای همین منظور در مرجع [۹] از الگوریتم جستجوی فاخته به همراه شاخص‌های پایداری ولتاژ و عامل حساسیت تلفات در سیستم‌های نمونه ۱۲، ۳۴ و ۶۹ شینه با بار پایه استفاده شده است. به طور مشابه در مرجع [۱۰] از شاخص‌های مذکور به همراه روش پخش بار مستقیم برای جایابی بهینه هم‌زمان DG و DSTATCOM در سیستم نمونه ۳۳ شینه با بار پایه در بازه زمانی یک ساله به کار گرفته می‌شوند.

در [۱۱] الگوریتم بهینه‌سازی خفاش برای جایابی چندگانه DSTATCOM با در نظر گرفتن تغییرات بار به کار گرفته شده است. تغییرات بار در این مرجع به صورت محدوده تغییرات بار سه سطحی از بار سبک تا بار سنگین با پله‌های یک درصدی الگوسازی شده است.

مسئله تجدید ساختار و جایابی بهینه این جبران‌ساز و آرایه فتوولتاییک به طور هم‌زمان با هدف بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان به روش بهینه‌سازی ترکیبی چندمتغیره فازی و الگوریتم اجتماع مورچه بدون در نظر گرفتن تغییرات بار در مرجع [۱۲] بررسی شده است که البته در آن، آرایه فتوولتاییک همانند یک DG به صورت قطعی و معین مدل سازی شده است. در نهایت در مرجع [۱۳] به مسئله تجدید ساختار شبکه با هدف کاهش تلفات و با در نظر گرفتن هزینه تلفات به کمک روش ژنتیک - فازی در سیستم‌های نمونه ۳۳ و ۶۹ شینه پرداخته شده است.

در این مقاله، جایابی بهینه DSTATCOM در حضور آرایه فتوولتاییک با در نظر گرفتن تغییرات و رشد بار در دوره ۵ ساله در شبکه توزیع شعاعی به کمک الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر مرتب‌سازی نامغلوب صورت می‌گیرد. منحنی تغییرات توان تولیدی خروجی آرایه PV به صورت فصلی - ساعتی در نظر گرفته می‌شود. همچنین تغییرات بار شبکه نیز برحسب منحنی تغییرات فصلی - ساعتی بیان می‌شوند. انحراف ولتاژ میانگین سیستم در ساعات مختلف و هزینه کل تلفات انرژی شامل تلفات انرژی اکتیو و راکتیو و نیز هزینه اولیه نصب DSTATCOM، توابع هدف مسئله

ولتاژ، کاهش هارمونیک، جبران فلیکر ولتاژ، بهبود پایداری، متعادل‌کردن بار، جبران‌سازی توان راکتیو، جبران کاهش ولتاژ و آزادسازی ظرفیت خطوط [۲].

از طرف دیگر، تولید پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه‌های بادی، آرایه‌های فتوولتاییک، پیل سوختی و... به دلایلی همچون کاهش گازهای گلخانه‌ای، کاهش تلفات انرژی، کاهش پیک، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند که از این میان آرایه فتوولتاییک (PV^۳) طبیعت تصادفی دارد و در نتیجه، متغیر و غیرقطعی خواهد بود [۳]. علاوه بر این، بار شبکه نیز متغیر بوده است؛ بنابراین نیاز است ظرفیت جبران‌ساز نیز با سرعت پاسخ مناسب در شرایط باری مختلف تغییر کند که DSTATCOM چنین قابلیت دارد [۲].

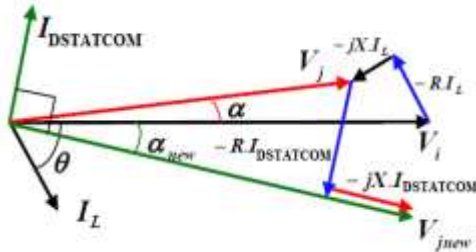
پژوهش‌های متنوعی به بررسی DSTATCOM پرداخته‌اند. در مرجع [۲] الگویی مناسب برای DSTATCOM برای استفاده در معادلات جاروب پسرو - پیشرو معرفی شده است. مرجع [۴] به مسئله جایابی این جبران‌ساز با نگرش تجدید ساختار شبکه و با هدف کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ به روش الگوریتم ازدحام ذرات پرداخته شده است. همچنین بار شبکه‌های نمونه ۶۹ و ۸۳ شینه به صورت ثابت و برحسب مقادیر پایه آنها در نظر گرفته شده است.

در مرجع [۵] از الگوریتم بهینه‌سازی ایمنی برای جایابی DSTATCOM در حضور DG^۴ و با هدف کاهش تلفات اکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ و جریان شبکه استفاده شده است که تغییرات بار شبکه به صورت الگوی بار سه سطحی و بدون در نظر گرفتن رشد بار، الگوسازی شده است. در [۶] جایابی هم‌زمان DSTATCOM و DG، روش بهینه‌سازی چندمتغیره، ازدحام ذرات بهبودیافته با هدف کاهش هزینه تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و با بار ثابت در سیستم‌های نمونه ۳۳ و ۶۹ شینه بررسی شده است. برای همین منظور در [۷] الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی فراگیر و شبکه شعاعی ۳۰ شینه با بار پایه به کار گرفته شده است.

در مرجع [۸] جایابی هم‌زمان DSTATCOM و DG به منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات با در نظر گرفتن

از V_j به $V_{j\text{new}}$ تغییر می‌کند. به منظور سادگی، زاویه ولتاژ V_j یعنی δ در دیاگرام فازوری صفر فرض می‌شود.

با کمی ساده‌سازی ریاضی همان‌طور که در مرجع [۲] بیان شد می‌توان توان راکتیو DSTATCOM را از



شکل (۲): دیاگرام فازوری ولتاژها و جریان‌های شبکه [۲]

روابط (۱) تا (۳) به دست آورد.

$$jQ_{\text{DSTATCOM}} = V_{j\text{new}} \times I_{\text{DSTATCOM}}^* \quad (1)$$

$$V_{j\text{new}} = V_j \angle \alpha_{\text{new}} \quad (2)$$

$$I_{\text{DSTATCOM}} = I_{\text{DSTATCOM}} \angle \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_{\text{new}} \right) \quad (3)$$

در روابط اخیر، $I_{\text{DSTATCOM}} \angle (\pi/2 + \alpha_{\text{new}})$ ، $V_j \angle \delta$ و $V_{j\text{new}} \angle \alpha_{\text{new}}$ ، تزیقی DSTATCOM، به ترتیب ولتاژ شین ژام، ولتاژ شین آم و جریان موجود در خط پس از جایگذاری DSTATCOM هستند.

هنگامی که توان راکتیو محاسبه شده رابطه (۱) به ماکزیمم برسد، دیگر به هیچ وجه ولتاژ گره ژام را در 1 pu کنترل نخواهد کرد. در این شرایط، DSTATCOM، خازن ثابت در نظر گرفته می‌شود که توان راکتیوی برابر با ماکزیمم توان خود تولید می‌کند و بار با توان راکتیو ثابت منفی در گره ژام فرض می‌شود.

۲-۲- الگوی آرایه فتوولتاییک

نیروگاه‌های مبتنی بر فتوولتاییک (PV) به دلیل طبیعت تصادفی‌شان، عدم قطعیت را در شبکه افزایش می‌دهند. به همین دلیل دشوار است PV به طور دقیق تعیین شود؛ زیرا به شدت به شرایط هوا، دمای محیط و فصل، زمان و اقلیم وابسته است [۳]. الگوهایی که طبیعت تصادفی توان PV را در نظر می‌گیرند، به دو دسته کلی روش‌های تحلیلی و روش‌های مونت کارلو تقسیم می‌شوند [۱۴-۱۵].

تعریف می‌شود. سپس تابع هدف دومتغیره مسئله به کمک الگوریتم NSGA-II^۰ بهینه می‌شود و در انتها جواب نهایی از جبهه پارتو انتخاب می‌شود.

در بخش ۲ الگوی DSTATCOM، آرایه فتوولتاییک و بار بیان می‌شود. در بخش ۳ روابط مسئله و تابع هدف معرفی می‌شود. در بخش ۴ چگونگی بهینه‌سازی مسئله تشریح می‌شود. در بخش ۵، مسئله در سیستم نمونه ۳۳ و ۶۹ شینه، شبیه‌سازی می‌شود و نتایج بررسی می‌شوند.

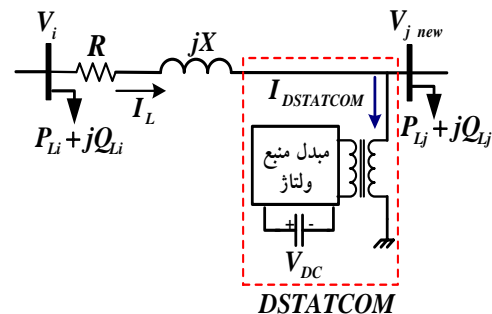
۲- الگوی DSTATCOM، آرایه PV و بار

با توجه به به‌کارگیری پخش بار جاروب پسرو - پیشرو [۲] به منظور اعمال الگوی DSTATCOM و آرایه PV در معادلات پخش بار، از الگوی حالت ماندگار مناسب با قابلیت استفاده در معادلات پخش بار جاروب پسرو - پیشرو استفاده می‌شود.

