جایابی و تعیین اندازه UPFC جهت بهبود شرایط بهره‌برداری از سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ

رضا رجب مومن[۱]، حسن براتی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، reza.rm5523@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Barati216@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۵

چکیده: کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری (UPFC) یکی از کارآمدترین ادوات FACTS است که می‌تواند به طور انفراديبا ترکیبی روی تمام پارامترهای موثر در توان عبوری خطوط تاثیرگذار باشد. با انعطاف‌پذیری پارامترهای موثر در عبور توان، می‌توان شرایط بهره‌برداری سیستم قدرت را بهبود بخشید. در این پژوهش الگوریتم بهینه‌سازی ملخ مبتنی بر مکان و ظرفیت بهینهUPFC برای بهبود شرایط بهره‌برداری سیستم قدرت پیشنهاد شده‌است. نوآوری روش پیشنهادی با بهبود قابلیت جستجو، کاهش تصادفی و کاهش پیچیدگی نشان‌داده شده‌است. در این رابطه، خطای ژنراتور بر محدودیت‌های بهره‌برداری سیستم قدرت از جمله ولتاژ، اتلاف توان واقعی و راکتیو و همچنین هزینه محاسباتی تاثیر می‌گذارد. مدلسازیUPFCبه صورت مدل تزریق توان و پخش بار از روش نیوتن رافسون خواهد بود. شرایط بهره‌برداری سیستم قدرت با هدف کمینه‌سازی تلفات توان، کمینه‌سازی میزان انحراف ولتاژ، هزینه نصب UPFCفرمول‌بندی خواهد شد. در محیط نرم‌افزار MATLAB, الگوریتم بهینه‌سازی ملخ جهت حل مساله رویشبکه‌های قدرت ۱۴ و ۳۰ شینهIEEEپیاده‌سازی و نتایج بررسی با روش‌های دیگر مقایسه خواهد شد.

کلمات کلیدی: جایابی و تنظیم UPFC، الگوریتم ملخ، توان راکتیو، تلفات توان، انحراف ولتاژ

۱- مقدمه

مهم‌ترین مسئله در سیستم قدرت، مسئله پایداری سیستم قدرت می باشد. درصورت بروز خطا در سیستم قدرت، نوساناتی رخ می‌دهد که باعث ناپایداری سیستم می‌شود. اگر سیستم بتواند بعد از خطا و در حالت ماندگار خود بماند پایدار است. بنابراین به طور کلی پایداری سیستم قدرت، رفتار مناسب سیستم در زمانی است که تحت تأثیر یک اغتشاش گذرا قرار می‌گیرد. پایداری سیستم قدرت دارای دو نوع تحلیل استاتیکی و تحلیل دینامیکی است. تحلیل پایداری استاتیکی به پایداری ولتاژ می‌پردازد. تحلیل پایداری دینامیکی نیز مربوط به پایداری زاویه‌ای رتور است. همچنین به دلیل محدودیت‌های محیطی و اقتصادی نیروگاه‌های جدید و خطوط انتقال، سیستم‌های توان الکتریکی در سراسر جهان باید کمتر یا بیشتر از کل ظرفیتشان کار کنند. مقدار توان الکتریکی که می‌تواند از طریق یک شبکه انتقال بین دو مکان انتقال داده شود، محدود شده است. توان عبوری در خطوط و ترانسفورماتورها نباید به سطحی افزایش یابد که یک حادثه اتفاقی بتواند باعث از کار افتادن شبکه و قطعی برق به صورت متوالی شود. بنابراین، رفع این مشکلات برای کاهش محدودیت‌های شبکه انتقال در بازار، به فعالیت اصلی اپراتورهای سیستم تبدیل شده است. تحلیل شده است که مدیریت ضعیف معاملات می‌تواند هزینه‌های احتمالی را که باعث وجود بار اضافی بر روی مشتریان است، افزایش دهد.

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

سیستم انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)[۱]، برای مدیریت سیستم انتقال توان، به کار گرفته شده است. UPFC[۲] یکی از دستگاه-های FACTS است، که می‌تواند توان عبوری در خط انتقال را مبتنی بر انعطاف‌پذیری در دامنه و زاویه ولتاژها و نیز امپدانس خطوط، مدیریت کند. با تنظیم محل و اندازه UPFC می‌توان باعث بهبود در شرایط بهره‌برداری از سیستم قدرت شد. در خصوص جایابی بهینه UPFCو برخی از ادوات FACTS از روش های بهینه‌سازی مختلفی در منابع گوناگون استفاده شده است. شاهین و همکاران در مرجع [۱]، تعیین محل مطلوب UPFC را برای افزایش ایمنی سیستم‌های قدرت تحت (اغتشاشات تک خطی)[۳]، بر اساس روش الگوریتم تکاملی تفاضلی (DE)[۴] بررسی کردند و با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک (GA)[۵] و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)[۶] مقایسه کرده‌اند. شاهین و همکاران در مرجع [۲]، یک رویکرد مبتنی بر تکنیک تکامل دیفرانسیلی را تحت اغتشاشات تک خط، ارائه کرده‌اند تا مکان بهینه و تنظیم پارامتر UPFC را برای افزایش امنیت سیستم قدرت، شناسایی کنند. در ابتدا، برای شناسایی دقیق‌ترین احتمالات قطع خط با توجه به بارهای اضافی خط آنها یک فرآیند رتبه‌بندی را انجام می‌دهند. در مرحله دوم، آنها روش تکامل دیفرانسیلی (DE) را برای شناسایی مکان بهینه و تنظیم پارامتر UPFC با روش‌های احتمالی، به کار می‌گیرند. سید عباس طاهر و همکاران در مرجع [۳]، نیازهای الگوریتم ترکیبی ایمنی را برای به دست آوردن موقعیت مطلوب UPFCها برای دستیابی به حداقل هزینه کل تولید اکتیو و راکتیو ژنراتورها و به حداقل رساندن هزینه نصب UPFC ارائه کرده‌اند. نیریکشانا و همکاران در مرجع [۴]، استفاده از SVC و TCSCرا بررسی کرده‌اند تا بتوانند از شرایط انتقال توان در شرایط عادی و اضطراری بهره‌مند شوند. با استفاده از تکنیک پخش توان پیوسته (CPF)[۷]، با توجه به محدودیت‌های حرارتی و مشخصات ولتاژ مورد استفاده قرار گرفت. الگوریتم ژنتیک مبتنی بر کد گذاری واقعی (RGA)[۸] به عنوان ابزار بهینه‌سازی برای تشخیص مکان و کنترل پارامترهای SVC و TCSC مورد استفاده قرار گرفته است.

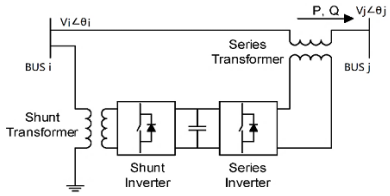
ویجایا کومار و همکاران در مرجع [۵]یک الگوریتم ترکیبی متشکل از کرم شب‌تاب و الگوریتم جستجوی فاخته برای جایابی و تعیین اندازه UPFCبه منظور بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت معرفی شده است. مزیت روش پیشنهادی، قابلیت و استحکام آن در حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده است. نتایج مؤثر بودن روش ارائه شده نسبت به روش‌هایABC-GSA، GSA-BAT، BAT-FA را نشان می‌دهد. سارمی و همکاران در مرجع [۶]، در پژوهشی به بررسی الگوریتم بهینه‌سازی ملخ: تئوری وکاربرد آن پرداختند. الگوریتم پیشنهادی از لحاظ ریاضیاتی رفتار گروه‌های ملخ در طبیعت را برای حل مسائل بهینه‌سازی مدل‌سازی کرده است. ویجایا کومارو همکارانش در مرجع [۷]، یک روش ترکیبی را بر پایه بهترین مکان بر اساس بیشترین اتلاف توان شین برای UPFC با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل و برای ظرفیت آن از الگوریتم جستجو گرانشی (GSA)[۹] ارائه داده‌اند.هاگ و همکاران در مرجع [۸]، روشی برای حل مسئله بهینه‌سازی امنیتی و تنظیم پارامتر مسئله کنترل‌کننده UPFC بر اساس روش بهینه‌سازی جستجو هیبریدی (HGSO)[۱۰] ارائه‌کرده‌اند. در ابتدا، (HGSO) برای حل مسائلی از نوع مختلط-صحیح ارائه شده است. پس از آن، روش پیشنهادی برای تنظیم پارامتر مسئله UPFC اعمال شده است. هریش سیتا و همکاران در مرجع [۹] یک الگوریتم هیبرید برای سیستم قدرت چند ناحیه‌ای برای بهینه‌سازی اهداف سیستم قدرت و با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع بهره‌برداری منابع تولید موجود با استفاده از UPFCارائه داده است. از روش ALO[۱۱]برای شناسایی مکان و GOAبرای تعیین ظرفیت UPFCبر اساس پارامترهای وابسته استفاده کرده است. روش فوق با استفاده از الگوریتم ژنتیک و کلونی زنبور عسل مقایسه شده است که روش ارائه شده در مسائل بهینه‌سازی بهبودی بهتری حاصل کرده است. شیلپا و همکاران در مرجع [۱۰]از یک الگوریتم ترکیبی متشکل از کرم شب-تاب و الگوریتم ژنتیک برای جایابی و تعیین اندازه UPFC به منظور حل مسئله پخش بار راکتیو در شرایط نامتعادل استفاده کرده است. روش پیشنهادی عملکرد بهتر در توابع هدف چندگانه را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج با نتایج حاصل از بکارگیری روش‌های ژنتیک، کرم شب-تاب و ازدحام ذرات برتری این روش را نشان می‌دهد.