۲-۱- الگوی جبران‌ساز استاتیک توزیع

جبران‌ساز استاتیک توزیع یا DSTATCOM یک مبدل منبع ولتاژ موازی به همراه یک منبع ذخیره انرژی است و این قابلیت را دارد که هر دو نوع توان اکتیو و راکتیو را به سیستم تزریق یا از آن جذب کند [۲].

در این مقاله فرض بر آن است که DSTATCOM تنها برای تبادل انرژی راکتیو به کار گرفته شود؛ بنابراین از الگوی شکل (۱) در حالت ماندگار استفاده می‌شود.



شکل (۱): دیاگرام تک‌خطی دو شین مجاور شبکه قدرت در حضور DSTATCOM [۲]

همان‌طور که در دیاگرام فازوری شکل (۲) نشان داده شده است، ولتاژ شین ژام هنگام استفاده از DSTATCOM

جایابی بهینه جبران ساز استاتیک توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در حضور ...

توان PV و N_s تعداد کل نمونه های شبیه سازی (۱۰۰,۰۰۰ نمونه) هستند.

مقادیر مشخصه ماژول PV بر مبنای ماژول ۵۳ وات به کار گرفته شده در این فرایند تعیین شده است [۱۴]. توان تولیدی خروجی آرایه PV طبق منحنی مربوط به توان تولیدی PV در شکل (۳) بر حسب مقادیر پریونیت در سال مینا برای دوره ۹۶ ساعته در یک روز نمونه از هر ۴ فصل سال در نظر گرفته می شود؛ در نتیجه، در این مقاله توان تولیدی خروجی منابع PV با ظرفیت از پیش تعیین شده و ثابت طبق منحنی مربوطه در شکل (۳) تغییر می کند.

همچنین در این مقاله فرض بر آن است آرایه های PV تنها قابلیت تولید توان اکتیو دارند و در معادلات پخش بار به صورت شین PQ وارد محاسبات می شوند.

۲-۳- الگوی بار

به جای بار ثابت، در سیستم استاندارد نمونه ۳۳ و ۶۹ شین، تغییرات فصلی - ساعتی پروفیل بار، در نظر گرفته می شوند. به این صورت که بار پایه ذکر شده در سیستم استاندارد ۳۳ شینه با مقادیر ۳۷۰ KW و ۳۳۰۰ KVA_r [۱۶] و ۶۹ شینه با مقادیر ۳۸۰۰ KW و ۲۷۰۰ KVA_r [۱۷] طبق منحنی مربوط به بار در شکل (۳) تغییر می کند. این منحنی، درصد بار پیک سالانه را در هر ساعت بیان می کند [۱۸]. همچنین بار شبکه به صورت سه فاز متعادل در نظر گرفته می شود.

تغییرات ناشی از رشد بار در یک دوره ۵ ساله طبق روابط (۱۰) تا (۱۲) محاسبه می شوند [۱۹].

$$P_{Load}(k) = P_{Load}(0) \times [1 + g]^k \quad (10)$$

$$Q_{Load}(k) = Q_{Load}(0) \times [1 + g]^k \quad (11)$$

$$0 \leq k \leq 4 \quad (12)$$

که در اینجا $P_{Load}(0)$ ، $Q_{Load}(0)$ به ترتیب توان اکتیو و راکتیو بار در سال صفرم یا مینا، $P_{Load}(k)$ ، $Q_{Load}(k)$ به ترتیب توان اکتیو و راکتیو بار در سال k ام و g نیز میزان رشد سالانه بار است که برابر با ۰/۰۷۵ در نظر گرفته می شود.

به طور کلی توان خروجی ماژول ($P_{PV0}(S)$) در تابش خورشید S از روابط (۴) تا (۸) محاسبه می شود [۱۲].

$$P_S = N \times FF \times V \times I \quad (4)$$

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (5)$$

$$V = V_{OC} - K_V \times T_C \quad (6)$$

$$I = S_a [I_{SC} + K_I \times (T_C - 25)] \quad (7)$$

$$T_C = T_a + S_a \left(\frac{N_{OT} - 20}{0.8} \right) \quad (8)$$

که در اینجا، N تعداد ماژول ها، S_a میانگین تابش خورشید، T_C و T_a به ترتیب دمای سلول و دمای متوسط ساعتی محیط بر حسب $(^{\circ}C)$ ، K_V ، K_I به ترتیب ضرایب حرارتی ولتاژ و جریان بر حسب $(V/^{\circ}C)$ و $(A/^{\circ}C)$ ، N_{OT} دمای عملکرد نامی سلول بر حسب $(^{\circ}C)$ ، FF ضریب تراکم، V_{OC} و I_{SC} به ترتیب ولتاژ مدار باز بر حسب (V) و جریان کوتاه بر حسب (A) و V_{MPP} و I_{MPP} به ترتیب ولتاژ و جریان در نقطه ماکزیمم توان هستند.

در مرجع [۱۴-۱۵]، روشی برای الگوسازی توان PV بیان شده است. این استراتژی به دو بخش پردازش داده های تاریخی و به دنبال آن، شبیه سازی تابش آفتاب با استفاده از تابع توزیع احتمال β و سپس محاسبه توان های PV شبیه سازی شده تقسیم می شود. در نهایت، روش هم گرایی شبیه ساز مونت کارلو برای دستیابی به محتمل ترین مقادیر توان های PV در هر ساعت اعمال می شود. داده های در دسترس به طور فصلی تقسیم شده اند. داده های هر فصل نیز به قسمت های ۲۴ ساعته تقسیم شده اند که هر یک به یک ساعت خاص از کل فصل اشاره می کند؛ در نتیجه، ۹۶ ترم زمانی در یک سال (۲۴ تا برای هر فصل) خواهیم داشت. توان میانگین از رابطه هم گرایی شبیه ساز مونت کارلو (رابطه-۹) به دست می آید.

$$P_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_s} P_S(j) \quad (9)$$

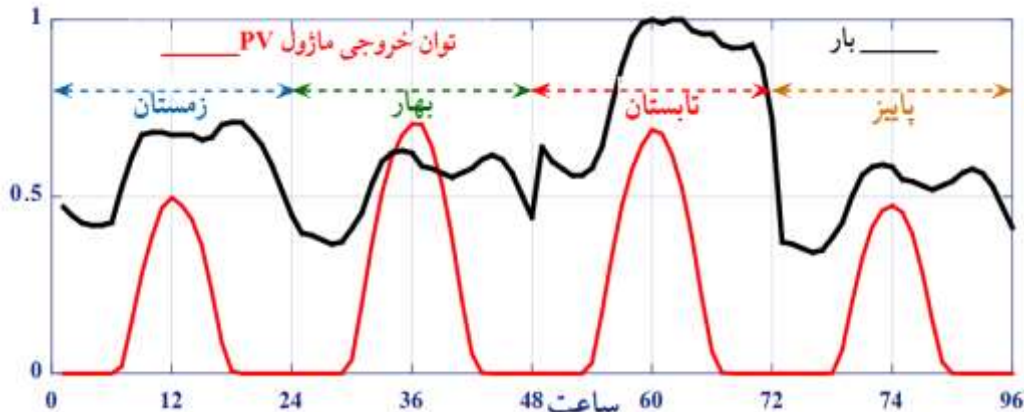
که در این رابطه، P_{ave} همان محتمل ترین مقادیر توان PV محاسبه شده در هر ساعت، در هر فصل، P_S متغیر تصادفی

۳- تعریف تابع هدف مسئله

تعداد کل نمونه‌های مطالعه شده برابر $N_h = 480$ ساعت در - نظر گرفته می‌شوند.