۱.Flexible AC Transmission System
۲.Unified Power Flow Controller
۳.Single line contingencies
۴.Differential Evolutuion
۵.Geneticalgorithm
۶.Particle Swarm Optimization
۷.Continuation Power Flow
۸.Regeneration Genetic Algorithm
۹. Gravitational SearchAlgorithm
۱۰. Hybrid Glowworm Swarm Optimization
۱۱.Ant Lion Optimizer

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]

۲- کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری (UPFC)

یک نمودار شماتیک برای کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری در شکل (۱) نشان داده شده است. UPFCحاوی دو مبدل است که از یک رابط DC مشترک پیش‌آمده بوسیله‌ی یک خازن ذخیره‌سازی DCمعادل می‌شود. پخش بار برای یک سیستم دو شینه، به کمیت ولتاژهای باس، تفاوت فاز آنها، و امپدانس خط انتقال در سیستم قدرت بستگی دارد. پایانه‌های UPFC،کنترل همزمان پخش توان اکتیو و راکتیو و کمیت ولتاژ را ممکن می‌سازد.

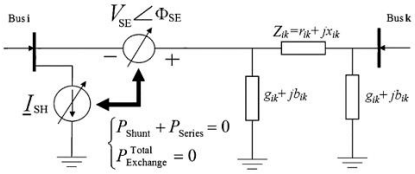


شکل (۱): نمودار شماتیک کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری

در شکل (۱)، UPFCبین شین‌های iو k متصل است، جایی که مبدل شنت و مبدل‌های سری از طریق ترانسفورماتورهای شنت و سری متصل می‌شوند. با مبدل شنت از طریق رابط DC مشترک، توان حقیقی مورد تقاضای مبدل سری، از سیستم قدرت ACپخش می‌شود. مبدل AC در تزریق یا جذب توان راکتیو قابل کنترل است که به دو روش (اینورتر و یکسوکننده) صورت می‌گیرد.

۲-۱- مدار معادل UPFC

مدار معادل UPFC در شکل (۲) شرح داده می‌شود.



شکل (۲): مدار معادل کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری

همان‌طور که از این مدار معادل پیداست، بخش سری UPFCرا می توان با یک منبع ولتاژ قابل‌کنترل V_{SE}، بخش شنت را نیز با یک منبع جریان قابل‌کنترلI_{SH}، مدل‌سازی‌کرد. کمیت ولتاژ خروجی V_{SE}، اندازه ولتاژ و زاویه را برای اندازه فاز فراهم می‌کند. سه پارامتر کنترل‌شده UPFC شامل V_{SE}، ϕ_{SE} و I_{SH} هستند که در آن V_{SE} نشان‌دهنده اندازه ولتاژ تزریق‌شده در قسمت سری با خط انتقال در محدوده [۰تا $V_{SE_{max}}$]، زاویه فاز این ولتاژ ϕ_{SE} در محدوده [۰تا۳۶۰درجه] و محدوده منبع جریان راکتیو شنت بین [$-I_{SH_{max}}$, $I_{SH_{max}}$] می‌باشد [۱۱]، [۱۲]، [۱۳].

نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که وقتی پارامترهای V_{SE} و یا I_{SH} با مقادیر بسیار زیاد تنظیم می‌شوند، همگرایی پخش بار به دلیل انتخاب روش شروع ولتاژ ثابت دشوار است. از نقطه نظر علمی انتخاب، محدودیت‌های فیزیکی دیگر، مانند سطح عایق‌بندی دستگاه سیستم قدرت و هزینه خود UPFC، $V_{SE_{max}}$ و $I_{SH_{max}}$، آن را برای فرض مقادیر بسیار زیاد غیرممکن می‌سازد.در این مطالعات، مقدار $I_{SH_{max}}$ = 0.15 p.u و $V_{SE_{max}}$ = 0.3 p.uدر نظر گرفته می‌شود [۱۳]. بر اساس مدار معادل ارایه شده در شکل (۲)، دو تزریق توان درشین‌های i (P_i^{inj}, Q_i^{inj}) و k (P_k^{inj}, Q_k^{inj}) برای تحلیل پخش بار می‌تواند بر اساس معادلات زیر محاسبه شود [۱۱]، [۱۲]، [۱۳].

$$P_i^{inj} = -V_k V_{SE}\left[G\cos(\delta_k - \phi_{SE}) - B\sin(\delta_k - \phi_{SE})\right] + G_F V_{SE}^2 + \quad (۱)$$

$$Q_i^{inj} = -V_i V_{SE}\left[G_F\cos(\delta_i - \phi_{SE}) - B_F\sin(\delta_i - \phi_{SE})\right] - V_i I_{SH} \quad (۲)$$

$$P_k^{inj} = -V_k V_{SE}\left[G\cos(\delta_k - \phi_{SE}) - B\sin(\delta_k - \phi_{SE})\right] \quad (۳)$$

$$Q_k^{inj} = -V_k V_{SE}\left[G\cos(\delta_k - \phi_{SE}) - B\sin(\delta_k - \phi_{SE})\right] \quad (۴)$$

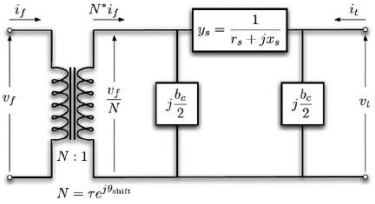
جایی که $B_F = b_{ik} + B$ و $G_F = g_{ik} + G$ و $G + jB = 1/Z_{ik}$می-باشد. همچنین در معادله (۱۴) مقدار $V_i I_{SH}$ نشان‌دهنده توان رکتیو تزریق‌شده توسط منبع جریان شنت در شین i (Q_{Shunt}) است. همان-طور که بیان شد مقدار g_{ik} صفر است که G_F برابر با G شود. بنابراین با استفاده از معادلات (۳) و (۴)، محاسبه پخش بار وقتی که روند توزیع توسط UPFC صورت گیرد امکان‌پذیراست.ماتریس ادمیتانس با استفاده از طرح شماتیک شبکه در حال توسعه، توضیح داده شود که در شکل (۳) ارائه شده‌است. براساس این شکل ماتریس ادمیتانس می-تواند بر اساس رابطه زیر محاسبه شود:

$$Y_{admittance} = \begin{bmatrix} \left(y_s + j\frac{bc}{2}\right)\frac{1}{\tau^2} & -y_s\frac{1}{\tau e^{-j\theta shift}} \\ -y_s\frac{1}{\tau e^{-j\theta shift}} & y_s + j\frac{bc}{2} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

جایی که:

$$y_s = \frac{1}{r_s + jx_s} \quad (۶)$$

$$y_c = jb_c \quad (۷)$$



شکل (۳): مدل شاخه برای تحلیل پخش بار سیستم[۱۴]

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]

پارامترها شامل r_s مقاومت خط، x_s راکتانس خط، b_c سوسپتانس موازی، τ نسبت تبدیل تپ و θ_{Shift} زاویه تغییرفاز است. درنتیجه می‌توان پخش‌بار شبکه را با استفاده از دستورهای مناسب محاسبه‌کرد.

۳- تابع هدف

توابع هدف شامل کمینه‌سازی تلفات، انحراف ولتاژ و هزینه نصبUPFC با در نظر گرفتن قیود فنی واحدهای تولید و شبکه انتقال بوده و از نظر ریاضی تابع هدف نهایی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F = \{f1, f2, f3\} \quad (۸)$$

۳-۱- انحراف ولتاژ

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_B} (V_{Normal} - V_i) \quad (۹)$$

که در آن V_i، ولتاژ شین iام و V_{Normal}ولتاژ نرمال و برابر با ۱ پریونیت است.

۳-۲- درصد انحراف ولتاژ[۱۲] (VDP)

$$VDP(i) = \frac{V_N(i) - V_{ST}(i)}{V_N(i)} \times 100 \quad (۱۰)$$
$$i = 1,2,3 \ldots N_B$$

که $VDP(i)$، درصد انحراف ولتاژ شین i است و $V_{ST}(i)$ ولتاژ روش راه حل شین i است.

۳-۳- کمینه‌سازی تلفات

تلفات در خطوط و سایر المان های شبکه به نسبت مجذورجریان است و در نتیجه جبران بار توسط منبع تولید پراکنده تلفات را کاهش خواهد داد این تاثیر خصوصاً در مواقع پیک بار مشهود است. مسلماً این کاهش تلفات مزایای دیگری را نیز به همراه خواهد داشت که در خدمات فرعی و هزینه‌های شبکه مؤثر خواهد بود. کاهش تلفات در خطوط سیستم، همواره از مهم‌ترین مزایای حضور UPFCها و خازن ها درشبکه‌های توزیع است. رابطه ریاضی تلفات توان اکتیو و راکتیو در یک سیستم در شین i می‌تواند با معادلات ذیل برگرفته از مرجع [۱۵]توصیف شود.

$$f_2 = p_L^j = |v_i||v_j||Y_{ij}| \sum_{j=1}^{N_L} cos(\alpha_{ij} - \delta_i - \delta_j) \quad (۱۱)$$

$$f_2 = Q_L^j = |v_i||v_j||Y_{ij}| \sum_{j=1}^{N_L} sin(\alpha_{ij} - \delta_i - \delta_j) \quad (۱۲)$$

جایی که Vi و Vj ولتاژهای شین‌های i و j هستند و Yij ماتریس ورودی شین است، αij زاویه میانشین های i و j است، δi و δj زاویه بار i و j هستند.

۳-۴- کمینه‌سازی تابع هزینه

حداقل نمودن این تابع هدف به معنی تعیین توان‌های تولیدی هر واحد نیروگاهی در شبکه است به گونه‌ای که حداقل هزینه کل بدست می‌آید.

$$f_3 = C_{UPFC} \quad (۱۳)$$

$$C_{UPFC} = 0.0003S^2 - 0.269S + 188.22 \ (\$/KVAR) \quad (۱۴)$$

جایی که S ظرفیت ادوات FACTS بر حسب MVAR است. برای یافتن مکان و ظرفیت بهینه کنترل‌کننده یکپارچه توان عبوری، از روش الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA) استفاده شده است.

۳-۵- قیود مسئله

دراتصال UPFC به شبکه‌های انتقال اگر جایابی بهینه صورت‌گیرد موجب بهبود پروفیل ولتاژ شبکه خواهدشد که این موضوع مخصوصاً در فیدرهای با طول زیاد که افت ولتاژ محسوس است از اهمیت زیادی برخورداراست. محدودیت پایداری ولتاژ در نگهداری ثبات سیستم قدرت نقش مهمی ایفا می‌کند.

برای پیدا کردن انحراف ولتاژ، شین‌های دیگر را می‌توان با اختلاف بین ولتاژ شین مرجع و ولتاژ شین مورد نظر محاسبه نمود.اگر این انحراف اتفاق افتد به این معنا است که شین در شرایط بی‌ثباتی می‌باشد. شاخص پایداری ولتاژ سیستم قدرت با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V_A = \frac{1}{\sqrt{l}} \sqrt{\sum_{A=1}^{l} (V_D)^2} \quad (۱۵)$$

$$V_D = V_{REF} - \sum_{A=1}^{N} Z_E \left(\frac{P_A - jQ_A}{V_A} \right) \quad (۱۶)$$

که در آن V_D انحراف ولتاژ، V_A ولتاژ شین A، P_A و Q_A توان اکتیو و راکتیو شین A، ΔV_A شاخص پایداری ولتاژ شین A و L تعدادگره‌ها است. ولتاژ شین در محدوده $V_A^{min} \le V_A \le V_A^{max}$ قراردارد. شاخص پایداری ولتاژ شین باید در محدوده $(p.u)$ ۱ باشد. شین عبورکننده از محدودیت به عنوان شین ضعیف شناخته شده است.

۱۲.Voltage Deviation Percentage

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

۳-۵-۱- معادله موازنه توان

تقاضای سیستم و اتلاف توان باید از توان تولیدی توسط سیستم قدرت اطمینان پیدا کنند. ژنراتورهای موجود در سیستم ممکن است دچار قطع برق شوند که بدان معنی است که اتلاف توان شین‌ها افزایش پیدا کرده و شرایط تعادل توان را نقض می‌کند. در معادله (۱۷)، شرط لازم موازنه توان توصیف شده است.

$$\sum_{i=1}^{N_G} p_G^i = p_D + \sum_{j=1}^{N_L} \left(p_L^j + jQ_L^i\right) \qquad (۱۷)$$

جایی که P^i_G توان تولید شده در شین iام است، P_D تقاضا بار است، N_L تعداد کل خطوط انتقال است، N_Gتعداد کل ژنراتورها است، P^j_L و Q^j_L اتلاف‌توان‌های حقیقی و راکتیو خط jام هستند.

۴- معرفی الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA)[۱۳]

ملخ‌ها جزو یکی از بزرگ‌ترین گروه‌ها در بین کل موجودات هستند [۱۶]. جنبه منحصر به فرد گروه ملخ‌ها این است که رفتار زندگی گروهی آنها را می‌تواند هم در بین ملخ‌های بالغ و هم ملخ‌های نوزاد یافت [۱۷]. میلیون‌ها ملخ نوزاد مانند استوانه‌های در حال چرخش، پریده و حرکت می‌کنند. پس از این رفتار، زمانی که آنها بزرگ‌تر می‌شوند، گروهی را در هوا تشکیل می‌دهند. این همان چگونگی مهاجرت ملخ‌ها در فواصل طولانی است. مشخصه اصلی این گروه‌ها در مرحله لارو، حرکت آهسته و گام‌های کوچک ملخ‌ها می‌باشد. در مقابل، حرکت طولانی مدت و ناگهانی نیز مشخصه اساسی این گروه‌ها در بین ملخ‌های بالغ‌تر می‌باشد. جستجوی منابع غذایی، مشخصه مهم زندگی گروهی در بین ملخ‌ها می‌باشد. الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت، فرآیند جستجو را به دو بخش تقسیم می‌کنند: اکتشاف و بهره‌برداری. در اکتشاف، عامل‌های جستجو به حرکت ناگهانی تشویق می‌گردند، در حالی که در طول بهره‌برداری تمایل دارند تا به صورت محلی حرکت کنند. این دو عملکرد و نیز جستجوی هدف توسط ملخ‌ها به طور غریزی انجاممی‌گیرد. مدل ریاضیاتی برای شبیه‌سازی رفتار گروهی ملخ‌ها به صورت زیر نشان داده می‌شود [۱۵]:

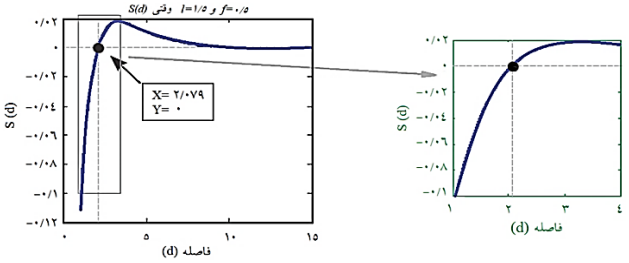
$$X_i = S_i + G_i + A_i \qquad (۲۰)$$

که در آن X_i موقعیت ملخ iام را تعریف می‌کند، S_i تعاملات اجتماعی است، G_i نیروی جاذبه روی ملخ iام است، و A_iنیروی افقی باد می‌باشد. توجه داشته باشید که برای نشان دادن رفتار تصادفی، این معادله را می‌توان به صورت $X_i=r_1S_i+r_2G_i+r_3A_i$ بازنویسی‌کرد که در آن r_1، r_2 و r_3 اعداد تصادفی در [۰،۱] می‌باشند. که در آن d_{ij} فاصله بین ملخ iام و jام می‌باشد که به صورت $d_{ij} = |X_j - X_i|$ محاسبه می‌گردد، s تابعی برای تعریف قدرت نیروهای اجتماعی است که در معادله (۲۱) نشان داده شده و $d_{ij} = \frac{X_j - X_i}{d_{ij}}$ یک بردار واحد از ملخ iام به ملخ jام می‌باشد.

تابع s، که نیروهای اجتماعی را تعریف می‌کند، به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$s(r) = fe^{\frac{-r}{l}} - e^{-r} \qquad (۲۱)$$

که در آن f شدت جاذبه را نشان‌می‌دهد و l مقیاس طول جاذبه می‌باشد.



شکل (۴): (چپ) تابع S زمانی که $l = ۱/۵$ و $f = ۰/۵$، (راست) محدوده تابع S که X بین [۱،۴]

تابع s در شکل (۴) ارائه شده تا نشان دهد که چگونه می‌تواند روی تعاملات اجتماعی (جاذبه و دافعه)ملخ‌ها تأثیر بگذارد. در این شکل می توان دید که فواصل از ۰ تا ۱۵ در نظر گرفته شده‌اند. دافعه در فاصله [۲/۰۷۹، ۰] رخ می‌دهد. زمانی که ملخ ۲/۰۷۹ واحد از ملخ دیگر فاصله دارد، نه جاذبه‌ای وجود دارد و نه دافعه‌ای. این ناحیه با عنوان ناحیه راحتی یا فاصله آسایش نامیده می‌شود. جاذبه از ۲/۰۷۹ واحد فاصله تا نزدیک ۴ افزایش می‌یابد و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. پارامترهای l و f ناحیه راحتی، منطقه جذب و منطقه دفع را به طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد. لازم به ذکر است که نواحی جذب و دفع برای برخی مقادیر خیلی کوچک هستند. برای حل این مسأله، ما فاصله ملخ‌ها در فواصل [۱،۴] را نگاشت کرده‌ایم. مؤلفه G در معادله (۲۰) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G_i = -ge_g \qquad (۲۲)$$

که در آن g ثابت گرانشی e_g است و یک بردار واحد به سمتمرکز زمین را نشان می‌دهد. مؤلفه A در معادله (۲۰) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

۱۳.Grasshopper Optimization Algorithm

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

$$A_i = u e_w \quad (۲۳)$$

که در آن u یک رانش ثابت بوده و e_w یک بردار واحد در جهت باد می باشد. ملخ‌های نوزاد هیچ بالی ندارند، بنابراین حرکت آنها شدیداً مرتبط با جهت باد است. با جایگذاری S، Gو A در معادله (۲۰)، این معادله را می‌توان به صورت زیر بسط داد:

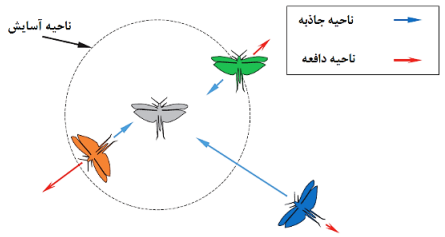
$$X_i^d = c\left[\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} c\frac{ub_d - lb_d}{2} s\left(\left|X_j^d - X_i^d\right|\right)\frac{X_j - X_i}{d_{ij}}\right] + T_d \quad (۲۴)$$

که در آن ub_dکران بالا در بعد Dام، lb_d کران پایین در بعد Dام، $s(r) = fe^{\frac{-r}{l}} - e^{-r}$ مقدار بعد Dام در هدف (بهترین راه-حل یافته شده تا کنون)، و c ضریب کاهشی برای کوچکتر کردن ناحیه آسایش، ناحیه دافعه و ناحیه جاذبه می‌باشد.

برای ایجاد تعادل در اکتشاف و بهره‌برداری، پارامتر c باید متناسب با تعداد تکرارها کاهش یابد. این مکانیزم باعث افزایش تعداد تعاملات در بهره‌برداری می‌گردد. ضریب c، ناحیه آسایش را متناسب با تعداد تعاملات کاهش می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$c = c\ max - l\frac{c\ max - c\ min}{L} \quad (۲۵)$$

که در آن، $c\ max$ مقدار ماکزیمم، $c\ min$ مقدار مینیمم، l نشان دهنده تعاملات فعلی و L تعداد ماکزیمم تعاملات می‌باشند.



شکل (۵):الگوهای اصلاح اولیه بین فردی در یک گروه از ملخها

مدل مفهومی تعاملات بین ملخ‌ها و ناحیه آسایش با استفاده از تابع s در شکل (۵) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که درشکل ساده شده، تعاملات اجتماعی همان نیروی محرک در برخی مدل‌های ازدحام محلی اولیه است.