تابع هدف مد نظر برای بهینه سازی متشکل از ۲ متغیر، انحراف ولتاژ میانگین (VD_m) و هزینه تلفات انرژی اکتیو و راکتیو به همراه هزینه اولیه نصب تجهیزات .DSTATCOM

بانوجه به در نظر گرفتن یک دوره ۵ ساله رشد بار و نمونه ساعات انتخابی تولید توان PV و تغییرات فصلی بار که به تعداد ۹۶ ساعت به‌ازای هر سال است، در مجموع،



شکل (۳): منحنی تغییرات بار و توان تولیدی PV برحسب مقادیر پروبیت در سال مبنا انحراف ولتاژ میانگین

به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌شود.

$$E_{P_{Loss}}^T = 91.25 \sum_{h=1}^{N_h} \sum_{i=1}^{N_b} P_{Loss,h}(i, i+1) \quad (15)$$

$$OF = \text{minimize } f(VD_m, CF_{Loss}^T) \quad (13)$$

$$E_{Q_{Loss}}^T = 91.25 \sum_{h=1}^{N_h} \sum_{i=1}^{N_b} Q_{Loss,h}(i, i+1) \quad (16)$$

۳-۱- انحراف ولتاژ میانگین

انحراف ولتاژ میانگین در بازه زمانی ۵ ساله به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$VD_m = \frac{1}{N_h} \sum_{h=1}^{N_h} \sum_{i=1}^{N_b} |V_i(h) - V_b| \quad (14)$$

که در این روابط، $P_{Loss,h}(i, i+1)$ و $Q_{Loss,h}(i, i+1)$ به ترتیب تلفات توان اکتیو و راکتیو خط متصل به شین‌های i ام و $i+1$ ام در نمونه زمانی h ام، $E_{P_{Loss}}^T$ و $E_{Q_{Loss}}^T$ به ترتیب تلفات کل انرژی اکتیو و راکتیو سیستم به‌ازای دوره ۵ ساله مطالعه شده هستند. ضریب $91/25$ برای محاسبه تلفات انرژی کل سیستم در طول ۵ سال اعمال می‌شود که از تقسیم 365 روز یک سال بر 4 روز (یک روز میانگین در هر فصل) به دست می‌آید؛ در نتیجه، هزینه کل تلفات انرژی برابر خواهد بود با:

در اینجا $V_i(h)$ ولتاژ شین i ام سیستم در نمونه زمانی h ام و V_b ولتاژ مبنا است که برابر 1 pu در نظر گرفته می‌شود. N_b تعداد شین سیستم و N_h تعداد کل نمونه‌های زمانی مطالعه شده در دوره ۵ ساله (برابر ۴۸۰ ساعت) است. VD_m نیز انحراف ولتاژ میانگین به‌ازای $N_h = 480$ نمونه زمانی در دوره ۵ ساله مطالعه شده است.

$$CF_{Loss}^T = C_1 \times E_{P_{Loss}}^T + C_2 \times E_{Q_{Loss}}^T + C_{DSTATCOM} \times Q_{DSTATCOM} \quad (17)$$

۳-۲- هزینه تلفات انرژی

که در آن C_1 و C_2 به ترتیب هزینه تولید انرژی اکتیو و راکتیو است که برابر 70 \$/MWh و 16 \$/MVarh در نظر گرفته می‌شود [۲۱]، $E_{P_{Loss}}^T$ تلفات کل انرژی اکتیو

تلفات انرژی کل سیستم در تمام دوره ۵ ساله نیز از روابط (۱۵) و (۱۶) به دست می‌آیند.

جایابی بهینه جبران‌ساز استاتیک توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در حضور ...

در این مقاله، محدوده تغییرات مجاز ولتاژ به صورت تولرانس ۱۰ درصدی در نظر گرفته شده است.

۴- روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

چندهدفه مبتنی بر مرتب‌سازی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه عموماً شامل ۴ اپراتور تناسب، انتخاب، تقاطع و جهش است [۲۳]. الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر مرتب‌سازی نامغلوب یا NSGA-II نیز با اضافه کردن ۲ اپراتور فاصله‌زدحامی و مرتب‌سازی نامغلوب به این ۴ اپراتور، به الگوریتمی چندهدفه تبدیل شده است [۲۴]. نحوه کدگذاری کروموزوم‌ها در این مقاله بدین‌گونه است که هر کروموزوم از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول حاوی مکان بهینه برای نصب DSTATCOM و بخش دوم شامل ظرفیت این تجهیز برحسب KVAR است. همچنین احتمال تقاطع، احتمال جهش و میزان جهش به ترتیب ۰/۷، ۰/۴ و ۰/۰۲ در نظر گرفته می‌شود. تعداد جمعیت اولیه برای سیستم ۳۳ و ۶۹ شینه به ترتیب برابر ۵۰ و ۱۰۰ انتخاب می‌شوند. همچنین حداکثر تعداد تکرار نیز برابر ۱۰۰ انتخاب می‌شود (معیار توقف). الگوریتم روند کلی حل مسئله در شکل (۴) تشریح شده است. مراحل انتخاب جواب نهایی از جبهه پارتو یا همان مجموعه جواب‌های مسئله در ادامه مقاله تشریح می‌شود. همچنین برای ارزیابی صحت روش یادشده، مسئله بروش الگوریتم GA^1 تک‌هدفه با فرض برابری ارزش توابع هدف انحراف ولتاژ میانگین و هزینه تلفات انرژی حل شده است. همچنین در GA مقادیر احتمال تقاطع، احتمال جهش و میزان جهش به ترتیب ۰/۸، ۰/۳ و ۰/۰۵ و تعداد جمعیت اولیه برای سیستم ۳۳ و ۶۹ شینه به ترتیب برابر ۳۰ و ۵۰ و همچنین حداکثر تعداد تکرار نیز برابر ۵۰ (معیار توقف) در نظر گرفته می‌شود.

الگوریتم ارائه شده در شکل (۴)، روند کلی حل مسئله را بیان می‌کند.

برحسب MWh و تلفات کل انرژی $E_{Q_{Loss}}^T$ برحسب MVarh است. DSTATCOM برحسب KVAR و $C_{DSTATCOM}$ ضریب هزینه تمام شده آن است که برابر $\$/KVAR 1650$ در نظر گرفته می‌شود [۸].

۳-۳- قیدهای تابع هدف

قیود ذیل در حل مسئله جایابی بهینه DSTATCOM در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۱- قید توان راکتیو تزریقی DSTATCOM

$$Q_{DSTATCOM}^{Min} \leq Q_{DSTATCOM} \leq Q_{DSTATCOM}^{Max} \quad (18)$$

که در اینجا $Q_{DSTATCOM}^{Min}$ و $Q_{DSTATCOM}^{Max}$ به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل توان راکتیو خروجی DSTATCOM هستند. در این مقاله فرض بر آن است در صورتی که در معادلات پخش بار به مقادیر حدی خود برسد، در این مقادیر باقی مانده و شین PV به شین PQ تبدیل می‌شود [۲]. برای واقعی شدن نتایج شبیه‌سازی مقدار ظرفیت پایه این ادوات برابر 50 KVAR در نظر گرفته می‌شود [۲۲].

۳-۳-۲- حد حرارتی خطوط

$$|I_i| < I_{i,max} \quad \forall i \in N \quad (19)$$

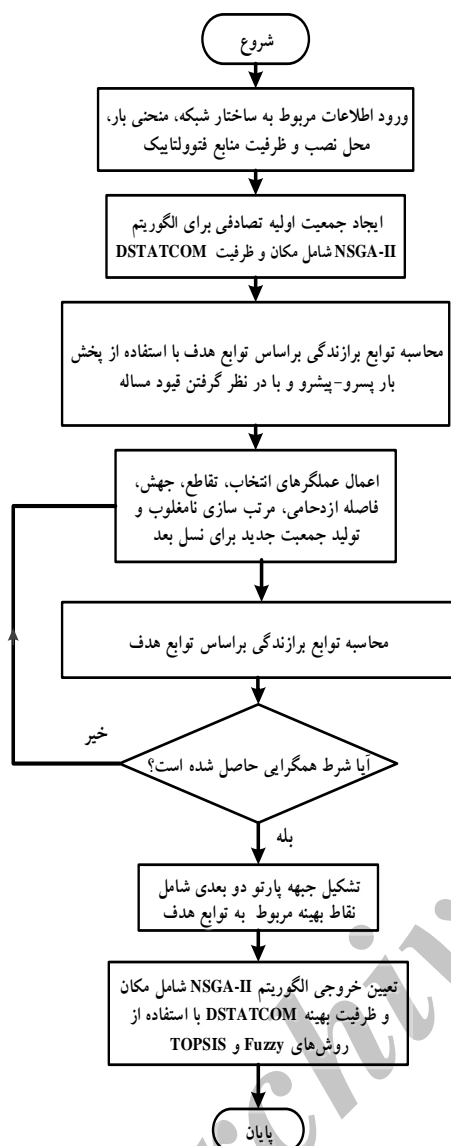
I_i مقدار جریان شاخه i و $I_{i,max}$ مقدار حداکثر قابل عبور جریان در شاخه i و N مجموعه شاخه‌های شبکه هستند. در این مقاله فرض بر آن است افزایش جریان شبکه ناشی از رشد بار در دوره ۵ ساله به تخطی از حد حرارتی خطوط سیستم استفاده شده منجر نگردد.

۳-۳-۳- محدودیت مجاز ولتاژ شین‌ها

$$V_{min} < V_i < V_{max} \quad \forall i \in N_b \quad (20)$$

V_{min} حداقل دامنه ولتاژ، V_{max} حداکثر دامنه ولتاژ شین‌ها و N_b تعداد شین‌های شبکه نمونه را نشان می‌دهند.