۴-۱- بهینه‌سازی مکان UPFCبا استفاده از (GOA)

تجزیه و تحلیل پخش بار سیستم استاندارد معیار IEEE با استفاده از روش نیوتن رافسون (N-R) انجام شده است. در ابتدا توان عبوری نرمال سیستم مورد تحلیل قرار گرفته است. سپس انواع مختلف خطا ژنراتور در شین‌های دارای ژنراتور معرفی می‌شود. در ضمن این حالت با استفاده از تکنیک GOA حداکثر خط دارای اتلاف توان را خط مناسب برای قرار دادن UPFC انتخاب می‌کند. روش GOA، بهترین موقعیت UPFC را با استفاده از ولتاژ ورودی و پارامترهای اتلاف توان بدست می‌آورد. ملخ‌های ورودی مانند ولتاژ در هر باس و اتلاف توان مقدار دهی اولیه می شوند.

۴-۲-بهینه‌سازی ظرفیت UPFC با استفاده از (GOA)

ظرفیت UPFC در خطاهای مختلف ژنراتوری با کاهش هزینه‌ها با استفاده از الگوریتم GOA با کمک یک تابع هدف بهینه می‌شود. کمترین انحراف ولتاژ و هزینه UPFC به عنوان تابع ایده‌آل انتخاب می‌شود. در شرایط خطا مختلف، فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم GOA به بهترینپارامترهای پخش بار، اختصاص دادهمی‌شود. الگوریتم GOA، ظرفیت مختلف UPFC و ظرفیت‌های که در بهترین موقعیت اجرا می شوند را تولید می‌کند.

۴-۳- پیاده‌سازی الگوریتم ملخ برای حل مسئله

الگوریتم GOA به صورت ترکیبی کدبندی شده است و ترکیب آن با پخش بار سیستم انتقال برای حل مسئله به کار می‌رود. در طی مراحل بهینه‌سازی قیود مساوی و نامساوی رعایت می‌شود. الگوریتم با ایجاد جمعیت اولیه آغاز می‌شود. جمعیت اولیه به صورت برداری از عناصر تشکیل شده است. هر عنصر دارای دو درایه است که یک درایه ظرفیت UPFC و درایه دیگر مکان را مشخص می‌کند. مکان به صورت عدد تصادفی صحیح می‌باشد. در هر مرحله بهینه‌سازی پخش بار سیستم توزیع صورت می‌پذیرد تا میزان برازندگی توابع هدف تعیین گردد. همچنین قیود و محدودیت‌های در نظر گرفته بررسی می‌شود تا جواب‌های به دست آمده علاوه بر کمینه کردن توابع هدف، قیود را نیز ارضا کند. مراحل بهینه‌سازی به وسیله GOA به صورت شکل (۵) است. متغیر موقعیت ملخ مطابق با شکل (۶) است.

$$X_i = [V_{se}, I_{sh}, phi_{se}, P_{upfc}] \quad (۲۶)$$

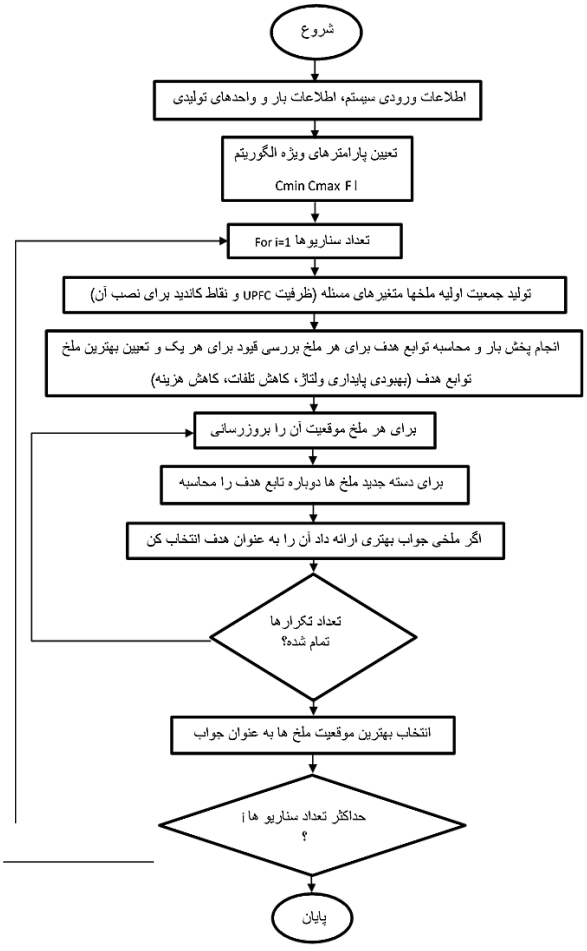
P_upfc : موقعیتUPFC

$(V_{se}, I_{sh}, phi_{se})$: ظرفیتUPFC

در این پژوهش پارامترهای ویژه الگوریتم شامل C_{min}، C_{max}، f و l به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۰۴، ۱، ۰/۵، ۱/۵ در نظر می‌گیریم. همچنین تعداد سناریوها در برای حل مسئله در اینجا برابر مکان و ظرفیت UPFC برای هر بار انجام پخش بار در نظر گرفته شده است. متغیرهای مسئله

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

همان‌طور که بیان شد در واقع از مکان UPFC و همچنین سه پارامتر برای ظرفیت UPFC تشکیل می‌شود که برای تولید جمعیت اولیه ملخ‌ها است متغیرها لحاظ می‌شود. پس از آن با انجام پخش بار توابع هدف و قیود مسئله برای هر ملخ محاسبه می‌شود و بهترین ملخ موجود به عنوان تابع هدف قرار می‌گیرد. توابع هدف شامل (کمینه-سازی هزینه، تلفات توان اکتیو و انحراف ولتاژ شین‌ها) می‌باشد. پس از آن موقعیت هر ملخ بروزرسانی شده تا اگر هر کدام از ملخ‌های موجود جواب بهتری ارائه دادند آن ملخ به عنوان هدف انتخاب شود و پس از بررسی رسیدن به حداکثر تکرارها، بهترین موقعیت ملخ به عنوان جواب انتخاب شود.



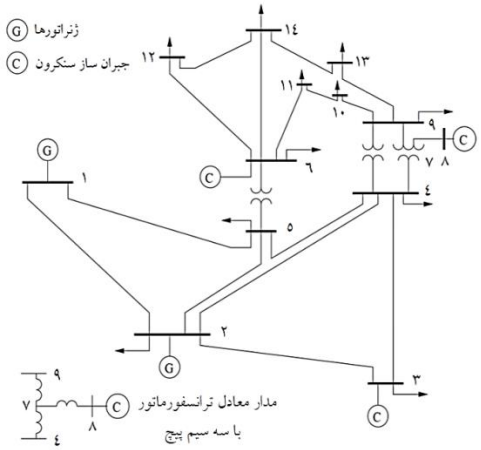
شکل (۶): الگوریتم(GOA)برای حل مسئله

۵- نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری و تحلیل آنها

در این قسمت مطالعات عددی انجام شده برای جایابی UPFC بر روی شبکه‌های ۱۴ و ۳۰ شین استاندارد IEEE ارائه شده است. برای این کار ابتدا شبکه ۱۴ شینه IEEE مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر الگوریتم بر یافتن مکان و ظرفیت بهینه UPFC ارزیابی شده است. در نهایت برای نشان‌دادن اثر بخشی روش‌های ارائه شده، از شبکه قدرت بزرگ‌تر ۳۰ شینه IEEE استفاده شده است و تأثیر آن بر یافتن مکان و ظرفیت بهینه UPFC بررسی شده است. روش فوق در MATLAB/Simulink9.5.0 (R2018b)، ۱۶گیگابایت رم و Intel(R) core^{TM} i7 پیاده‌سازی شده است.

۵-۱- شبکه ۱۴ شینه IEEE

شبکه قدرت نخست، شبکه ۱۴ شینه استاندارد IEEE می‌باشد. این شبکه دارای ۱۴ شین، ۲۰ خط و ۵ ژنراتور می‌باشد. دیاگرامتک‌خطی این شبکه در شکل (۷) نشان داده شده است. در ابتدا پخش بار در حالت نرمال با استفاده از روش نیوتن رافسون صورت می‌گیرد که تمام پارامترهای پخش بار شبکه مورد بررسی قرارمی‌دهد و پس از آن خطاهای ژنراتوری در سیستم لحاظ می‌شود که بی ثباتی ولتاژ و اتلاف توان را شامل می‌شود و در این شرایط هزینه، تلفات توان و پروفیل ولتاژ در حالت نرمال، خطا و پس از نصب UPFC مورد بررسی قرارمی‌گیرد.



شکل (۷): ساختار شبکه ۱۴ شینهIEEE

ابتدا مسأله جایابی بهینهUPFCها بر رویشبکه ۱۴ شینه مورد ارزیابی قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به قیود مسأله و پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ملخ در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ملخ و قیود بکار رفته برای شبکه قدرت ۱۴ شینه

پارامتر	مقدار
تعداد جمعیت ملخ‌ها	۱۰۰
تعداد تکرارها	۵۰
حدود ظرفیت UPFC بر حسب (MVAR)	۲۰/۵
حدود ولتاژ شبکه	۰/۹۸ تا ۱/۱ پریونیت
تعداد UPFCهای نصب شده	۱
تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری	۴

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

۵-۱-۱- نتایج با هدف کمینه‌سازی تلفات توان

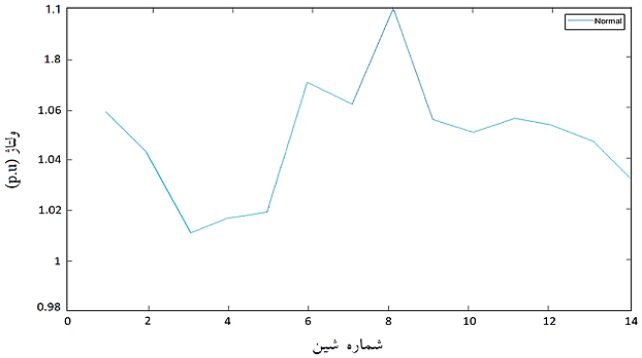
شبکه ۱۴ شینه مذکور دارای تلفات نرمال ۱۳/۳۹۳۳ مگاواتمی‌باشد. نتایج مربوط به تحلیل پخش بار در شرایط خطا و بعد از نصب UPFC در جدول (۲) بیان شده است.