۵- شبیه سازی مسئله



شکل (۴): الگوریتم روند حل مسئله

با فرض مثبت بودن این شاخص، جبهه پارتو پاسخ های مسئله به صورت شکل (۵) و (۶) تقلیل می یابد.

۵-۱- انتخاب پاسخ نهایی

پس از رسیدن به جبهه پارتو، دستیابی به پاسخ های نامغلوب مسئله با توجه به تنوع پاسخ های موجود، بنا به لزوم عملی، انتخاب یک پاسخ نهایی، ضروری به نظر می رسد. در مقالات مختلف روش های متنوعی برای انتخاب پاسخ نهایی از قبیل LP-Norm، TOPSIS، Fuzzy و... استفاده می شود [۲۵]. در این مقاله برای تعیین یک پاسخ نهایی از روش فازی و TOPSIS بهره گرفته می شود.

شبیه سازی در شرایط حضورداشتن و نداشتن منابع PV در محیط نرم افزار Matlab 2015a صورت می گیرد. منابع PV در سال اول مطالعه جایابی می شوند و ظرفیت کل آرایه های PV نصب شده در سیستم، مقداری ثابت و برابر ۲۶۳۳ KW در سیستم ۳۳ شینه و ۷۸۳ KW در سیستم ۶۹ شینه در نظر گرفته می شود [۲۳].

شبیه سازی در سیستم ۳۳ شینه در ۴ حالت زیر می شود:
حالت ۱: جایابی DSTATCOM در حضورنداشتن آرایه PV
حالت ۲: جایابی DSTATCOM در حضور یک آرایه PV
حالت ۳: جایابی DSTATCOM در حضور دو آرایه PV
حالت ۴: جایابی DSTATCOM در حضور سه آرایه PV
به طور مشابه برای سیستم ۶۹ شینه نیز شبیه سازی در ۴ حالت زیر انجام می شود:

حالت ۱: جایابی DSTATCOM در حضورنداشتن آرایه PV
حالت ۲: جایابی DSTATCOM در حضور یک آرایه PV
حالت ۳: جایابی DSTATCOM در حضور سه آرایه PV
حالت ۴: جایابی DSTATCOM در حضور پنج آرایه PV
برای تقلیل پاسخ های درخور بررسی مسئله شاخص کاهش هزینه $Cost_{Saving}$ به صورت زیر تعریف می شود.

$$Cost_{Saving} = Cost_{Without PV \& DS}^{Loss} - Cost_{With PV \& DS}^{Loss} - Cost_{Investment}^{DSTATCOM} \quad (21)$$

که در اینجا $Cost_{Without PV \& DS}^{Loss}$ هزینه تلفات انرژی در شرایط حضورنداشتن منابع PV و DSTATCOM، $Cost_{With PV \& DS}^{Loss}$ ، هزینه تلفات انرژی پس از جایابی منابع PV و DSTATCOM و $Cost_{Investment}^{DSTATCOM}$ هزینه سرمایه گذاری اولیه DSTATCOM برحسب دلار آمریکا (\$) هستند.

جایابی بهینه جبران‌ساز استاتیک توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در حضور ...

• روش Fuzzy

هدف می باشد. هرچه مقادیر تابع عضویت برای یک پاسخ به عدد یک نزدیک تر شود به معنای نزدیکی تابع به مقدار بهینه آن است.

در نتیجه درجه هر یک از پاسخ های بهینه جبهه پارتو را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

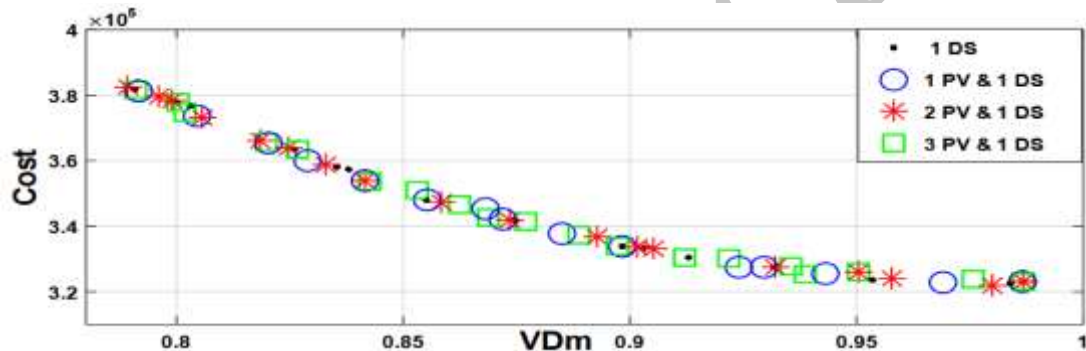
$$\mu^j = \frac{\sum_{i=1}^m \mu(F_i^j)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu(F_i^j)} \quad (23)$$

که در اینجا اندیس j شمارنده پاسخ های جبهه پارتو با تعداد n پاسخ می باشد.

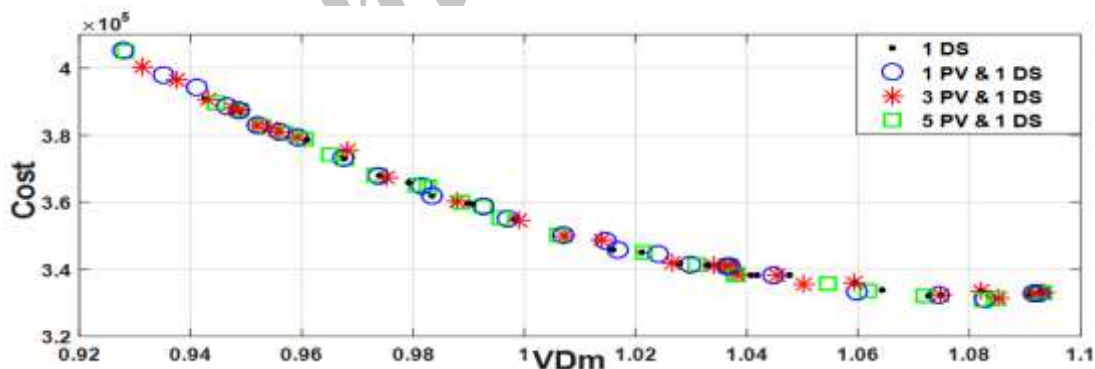
در این روش یک تصمیم گیرنده فازی تعریف می شود؛ بدین صورت که تابع خطی موسوم به تابع عضویت برای هر پاسخ نامغلوب جبهه پارتو به شکل رابطه (۲۲) محاسبه می شود [۲۶].

$$\mu_i(F_i) = \begin{cases} 1 & F_i \leq F_i^{\text{Min}} \\ \frac{F_i^{\text{Max}} - F_i}{F_i^{\text{Max}} - F_i^{\text{Min}}} & F_i^{\text{Min}} < F_i < F_i^{\text{Max}} \\ 0 & F_i \geq F_i^{\text{Max}} \end{cases} \quad (22)$$

که در آن F_i تابع هدف i ام مسئله، F_i^{Min} و F_i^{Max} به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه تابع هدف i ام و $\mu_i(F_i)$ تابع عضویت آن و اندیس i شمارنده توابع هدف مسئله با تعداد m تابع



شکل (۵): جبهه پارتو تقلیل یافته سیستم ۳۳ شینه



شکل (۶): جبهه پارتو تقلیل یافته سیستم ۶۹ شینه

ایدئال و غیرایدئال، مسئله فاصله هر پاسخ از نقطه های فوق طبق روابط زیر محاسبه می شود [۲۷].

فاصله پاسخ j ام از پاسخ ایدئال مسئله برابر است با:

$$d_+^j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (F_i^j - F_i^{\text{Ideal}})^2} \quad (24)$$

• روش TOPSIS

در این روش برای مسئله، یک پاسخ ایدئال و یک پاسخ غیرایدئال تعریف می شود. یک پاسخ غیرایدئال در فضای پاسخ های مسئله، نقطه ای با بدترین مقادیر به دست آمده هر تابع هدف مسئله است. به طریق مشابه پاسخ ایدئال هم نقطه ای متناظر با بهترین مقادیر است. پس از تعریف پاسخ

مشابه افزایش تعداد آرایه PV به ترتیب به کاهش ۰/۲ و ۱/۲۱ درصدی تلفات انرژی منجر می شود.

از طرف دیگر، مقادیر جدول (۱) و نیز شکل (۹) نشان می دهند جایابی این جبران ساز، اثر مثبتی در بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می گذارد؛ به این شکل که در ابتدا با حضور یک و دو منبع PV بهبود پروفیل ولتاژ روند افزایش دارد، اما با حضور سه منبع PV این روند معکوس می شود؛ برای مثال در روند افزایش تعداد آرایه PV در روش Topsis به ترتیب ۰/۵۶ درصد کاهش و ۰/۱۳ درصد افزایش در مقدار شاخص انحراف ولتاژ میانگین مشاهده می شود و در روش Fuzzy نیز به ترتیب به کاهش مقادیر ۲/۰۱ و افزایش ۲/۶۴ درصدی در این شاخص منجر می شود.

در صورت با توجه به مقادیر کاهش هزینه تلفات در جدول (۱) و شکل (۱۰) جایابی ادوات DSTATCOM بهره اقتصادی دارد؛ به این صورت که مقادیر کاهش هزینه تلفات از حداقل مقدار ۱۲/۸ درصد برای حالت اول در روش Fuzzy تا حداکثر مقدار ۱۸/۸ درصد در حالت چهارم در روش Topsis متغیر خواهند بود.

در شکل های (۱۱) و (۱۲)، پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۳۳ شینه برحسب مقادیر میانگین دامنه ولتاژ برای ۴۸۰ ساعت نمونه مطالعه شده به دست می آید. روند تغییرات پروفیل ولتاژ در این شکل ها در حالات ۴ گانه مشاهده می شوند.

از نقطه نظر مقایسه روش انتخاب پاسخ نهایی نیز می توان به این نتیجه رسید که پاسخ های هر دو روش Fuzzy و Topsis به مقادیر تقریباً مشابهی در تلفات توان اکتیو و راکتیو منجر می شود؛ برای مثال در حالت سوم، تلفات انرژی اکتیو برای روش های Fuzzy و Topsis به ترتیب برابر ۲۵۵۰/۹ MWh و ۲۵۶۳ MWh و برای تلفات انرژی راکتیو نیز برابر ۱۷۸۵/۶ MVarh و ۱۷۶۹/۷ می شود؛ اما با توجه به اختلاف موجود در مقادیر ظرفیت بهینه DSTATCOM مقادیر کاهش هزینه تلفات انرژی نیز اختلاف چشمگیری دارند؛ مثلاً در حالت سوم (که مقادیر تلفات توان آن در بالا ذکر شد) با توجه به اینکه ظرفیت بهینه جبران ساز به ترتیب برای روش Fuzzy برابر ۱۰۸۱ kVar و برای روش Topsis، ۶۷۶ kVar است،

فاصله پاسخ ژام از پاسخ غیرایدهال مسئله برابر است:

$$d_{-}^j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (F_i^j - F_i^{Non-Ideal})} \quad (25)$$

سپس پارامتر Cl_i به صورت رابطه (۲۶) تعریف می شود:

$$Cl_i = \frac{d_{-}^j}{d_{-}^j + d_{+}^j} \quad (26)$$

نهایتاً پاسخ نهایی روش Topsis نیز برابر پاسخ متناظر با حداکثر مقدار پارامتر فوق خواهد بود.

نتایج و انتخاب جواب نهایی برای حالات مختلف شبیه سازی در جدول (۱) و (۲) خلاصه شده اند. نمودارهای ارائه شده در شکل های (۷) الی (۱۴)، نتایج تحلیل داده های حالات مختلف شبیه سازی را نمایش می دهند. با مقایسه مقادیر پاسخ های نهایی به روش Topsis و Fuzzy روش GA، صحت روش ارائه شده در این مقاله ثابت می شود.

۶- تحلیل نتایج شبیه سازی

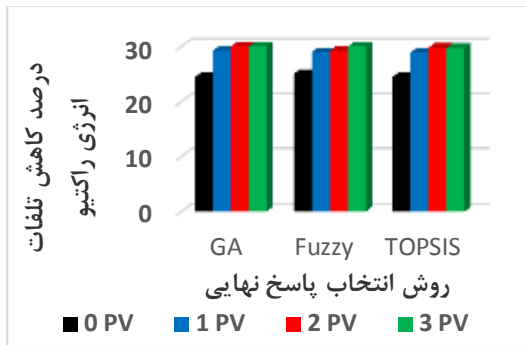
با توجه به مقادیر جدول (۱) و شکل های (۷) و (۸)، تلفات انرژی اکتیو و راکتیو سیستم ۳۳ شینه پس از جایابی DSTATCOM به طور چشمگیری کاهش می یابند؛ برای مثال، تلفات انرژی اکتیو در حالت سوم به میزان ۳۰/۹۲ درصد در روش Topsis و ۳۰/۶۲ درصد در روش Fuzzy کاهش می یابد. شرایط مشابه برای تلفات توان راکتیو هم به وقوع می پیوندد؛ به طوری که مثلاً در حالت دوم تلفات انرژی راکتیو به میزان ۲۸/۹۱ درصد در روش Topsis و ۲۸/۹۹ درصد در روش Fuzzy کاهش می یابد. هر چند در ابتدا با حضور یک آرایه PV، روند کاهش تلفات توان تقویت می شود، افزایش تعداد منابع PV از یک به دو و سه منبع در شبکه با فرض ثابت ماندن ظرفیت کل آنها به تغییرات جزئی منجر خواهد شد؛ برای نمونه در روش Topsis، تلفات انرژی اکتیو با افزایش تعداد آرایه PV از ۱ به ۲ و ۲ به ۳ منبع به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۰۳ درصد کاهش می یابد. روند تقریباً مشابه برای تلفات توان راکتیو نیز وجود دارد؛ به طوری که مثلاً در روش Fuzzy، روند

در سیستم ۶۹ شینه نیز جایابی DSTATCOM به نتایج مشابه‌ای مانند سیستم ۳۳ شین منجر می‌شود. از طرف دیگر، نگاه ضمنی به مقادیر جدول (۲) و نمودارهای شکل (۱۳) و (۱۴) نشان می‌دهد افزایش تعداد منابع PV از سه منبع به پنج منبع به معکوس شدن روند کاهش تلفات توان اکتیو و راکتیو سیستم منجر می‌شود؛ برای نمونه، روند افزایش تعداد آرایه‌های PV از ۱ به ۳ و ۳ به ۵، به ترتیب به افزایش ۱/۸۵ و ۱/۰۴ درصدی تلفات انرژی اکتیو در روش Fuzzy منجر می‌شود و به‌طور مشابه در تلفات انرژی راکتیو به روش TOPSIS به ترتیب افزایش ۱/۶۱ و ۰/۸۳ درصدی مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش تعداد آرایه‌های PV، روندی مشابه تلفات توان در مقادیر انحراف ولتاژ میانگین نیز مشهود است.

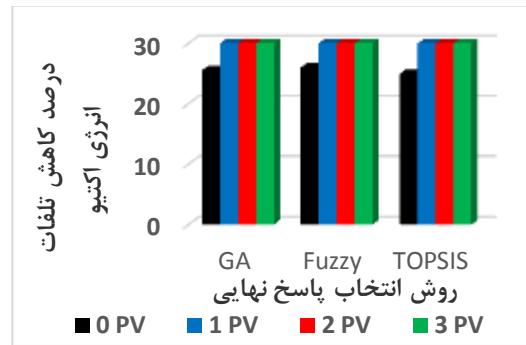
به ترتیب مقادیر ۳۶۷۲۷ و ۵۶۱۹۲ دلار کاهش در هزینه تلفات مشاهده می‌شود؛ اما در همین شرایط، مقادیر پرینت شاخص انحراف ولتاژ میانگین به ترتیب برابر ۰/۶۸۱۹ و ۰/۷۹۳۵ می‌شود. در نتیجه، پاسخ نهایی حاصل از روش Fuzzy با رویکرد بهبود هرچه بیشتر شاخص‌های کیفیت توان و پاسخ حاصل از روش TOPSIS با رویکرد اقتصادی‌تر به حل مسئله جایابی DSTATCOM می‌پردازد. همچنین با نگاه ضمنی به پاسخ‌های این دو روش می‌توان بیان داشت حضور منابع PV با ظرفیت کل ثابت و ضریب توان واحد، تأثیر چندانی در تعیین مکان DSTATCOM ندارد؛ اما اندازه بهینه آن را تا حدودی تغییر خواهد داد. در جدول (۲) و نمودارهای شکل‌های (۱۳) الی (۱۶)، نتایج شبیه‌سازی در سیستم ۶۹ شینه نمایش داده شده است.