پخش بار در حالت نرمال بررسی شده است. مسئله خطای ژنراتوری در شبکه ۱۴ شینه موجود باعث افزایش توان عبوری خطوط شده که باعث افزایش اتلاف توان می‌شود که با شناسایی مکان مناسب برای نصب UPFC با استفاده از الگوریتم ملخ باعثمی‌شود در توان اکتیو تا حدی بهبودپذیری بهتری حاصل شود. جدول (۳) به موضوع تلفات و هزینه می‌پردازد.

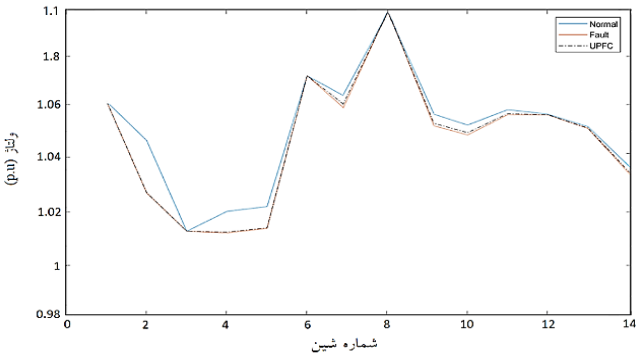
جدول (۳) بیان‌کننده تلفات ایجاد شده در شبکه توسط خطا ژنراتوری و همچنین میزان هزینه پس از شناسایی محل خطا و نصب UPFC در محل قابل شناسایی در شبکه ۱۴ شینه استاندارد است. بنابراین با اتصال UPFC با ظرفیت مناسب می‌توان مشکل را تا حدود نسبی کاهش داد. همچنین جدول (۴) بیان‌کننده تلفات اکتیو با روش‌های مختلف است.

۵-۱-۲- نتایج با هدف کمینه‌سازی انحراف ولتاژ

در ابتدا مشخصات ولتاژ نرمال شبکه ۱۴ شینهIEEE با استفاده از تحلیل پخش بار نیوتن رافسون در شکل (۸) به دست آمده پس از آن در هنگام خروج یک ژنراتور از شبکه مشخصات ولتاژ در حالت نرمال، خطا (خروج ژنراتور) و پس از نصب UPFC در خط انتقالی که در آن بیشترین خطا اتفاق افتاده است بررسی می‌شود که در شکل‌های (۹) تا (۱۲) نشان داده شده است. انحراف ولتاژ در اینشبکه در حالت نامی ۰/۰۱ پریونیت می‌باشد.



شکل (۸): نمودار ولتاژ در حالت نرمال



شکل (۹): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۲

جدول (۲): تحلیل پخش بار در مسئله خطای ژنراتوری با استفاده از الگوریتم ملخ در شبکه ۱۴ شینه

شماره شین ژنراتور	بهترین موقعیت			پخش بار					
				نرمال		خطا ژنراتوری		الگوریتم ملخ	
	شماره شاخه	از شین	تا شین	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
۲	۹	۴	۹	۱۵۶/۸۸۲۹	۲۰/۴۰۴۳	۱۹۲/۰۱۴۴	۶/۸۳۴۷	۱۸۷/۶۲۲۳	۸/۸۸۰۱
۳	۱۲	۶	۱۲	۱۵۶/۸۸۲۹	۲۰/۴۰۴۳	۱۵۷/۰۰۵۸	۲۰/۴۳۳	۱۵۲/۵۶۲	۱۹/۳۸۸۹
۶	۱۷	۹	۱۴	۱۵۶/۸۸۲۹	۲۰/۴۰۴۳	۱۵۷/۳۵۵۱	۲۰/۵۱۴۶	۱۵۲/۹۱۰۱	۱۹/۴۷۱۱
۸	۱۱	۶	۱۱	۱۵۶/۸۸۲۹	۲۰/۴۰۴۳	۱۵۷/۱۱۲۴	۲۰/۴۵۷۹	۱۵۲/۶۶۹۲	۱۹/۴۱۴۲

جدول (۳): تلفات توان و هزینه **UPFC** با استفاده از الگوریتم ملخ در شبکه ۱۴ شینه

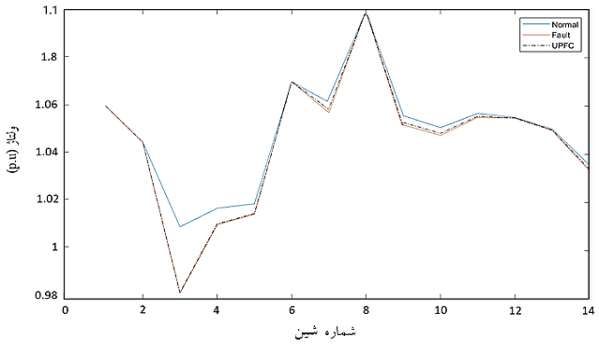
شماره شین ژنراتور	بهترین موقعیت			تلفات توان (MW)و هزینه(UPFC($/KVAR)			
	شماره شاخه	از شین	تا شین	نرمال	خطا ژنراتوری	الگوریتم ملخ	هزینه
۲	۹	۴	۹	۱۳/۳۹۳۳	۱۶/۰۷۲۱	۱۵/۷۶۹۴	۱۸۲/۱۷۵۳
۳	۱۲	۶	۱۲		۱۳/۶۶۹۳	۱۳/۳۹۵۷	۱۸۲/۳۲۳۷
۶	۱۷	۹	۱۴		۱۳/۵۰۳۱	۱۳/۲۲۸۴	۱۸۲/۳۰۳
۸	۱۱	۶	۱۱		۱۳/۵۳۰۹	۱۳/۲۵۷	۱۸۲/۳۱۵۸

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

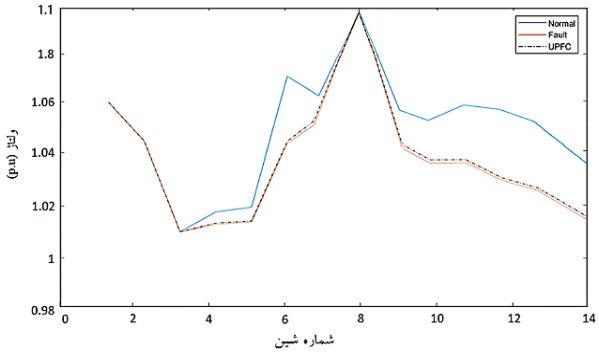
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

جدول (۴): تلفات توان با استفاده از روش‌های مختلف در شبکه ۱۴ شینه

تلفات توان (MW)							بهترین موقعیت			شماره شین ژنراتور
FA-CS	BAT-FA	GSA-BAT	ABC-GSA	FA	خطا ژنراتوری	نرمال	تا شین	از شین	شماره شاخه	
۸/۷۲۰	۹/۶۲۳	۱۰/۲۷۵	۱۱/۱۷۵	۱۲/۹۲۴	۱۶/۰۷۲۱	۱۳/۳۹۳۳	۹	۴	۹	۲

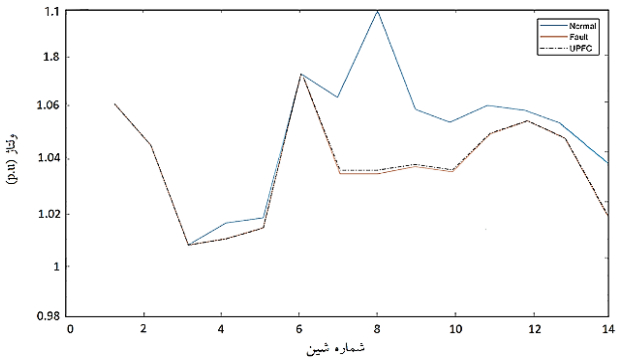


شکل (۱۰): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۳



شکل (۱۱): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۶

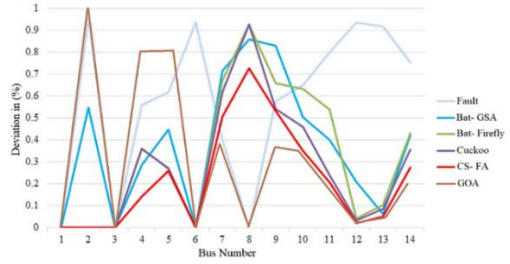
همانطور که در نمودارها مشخص است جایابی UPFC را می‌توان بر اساس الگوریتم ملخ در قسمت‌هایی که خطا در شبکه توسط خروج ژنراتور بوجود آمده قرار داد و بی ثباتی ولتاژ را تا حدود نسبی پایدارتر کرد. در شکل (۱۳) درصد انحراف ولتاژ در شبکه ۱۴ شینه IEEE با استفاده از روش‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۱۲): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۸

جدول (۵): میزان انحراف ولتاژ بر حسب پریونیت برای هر خروج ژنراتور در شبکه ۱۴ شینه

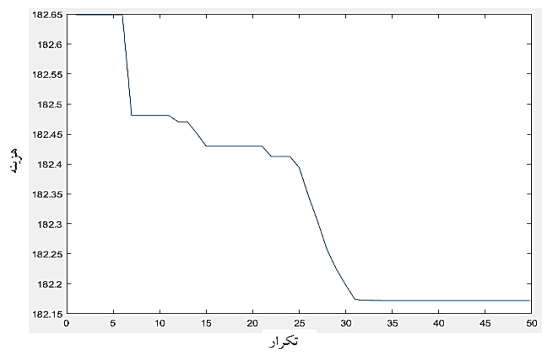
میزان انحراف ولتاژ			شماره شین ژنراتور
الگوریتم ملخ	خطا ژنراتور	نرمال	
۰/۰۰۹۴۷۴۴	۰/۰۰۹۷۲۱۹	۰/۰۱	۲
۰/۰۰۱۷۲۰۳	۰/۰۰۱۷۲۱۳		۳
۰/۰۱	۰/۰۱		۶
۰/۰۱	۰/۰۱		۸