جدول (۱): نتایج شبیه‌سازی سیستم ۳۳ شینه پس از انتخاب پاسخ نهایی

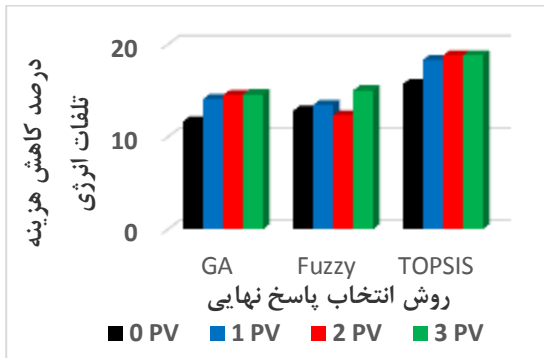
کاهش هزینه	انحراف ولتاژ میانگین (pu)	تلفات کل انرژری راکتیو (MVarh)	تلفات کل انرژری اکتیو (MWh)	DSTATCOM		PV		روش انتخاب جواب نهایی	حالت
				اندازه (KVar)	مکان (Bus#)	اندازه (KW)	مکان		
۳۸۲۷۶۰	۱/۱۸۸۴	۳۲۰۵/۲	۴۷۳۵/۴	-	-	-	-	-	-
۴۴۶۵۰	۰/۸۸۲۰	۲۴۲۲/۵	۳۵۲۶/۵	۱۰۴۹/۴	۳۰	-	-	GA	۱
۴۹۰۱۳	۰/۸۹۸۲	۲۴۰۳/۵	۳۵۰۴/۴	۹۹۱	۳۰	-	-	Fuzzy	-
۶۰۱۵۵	۰/۹۸۴۰	۲۴۲۰/۶	۳۵۵۵/۶	۶۸۶	۳۰	-	-	TOPSIS	-
۳۰۸۷۸۰	۱/۰۲۴۰	۲۶۳۷/۸	۳۸۲۰/۳	-	-	-	-	-	-
۴۳۵۲۰	۰/۷۲۸۶	۱۸۶۷	۲۶۳۳/۴	۱۰۲۰/۹	۳۰	۲۶۳۳	۶	GA	۲
۴۱۴۶۴	۰/۷۲۳۷	۱۸۷۳/۲	۲۶۴۰/۶	۱۰۳۹	۳۰	-	-	Fuzzy	-
۵۶۵۶۴	۰/۸۲۳۹	۱۸۷۵/۲	۲۶۷۴/۵	۶۷۷	۳۰	-	-	TOPSIS	-
۲۹۸۹۲۰	۰/۹۹۳۱	۲۵۲۱/۷	۳۶۹۳/۹	-	-	-	-	-	-
۴۳۳۵۰	۰/۶۹۹۰	۱۷۶۱/۳	۲۵۲۱/۸	۱۰۱۷/۳	۳۰	۲۱۳۸	۶	GA	۳
۳۶۷۲۷	۰/۶۸۱۹	۱۷۸۵/۶	۲۵۵۰/۹	۱۰۸۱	۳۰	۴۹۵	۱۸	Fuzzy	-
۵۶۱۹۲	۰/۷۹۳۵	۱۷۶۹/۷	۲۵۶۳	۶۷۶	۳۰	-	-	TOPSIS	-
۲۹۸۲۱۰	۰/۹۹۸۸	۲۵۲۰/۵	۳۶۸۴	-	-	۱۹۷۲	۶	-	-
۴۳۵۲۰	۰/۷۰۶۰	۱۷۵۹/۷	۲۵۱۱/۷	۱۰۱۴/۲	۳۰	۳۲۸	۱۸	GA	۴
۴۴۷۶۱	۰/۷۱۱۱	۱۷۵۴/۲	۲۵۰۴/۴	۹۹۵	۳۰	-	-	Fuzzy	-
۵۶۰۷۵	۰/۷۹۹۳	۱۷۶۹/۵	۲۵۵۴/۶	۶۷۶	۳۰	۳۳۳	۲۸	TOPSIS	-



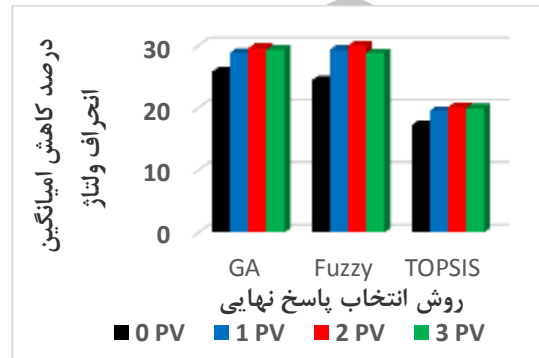
شکل (۸): درصد کاهش تلفات انرژی راکتیو سیستم ۳۳ شبهه



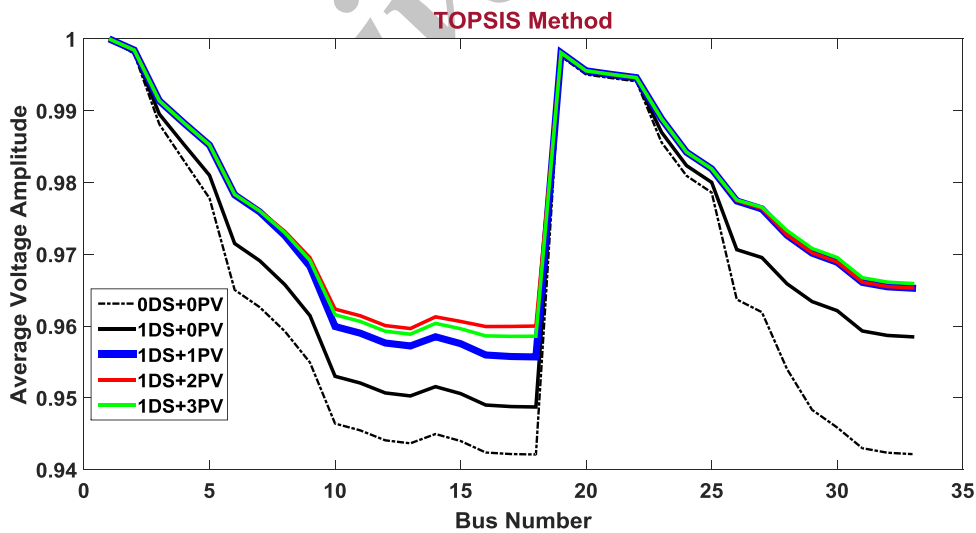
شکل (۷): درصد کاهش تلفات انرژی اکتیو سیستم ۳۳ شبهه



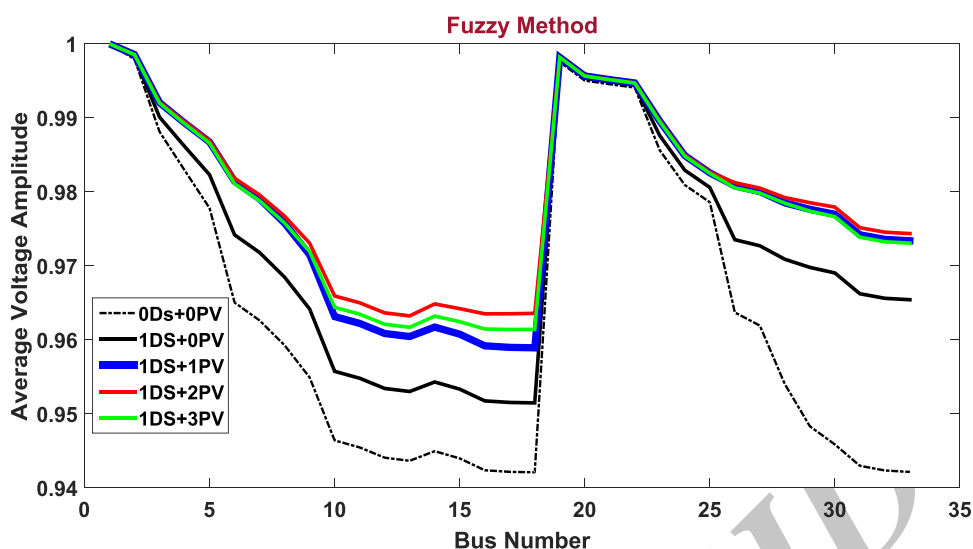
شکل (۱۰): درصد کاهش هزینه تلفات انرژی سیستم ۳۳ شبهه



شکل (۹): درصد کاهش انحراف ولتاژ میانگین سیستم ۳۳ شبهه



شکل (۱۱): پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۳۳ شبهه در روش انتخاب پاسخ نهایی TOPSIS



شکل (۱۲): پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۳۳ شینه در روش انتخاب پاسخ نهایی Fuzzy

۷- نتیجه گیری

با استفاده از نتایج شبیه سازی این مقاله، حضور جبران‌ساز استاتیک توزیع با قابلیت تزریق توان راکتیو در شبکه، کاهش توان راکتیو کشیده شده از ابتدای فیدر را موجب می شود و در نتیجه، این موضوع، کاهش چشمگیری در تلفات توان اکتیو و راکتیو شده دارد و نیز بهبود پروفیل ولتاژ را موجب می شود.

هرچند حضور منابع تولید پراکنده مبتنی بر آرایه PV با قابلیت تزریق توان اکتیو، تا حدی پروفیل

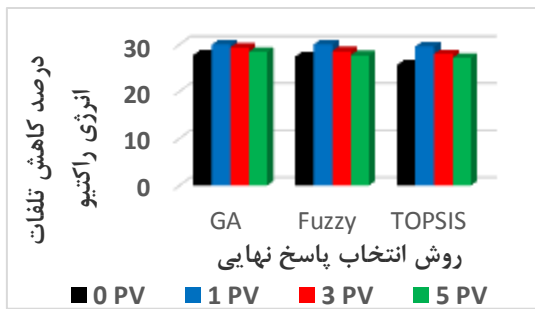
مثلاً با افزایش تعداد منابع PV از ۱ به ۳ در روش Fuzzy مقدار پریونیت انحراف ولتاژ میانگین از مقدار ۰/۹۳۱۰ به ۰/۹۷۴۲ افزایش می یابد و در روش TOPSIS از ۱/۰۱۶۱ به ۱/۰۶۰۲ تغییر می کند.

شکل های (۱۷) و (۱۸) پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۶۹ شینه را برحسب مقادیر میانگین دامنه ولتاژ برای ۴۸۰ ساعت نمونه مطالعه شده به دست می دهد. روند تغییرات پروفیل ولتاژ در این شکل ها در حالات ۴ گانه برای سیستم ۶۹ شینه مشاهده می شود.

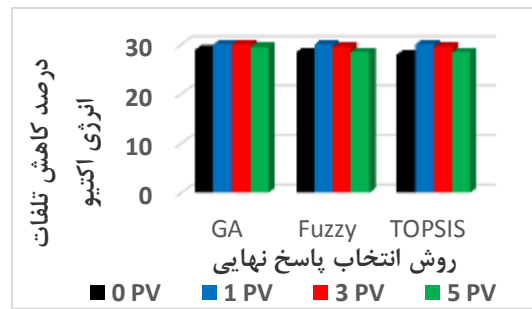
جدول (۲): نتایج شبیه سازی سیستم ۶۹ شینه پس از انتخاب پاسخ نهایی

کاهش هزینه	انحراف ولتاژ میانگین (pu)	تلفات کل انرژی راکتیو (MVarh)	تلفات کل انرژی اکتیو (MWh)	D-STATCOM		PV		روش انتخاب جواب نهایی
				اندازه (KVar)	مکان (Bus#)	اندازه (KW)	مکان	
-	۴۰۵۸۸۰	۱/۲۷۷۵	۲۳۸۸	۵۲۵۲/۴	-	-	-	-
۶۵۴۷۰	۳۴۰۴۱۰	۱/۰۳۱	۱۷۲۵/۲	۳۷۳۲/۸	۱۰۳۰/۱	۶۱	-	حالت GA
۶۰۰۱۲	۳۴۵۸۷۰	۱/۰۱۵۹	۱۷۳۳/۷	۳۷۵۹	۱۰۹۹	۶۱	-	Fuzzy ۱
۷۲۸۹۸	۳۳۲۹۸۰	۱/۰۹۲۷	۱۷۷۵/۵	۳۷۸۴/۲	۷۵۵	۶۱	-	TOPSIS
-	۳۵۱۶۶۰	۱/۲۷۵۰	۲۰۸۷/۸	۴۵۴۶/۵	-	-	-	-
۶۴۰۷۰	۲۸۷۵۹۰	۰/۹۶۱۲	۱۴۴۱	۳۰۶۳/۷	۱۰۰۱/۵	۶۱	۷۸۳	حالت GA
۵۲۲۸۲	۲۹۹۳۸۰	۰/۹۳۱۰	۱۴۶۰/۴	۳۱۲۱/۶	۱۱۴۰	۶۱	۶۲	Fuzzy ۲
۷۰۱۳۳	۲۸۱۵۳۰	۱/۰۱۶۱	۱۴۷۰/۱	۳۱۱۴/۴	۷۵۶	۶۱	-	TOPSIS
-	۳۷۹۹۸۰	۱/۲۴۱۴	۲۲۳۳/۳	۴۹۱۷/۸	-	-	۳۳۲	حالت GA

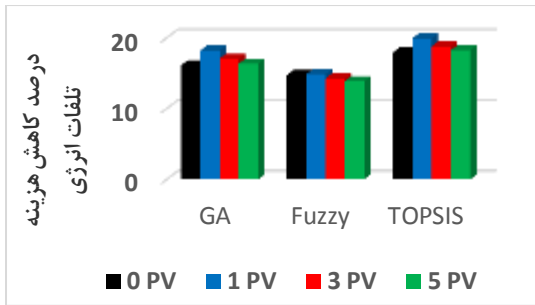
۶۴۸۹۰	۳۱۵۰۹۰	۱/۰۰۱	۱۵۷۷/۵	۳۴۵۰/۹	۱۰۱۶/۴	۶۱	۲۷۲	۴۹	GA	حالت ۴
۵۴۲۱۸	۳۲۵۷۶۰	۰/۹۷۴۲	۱۵۹۵/۴	۳۴۶۷/۶	۱۱۳۹	۶۱	۱۷۹	۲۹	Fuzzy	
۷۱۴۷۲	۳۰۸۵۱۰	۱/۰۶۰۲	۱۶۰۸/۴	۳۴۶۸/۲	۷۵۲	۶۱			TOPSIS	
-	۳۹۶۹۴۰	۱/۲۵۶۹	۲۳۲۱/۲	۵۱۴۰	-	-	۵۰	۶۲	-	
۶۴۹۸۰	۳۳۱۹۶۰	۱/۰۱۲۸	۱۶۶۰/۴	۳۶۲۶	۱۰۳۱/۵	۶۱	۷۰	۴۹	GA	
۵۵۱۶۵	۳۴۱۷۷۰	۰/۹۸۸۲	۱۶۷۸	۳۶۷۷/۵	۱۱۴۴	۶۱	۱۳۵	۲۹	Fuzzy	
۷۲۴۴۸	۳۲۴۴۸۰	۱/۰۷۵۲	۱۶۹۰/۹	۳۶۸۵/۲	۷۵۳	۶۱	۱۷۵	۶۶	TOPSIS	
							۲۶۰	۵۰		



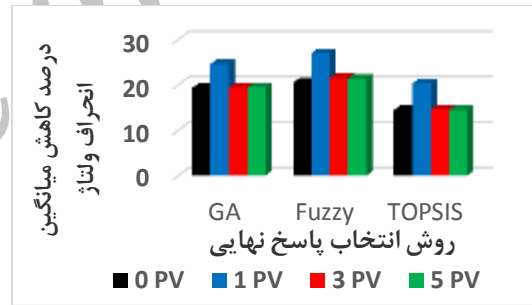
شکل (۱۴): درصد کاهش تلفات انرژی راکتیو سیستم ۶۹ شینه



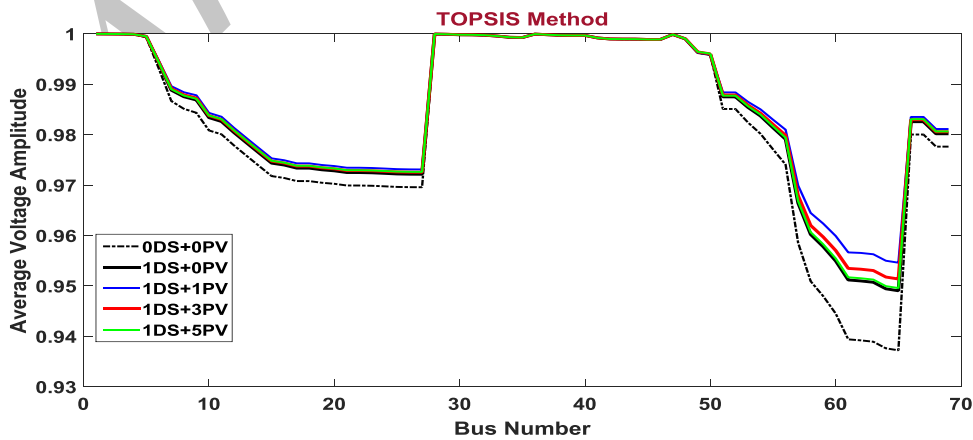
شکل (۱۳): درصد کاهش تلفات انرژی اکتیو سیستم ۶۹ شینه



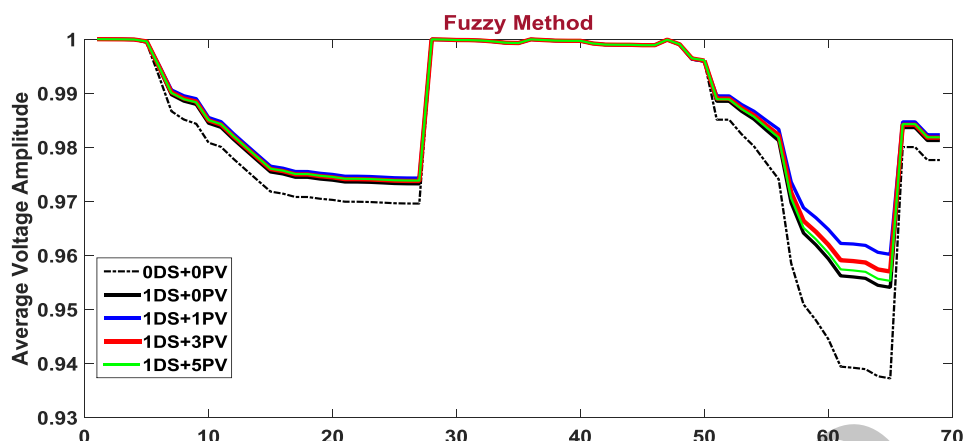
شکل (۱۶): درصد کاهش هزینه تلفات انرژی سیستم ۶۹ شینه