شکل (۱۳): درصد انحراف ولتاژ برای شبکه ۱۴شینه بااستفاده از روش‌های مختلف

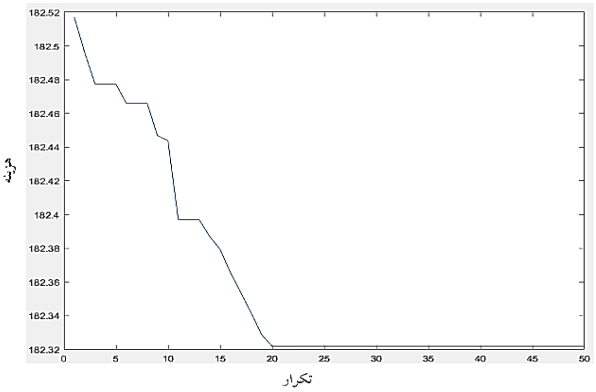
۵-۱-۳- توابع همگرایی شبکه ۱۴ شینه

به‌طور کلی در الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند ملخ، هر چقدر بازه جستجو مناسب‌تر انتخاب شود، پاسخ در تعداد تکرارهای کمتری به مقدار بهینه خود همگرا می‌شود. شکل‌های (۱۴) تا (۱۷) مقدار کمترین تابع هزینه UPFC برحسب ($/KVAR) نسبت به تعداد تکرار را نشان‌می‌دهد. برای شبکه ۱۴ شینه IEEE تعداد ۵۰ تکرار درنظرگرفته‌شده‌است. همان‌طورکه مشخص‌است مقدار مینیمم تابع هزینه به کمترین مقدار ممکن خود همگرا شده است. این بیان می‌کند که هزینه نصب UPFC توسط الگوریتم ملخ بهینه شده است.

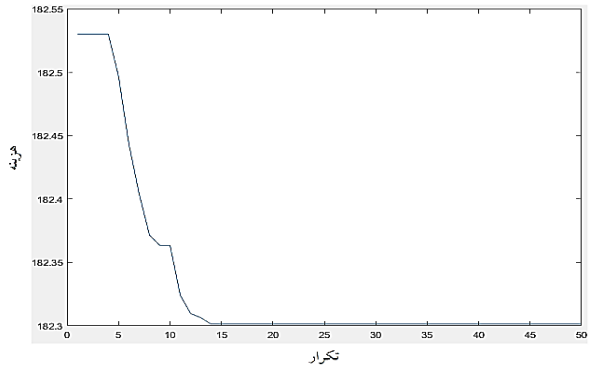


شکل (۱۴): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۲

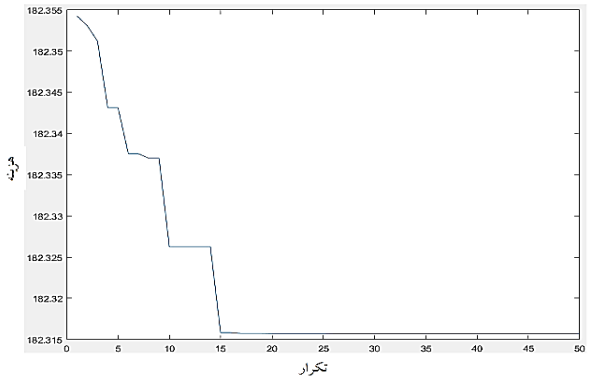
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل (۱۵): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۳



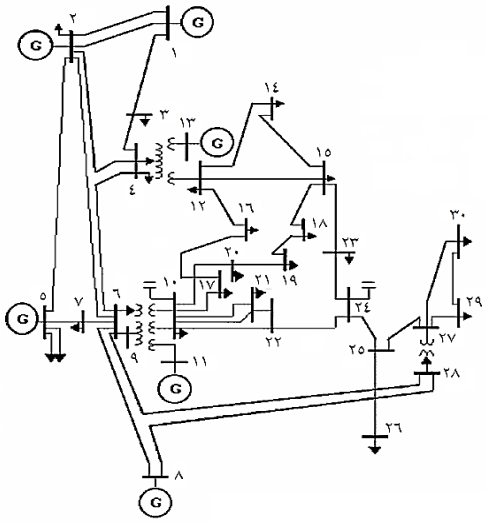
شکل (۱۶): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۶



شکل (۱۷): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۸

۵-۲- شبکه ۳۰ شینه استاندارد IEEE

شبکه دوم، شبکه ۳۰ شینه استاندارد IEEE می‌باشد. این شبکه دارای ۳۰ شین، ۴۱ خط و ۶ ژنراتور می‌باشد. دیاگرام تک‌خطی این شبکه در شکل (۱۸) نشان داده شده است.



شکل (۱۸): ساختار شبکه ۳۰ شینه استاندارد **IEEE**

۵-۲-۱- نتایج شبیه‌سازی برای شبکه ۳۰ شینه

اطلاعات مربوط به قیود مسأله و پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ملخ در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): پارامترهای الگوریتم بهینه سازی ملخ و قیود بکار رفته برای شبکه-۳۰ شینه

پارامتر	مقدار
تعداد جمعیت ملخ‌ها	۱۰۰
تعداد تکرارها	۵۰
حدود ظرفیت UPFC بر حسب (MVAR)	۱۳/۵
حدود ولتاژ شبکه	۰/۹۸ تا ۱/۱ پریونیت
تعداد UPFCهای نصب شده	۲
تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری	۴

جدول (۷): تحلیل پخش بار در مسئله خروجتک ژنراتوری با استفاده از الگوریتم ملخ در شبکه۳۰ شینه

تحلیل پخش بار							بهترین موقعیت			شماره شین ژنراتور
الگوریتم ملخ		خروج ژنراتوری		نرمال						
Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	تا شین	از شین	شماره شاخه		
۱۰/۳۴۴۲	۲۰۳/۶۹۳۲	۸/۳۳۵۹	۲۰۸/۲۰۶۱	۲۴/۷۰۲۸	۱۷۳/۳۰۷۱	۱۳	۱۲	۱۶		۲
۲۳/۶۳۴۱	۱۶۸/۷۳۶۷	۲۴/۷۰۴۵	۱۷۳/۳۱۴۶	۲۴/۷۰۲۸	۱۷۳/۳۰۷۱	۱۳	۱۲	۱۶		۵
۲۳/۸۵۶۳	۱۶۹/۶۸۲۶	۲۴/۹۲۶۲	۱۷۴/۲۶۹۶	۲۴/۷۰۲۸	۱۷۳/۳۰۷۱	۱۳	۱۲	۱۶		۸
۲۳/۶۶۸۳	۱۶۸/۸۸۲۱	۲۴/۷۳۸۲	۱۷۳/۴۵۹۴	۲۴/۷۰۲۸	۱۷۳/۳۰۷۱	۱۳	۱۲	۱۶		۱۱
۲۳/۶۹۴۸	۱۶۸/۹۹۴۹	۲۴/۷۶۴۵	۱۷۳/۵۷۲۹	۲۴/۷۰۲۸	۱۷۳/۳۰۷۱	۱۰	۹	۱۴		۱۳

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

جدول (۸): تلفات توان و هزینهUPFCبا استفاده از الگوریتم ملخ در شبکه ۳۰ شینه

تلفات توان (MW)و هزینهUPFC($/KVAR)				بهترین موقعیت			شماره شین ژنراتور
هزینه	الگوریتم ملخ	خروج ژنراتوری	نرمال	تا شین	از شین	شماره شاخه	
۱۸۱/۱۰۵۹	۲۰/۳۰۳۲	۲۰/۶۴۹۸	۱۷/۵۵۶۹	۱۳	۱۲	۱۶	۲
۱۸۱/۲۲۸۵	۱۷/۶۵۹۷	۱۷/۹۸۱۵		۱۳	۱۲	۱۶	۵
۱۸۰/۴۵۲۹	۱۷/۷۷۹۲	۱۸/۱۰۴۲		۱۳	۱۲	۱۶	۸
۱۸۱/۲۱۴۳	۱۷/۳۴۹	۱۷/۶۷۱۶		۱۳	۱۲	۱۶	۱۱
۱۸۱/۲۱۳۵	۱۷/۳۲۱۵	۱۷/۶۴۴۵		۱۰	۹	۱۴	۱۳

جدول (۹): تلفات توانUPFCبا استفاده از روش‌های مختلف در شبکه ۳۰ شینه

تلفات توان (MW)							بهترین موقعیت			شماره شین ژنراتور
FA-CS	BAT-FA	GSA-BAT	ABC-GSA	FA	خطا ژنراتوری	نرمال	تا شین	از شین	شماره شاخه	
۱۳/۲۹۰	۱۴/۰۴۰۹	۱۵/۳۶۲۸	۱۶/۱۴۲۸	۱۶/۵۲۸۸	۲۰/۶۴۹۸	۱۷/۵۵۶۹	۱۳	۱۲	۱۶	۲

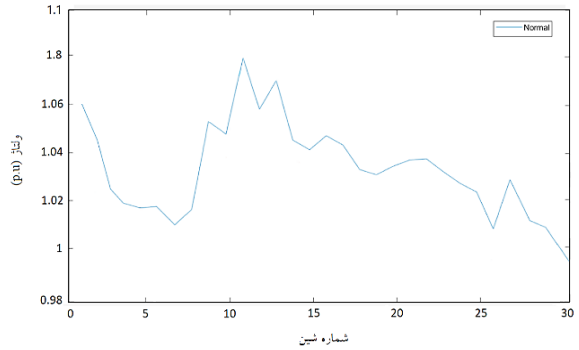
۵-۲-۲- نتایج با هدف کمینه‌سازی تلفات توان

سیستم۳۰ شینه مذکور دارایمجموع تلفات اکتیو و راکتیو مصرفی در حالت نامی به ترتیب برابر با ۱۷/۵۹۴ کیلووات و ۲۲/۲۳۳ کیلووار می‌باشد. نتایج مربوط به تحلیل پخش بار درشرایط خطا و بعد از نصب UPFC در جدول (۷) بیان شده است، همچنین تلفات و هزینه UPFC نیز در جدول (۸) محاسبه شده است. همانند قسمت قبل با مشاهده نتایج موجود در جدول (۸) سیستم ۳۰ شینه نیز پس از اتصال UPFC در خطوطی که دارای بیشترین تلفات اکتیو هستند بهبودی نسبی در تلفات برقرار می‌کند. به عنوان مثال در هنگام خروج ژنراتور متصل به شین هشتم از شبکه تلفات توان اکتیو از حالت نرمال فراتر رفته و به ۱۸/۱۰۴۲ مگاوات می‌رسد که با شناسایی خط انتقالی که بیشترین اتلاف توان توسط خروج ژنراتور مذکور در آن رخ داده است (خط انتقال متصل بین شین ۱۲ به ۱۳)، توسط الگوریتم ملخ شناسایی و پس از نصب UPFC در خط انتقال مورد نظر تلفات توان کاهش یافته و به مقدار ۱۷/۷۷۹۲ مگاوات می‌رسد که این نشان از بهینه کردن تلفات توان توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ است. جدول (۹) بیان‌کننده تلفات اکتیو برای خروج ژنراتور شین ۲ با روش‌های مختلف است.

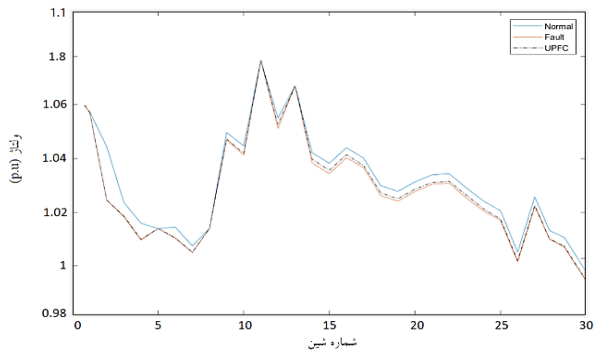
۵-۲-۳- نتایج با هدف کمینه‌سازی انحراف ولتاژ

مشخصات ولتاژ نرمال شبکه ۳۰ شینهIEEE به دست آمده با استفاده از تحلیل پخش بار نیوتن رافسون در شکل (۱۹) و در هنگام خروج ژنراتور نیز در شکل‌های (۲۰) تا (۲۴) نشان داده شده است. همچنین نمودارهای مربوط به شکل‌های (۲۵) و (۲۶) خروج دو ژنراتوری از شبکه را نشان می‌دهد. انحراف ولتاژ در اینشبکه در حالت نامی ۰/۰۰۷۷۶۵۲ پریونیت می‌باشد.

در شکل (۱۹) مشخصات ولتاژ شین‌های شبکه در حالت نرمال زمانی که هیچگونه خطا و یا الگوریتم ملخ اعمال‌نشده‌است، پخش بار به روش نیوتن رافسون گرفته و پروفیل ولتاژ شین‌ها را در بازه ۰/۹۸ تا ۱/۱ بررسی می‌شود. پس از آن شکل‌های (۲۰) تا (۲۶) تاثیر الگوریتم ملخ در بهبود پروفیل ولتاژ هنگام خروج ژنراتورها از شبکه بررسی می‌شود.

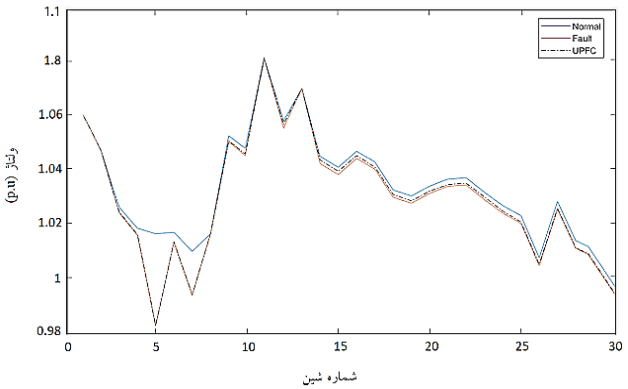


شکل (۱۹): نمودار ولتاژ در حالت نرمال

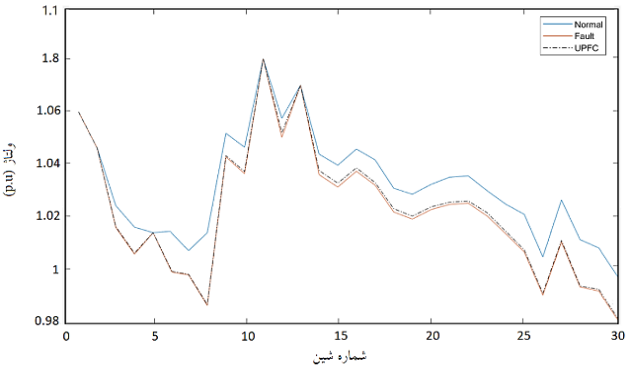


شکل (۲۰): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۲

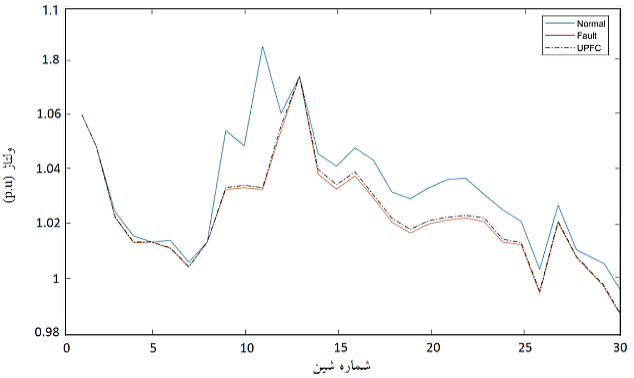
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل (۲۱): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۵

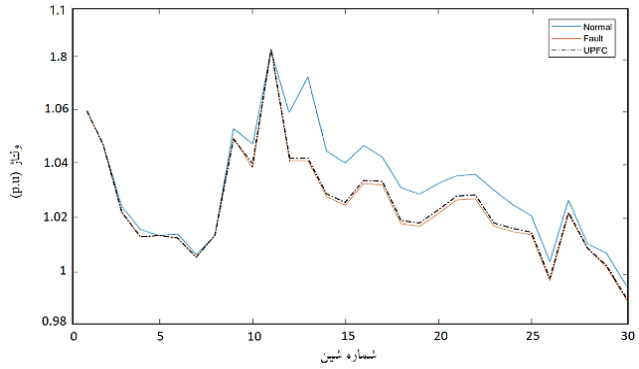


شکل (۲۲): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۸

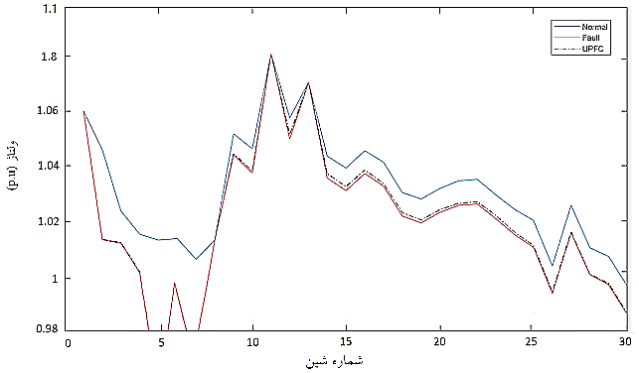


شکل (۲۳): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۱۱

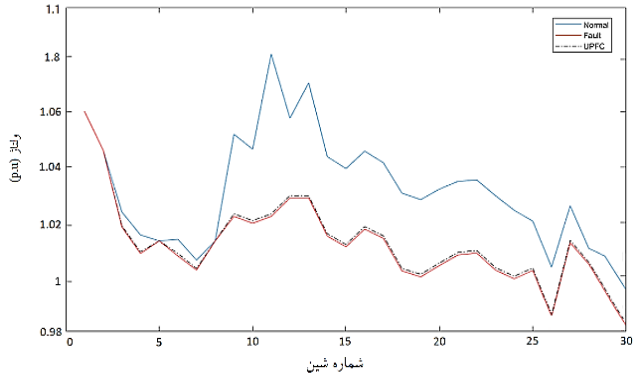
نمودارهای ولتاژ شبکه ۳۰ شینه در دو حالت خروج تک ژنراتوری و دو ژنراتوری بیان می‌کند که در صورت خطا در شین‌های موجود در شبکه، می‌توان با استفاده از جایابی UPFC با استفاده از الگوریتم ملخ بی‌ثباتی ولتاژ را تا حدودی بهبود بخشید. بنابراین می‌توان بیان کرد که کنترل‌کننده UPFC در بهبود نسبی انحراف ولتاژ مؤثر واقع بوده است. در شکل (۲۷) درصد انحراف ولتاژ برای شبکه ۳۰ شینه با روش‌های مختلف بیان شده است.