شکل (۱۵): درصد کاهش انحراف ولتاژ میانگین سیستم ۶۹ شینه



شکل (۱۷): پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۶۹ شینه در روش انتخاب پاسخی نهایی TOPSIS



شکل (۱۸): پروفیل ولتاژ میانگین سیستم ۶۹ شینه در روش انتخاب پاسخ نهایی Fuzz

- [2] M.Hosseini, H.A.Shayanfar and M.Futohi-Firozabad, "Modeling of Series and Shunt Distribution FACTS Devices in Distribution Systems Load Flow", Journal of Electrical Systems. Vol. 4, No. 4, pp. 1-12, 2008.
- [3] N. Ghaffarzadeh and A. Salimi, "A New Control Method of Photovoltaic-Battery Hybrid System Connected to the Electrical Network by Using Model Predictive Controller", Computational Intelligence in Electrical Engineering. Vol. 7, No. 2, pp. 29-40, 2016.
- [4] S.Jazebi, S.H. Hosseinian and B. Vahidi, "DSTATCOM Allocation in Distribution Networks Considering Reconfiguration Using Differential Evolution Algorithm", Energy Conversion and Management. Vol. 52, No. 7, pp. 2777-2783, 2011.
- [5] S.A.Taher and S.A.Afsari, "Optimal Location and Sizing of DSTATCOM in Distribution Systems by Immune Algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Vol. 60, pp. 34-44, 2014.
- [6] G.Balakrishna and C.S.Babu, "Multi objective Distributed Generators and DSTATCOM Siting and Sizing by Modified Particle Swarm Optimization", International Advanced Research Journal in Science Engineering and Technolog. Vol. 2, No. 12, pp. 154-159, 2015.
- [7] J.Sanami, S.Gangull and A.K. Panda, "Allocation of DSTATCOM and DG in distribution systems to reduce power loss using ESM algorithm, Power Electronics", IEEE International Conference on Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). pp. 1-5, 2017.
- [8] K.R.Devabalaji and K.Ravi, "Optimal size and siting of multiple DG and DSTATCOM in

ولتاژ و کاهش تلفات را تقویت می کند، افزایش تعداد این منابع با شرط ثابت ماندن ظرفیت کل آنها اثر معکوس دارد و شاخص‌های فوق را تضعیف می کند.

در هر صورت، حضور DSTATCOM این اثرات منفی را کاهش می دهد. در واقع، حضور منابع با ظرفیت کل ثابت و ضریب توان واحد، تأثیر چندانی در تعیین مکان بهینه DSTATCOM ندارد؛ اما مقادیر بهینه این ادوات را دستخوش تغییر می کند. در یک نگاه کلی، اگرچه مکان‌یابی منابع PV با محدودیت جغرافیایی روبه‌رو است، اندازه، مکان و تعداد این منابع به بهینه‌سازی نیاز دارند.

در انتها برای پژوهش‌های آتی موارد ذیل پیشنهاد می‌شوند:

- ✓ بررسی مسئله تأثیر تغییرات ضریب توان منابع PV بر روی مکان‌یابی DSTATCOM؛
- ✓ بررسی مسئله تأثیر تولید توان اکتیو DSTATCOM با بهره‌گیری از ذخیره‌سازهای انرژی مبتنی بر پیل سوختی.

مراجع

- [1] A. Lashkrara and H.B.Tolabi, "Nonlinear Modeling and Controller Design of DSTATCOM in a Microgrid Based on Combination of Fuzzy Set and Bees Algorithm", Computational Intelligence in Electrical Engineering. Vol. 7, No. 4, pp. 57-66, 2017.

- IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 4, No. 1, pp. 725-734, 1989.
- [18] Y.M.Atwa, E.F.El-Saadany, M.M.A.Salama and R.Seethapathy, "Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization", IEEE Transaction on Power Systems. Vol. 25, No. 1, pp. 360-370, 2010.
- [19] D.Das, "Maximum Loading and Cost of Energy Loss of Radial Distribution Feeders", Electrical Power and Energy Systems. Vol. 26, No. 4, pp. 307-314, 2004.
- [20] A.Samimi., A.Kazemi and P.Siano, "Economic-Environmental Active and Reactive Power Scheduling of Modern Distribution Systems in Presence of Wind Generations: A Distribution Market-Based Approach", Energy Conversion and Management, Vol. 106, pp. 495-509, 2015.
- [21] R.A.Guptaa and A.Kumarb, "Energy Savings Using DSTATCOM Placement in Radial Distribution System", Procedia Computer Science. Vol. 70, pp. 558-564, 2015.
- [22] S.M.Hosseini and R.Baghipour, "Optimal Placement of DGs in Distribution System including Different Load Models for Loss Reduction using Genetic Algorithm", Journal of Advances in Computer Research. Vol. 4, No.3, pp. 55-68, 2013.
- [23] K.Deb, A.Pratap, S.Agarwal and T.Meyarivan, "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation. Vol. 6, No. 2, pp. 182-197, 2002.
- [24] M.Jamil and A.S.Anees, "Optimal Sizing and Location of SPV (Solar Photovoltaic) Based MLDG (Multiple Location Distributed Generator) in Distribution System for Loss Reduction, Voltage Profile Improvement with Economical Benefits", Energy. Vol. 103, pp. 231-239, 2016.
- [25] H.Sayyaadi and R.Mehrabipour, "Efficiency Enhancement of a Gas Turbine Cycle Using an Optimized Tubular Recuperative Heat Exchanger", Elsevier Journal of Energy. Vol. 38, No. 1, pp. 362-375, 2012.
- [26] R.B.Narmatha and D.Devaraj, "Multi-Objective GA with Fuzzy Decision Making for Security Enhancement in Power System", Journal of Applied Soft Computing. Vol. 12, No. 9, pp. 2756-2764, 2012.
- [27] M. Etghani, H. M. Shojaeefard, A. Khalkhali and M.Akbari, "A hybrid method of modified NSGA-II and TOPSIS to optimize performance and emissions of a diesel engine using biodiesel", Journal of Applied Thermal Engineering. Vol. 59, pp. 309-315, 2013.
- Radial Distribution System Using Bacterial Foraging Optimization Algorithm", Ain Shams Engineering Journal. Vol. 7, No. 3, pp. 959-971, 2016.
- [9] T.Yuvaraj, K.Ravi and K.R.Devabalaji, "Optimal Allocation of DG and DSTATCOM in Radial Distribution System Using Cuckoo Search Optimization Algorithm", Modeling and Simulation in Engineering. Vol. 2017, pp. 268-279, 2017.
- [10] F.Iqbal, M.Tauseef Khan and A.S. Siddiqui, "Optimal Placement of DG and DSTATCOM for Loss Reduction and Voltage Profile Improvement", Alexandria Engineering Journal. pp. 1-11, 2017.
- [11] K.Ravi and R.K.Devabalaji, "DSTATCOM Allocation in Distribution Networks Considering Load Variations Using Bat Algorithm", Ain Shams Engineering Journal. Vol. 8, pp. 391-403, 2017.
- [12] H.B.Tolabi, H.M.Ali and M.Rizwan, "Simultaneous Reconfiguration Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array in a Distribution System Based on Fuzzy-ACO Approach", IEEE Transaction on Sustainable Energy Journal. Vol. 6, No. 1, pp. 210-218, 2015.
- [13] M.Mohammadi, M.Abasi, A. M. Rozbahani, "Fuzzy-GA Based Algorithm for Optimal Placement and Sizing of Distribution Static Compensator (DSTATCOM) for Loss Reduction of Distribution Network Considering Reconfiguration", Journal of Central South University. Vol. 24, No. 2, pp. 245-258, 2017.
- [14] A.Y.Abdelaziz, Y.G.Hegazy, W.El-Khattam and M.M.Othman, "Optimal Allocation of Stochastically Dependent Renewable Energy Based Distributed Generators in Unbalanced Distribution Networks", Electric Power System Research. Vol. 119, pp. 34-44, 2015.
- [15] E.A.Mohamed, Y.G.Hegazy, M.M.Othman, "A Novel Probabilistic Technique for Optimal Allocation of Photovoltaic Based Distributed Generators to Decrease System Losses", Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science. Vol. 60, No. 4, pp. 247-253, 2016.
- [16] M.AKashem, V.Ganapat, G.B.Jasmon, and M.I.Buhari, "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks", International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. pp. 251-256, 2000.
- [17] M.E.Baran and F.F.Wu, "Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution System",

¹ Flexible AC Transmission System

² Distributed Static Compensator

³ Photovoltaic

⁴ Distributed Generation

⁵ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

⁶ Genetic Algorithm

⁷ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

Archive of SID