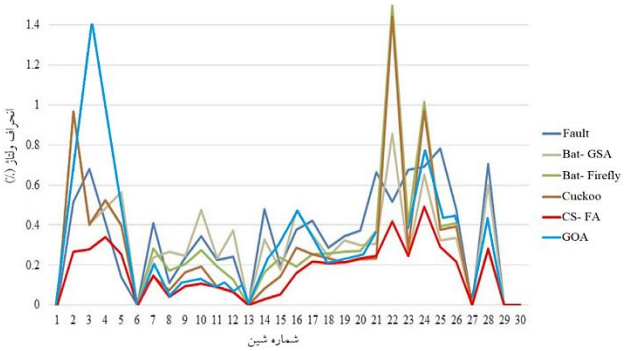
شکل (۲۴): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۱۳



شکل (۲۵): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۲ و ۵



شکل (۲۶): نمودار ولتاژ در حالت خروج ژنراتور شین ۱۱ و ۱۳



شکل (۲۷): مقایسه درصد انحراف ولتاژ برای شبکه ۳۰ شینه **IEEE** با استفاده از الگوریتم‌های مختلف

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۵-۲-۴- توابع همگرایی شبکه ۳۰ شینه

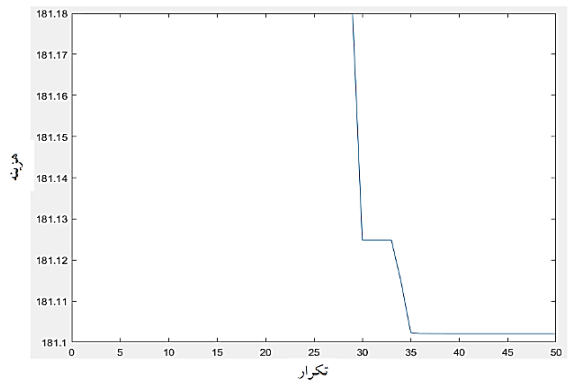
شکل‌های (۲۸) تا (۳۲) مقدار کمترین تابع هزینهUPFCبر حسب($/KVAR)نسبت به تعداد تکرار را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است مقدار مینیمم تابع هزینه به کمترین مقدار ممکن خود همگرا شده است.

جدول (۱۰): میزان انحراف ولتاژ بر حسب پریونیت برای خطا تک و دو ژنراتوری در شبکه ۳۰ شینه

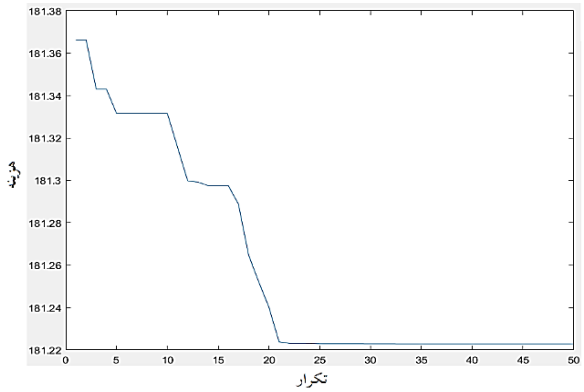
شماره شین ژنراتور	میزان انحراف ولتاژ		
	نرمال	خطا ژنراتور	الگوریتم ملخ
۲	۰/۰۰۷۷۶۵۲	۰/۰۱۱۵۷	۰/۰۱۱۱۱
۵		۰/۰۲۸۴۸۴	۰/۰۲۸۳۹۲
۸		۰/۰۲۵۰۹۴	۰/۰۲۴۵۶۲
۱۱		۰/۰۱۳۸۳۴	۰/۰۱۳۷۷۸
۱۳		۰/۰۱۲۵۰۳	۰/۰۱۲۴۸۳
۵و۲		۰/۰۵۲۵۴۷	۰/۰۵۲۳۱۲
۱۱و۱۳		۰/۰۲۱۵۷۵	۰/۰۲۱۳۹۲

جدول (۱۱): پخش بار،هزینه و تلفات در مسئله خروج دو ژنراتوری با استفاده از الگوریتم ملخ در شبکه ۳۰ شینه

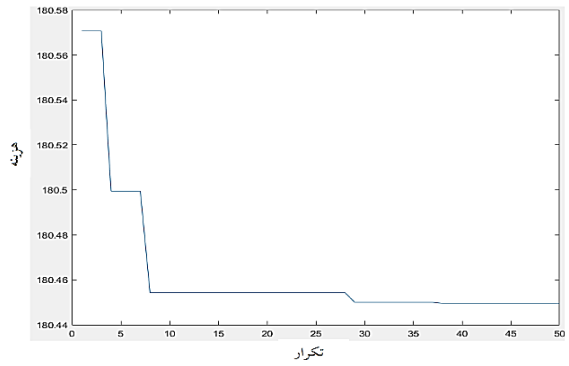
شماره شین ژنراتور	بهترین موقعیت			تحلیل پخش بار					
	شماره شاخه	از شین	تا شین	نرمال		خروج ژنراتوری		الگوریتم ملخ	
				Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)
۲ و ۵	۲۹	۲۱	۲۲	۱/۴۲۸۶	۱/۸۲۵۷	۲/۳۵۵	۲/۱۳۶۹	۸/۲۵۱۴	۲/۶۵۸۸
۱۱ و ۱۳	۲۹	۲۱	۲۲	۱/۴۲۸۶	۱/۸۲۵۷	۱/۹۶۵۳	۲/۰۲۹۸	۹/۱۲۹۱	۲/۸۷۹۲
شماره شین ژنراتور	بهترین موقعیت			تلفات توان (MW) و هزینه($/KVAR) UPFC					
	شماره شاخه	از شین	تا شین	نرمال	خروج ژنراتوری		الگوریتم ملخ		هزینه
۲ و ۵	۲۹	۲۱	۲۲	۱۷/۵۵۶۹	۲۰/۸۱۶		۲۰/۵۷۹۸		۱۷۷/۲۷۶۲
۱۱ و ۱۳	۲۹	۲۱	۲۲		۱۷/۸۰۷۲		۱۷/۴۸۳۳		۱۸۱/۴۷۲۱



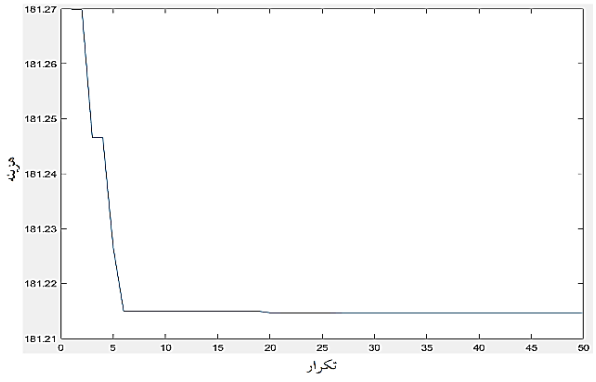
شکل (۲۸): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۲



شکل (۲۹): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۵



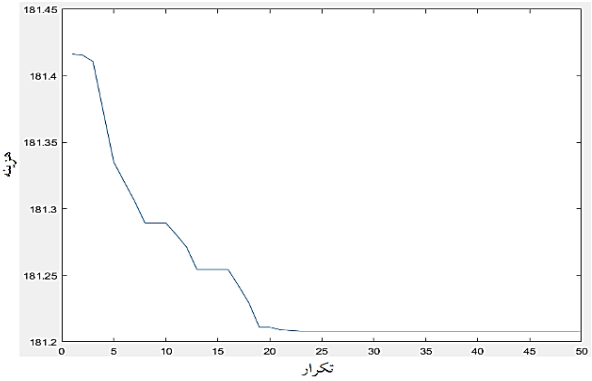
شکل (۳۰): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۸



شکل (۳۱): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۱۱

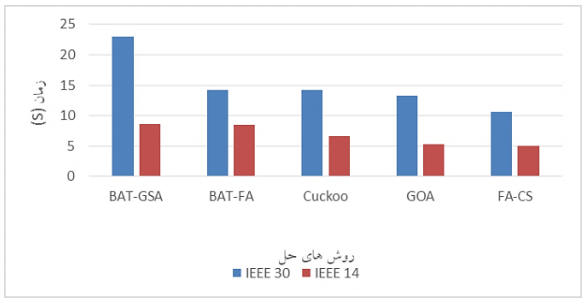
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]



شکل (۳۲): تابع همگرایی در حالت خروج ژنراتور شین ۱۳

زمان محاسبه و عملکرد الگوریتم GOA، بهتر از روش‌های خفاش-جستجوی گرانشی (Bat-GSA)، خفاش-کرم شب تاب (Bat-Firefly) و جستجوی بلبل (CS) می‌باشد، که در شکل (۳۳) نشان داده شده است. الگوریتم خفاش-جستجوی گرانشی (Bat-GSA) محاسبات زمانی بیشتری را در بین الگوریتم‌های بهینه‌سازی نشان می‌دهد. زمان محاسبه الگوریتم Bat-FA به ترتیب ۸/۴۴۱۲ ثانیه و ۱۴/۲۲۳۲ ثانیه برای شبکه ۱۴ و ۳۰ شینه IEEE به طور همزمان است. زمان محاسبه در روش جستجو بلبل (CS) برای شبکه ۱۴ شینه IEEE به صورت ۶/۶۶۴۲ ثانیه و برای شبکه ۳۰ شینه، ۱۴/۲۲۱۴ ثانیه می‌باشد. همچنین زمان محاسبه الگوریتم ملخ (GOA) به ترتیب ۵/۳۱۱۲ ثانیه و ۱۳/۲۴۱۱ ثانیه برای شبکه ۱۴ و ۳۰ شینه IEEE بوده است. به این ترتیب، روش پیش‌بینی شده، زمان محاسباتی را نسبت به برخی روش‌های دیگر کوتاه‌تر می‌کند. زمان محاسباتی کاهش یافته، کاهش مشکلات روش GOA را تایید می‌کند.



شکل (۳۳): مقایسه زمان محاسبه و عملکرد الگوریتم GOA با روش‌های دیگر

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله، ارایه روشی برای جایابی و تعیین ظرفیت بهینهUPFC برای بهبود پایداری سیستم قدرت با استفاده از الگوریتمبهینه-سازی ملخ ارایه داده شده است. روش الگوریتم پیشنهادی در توانایی جستجوی پیشرفته و پیچیدگی کمتر در دستیابی بهراه-حل‌های مطلوب است. الگوریتم پیشنهادی به لحاظ ریاضیاتی مدلسازی شده و از رفتار گروهی ملخها در طبیعت برای حل مسائل بهینه‌سازی تقلید می‌کند. یک مدل ریاضیاتی به منظور شبیه‌سازی نیروهای جاذبه و دافعه بین ملخها ارائه شده است. نیروهای دافعه به ملخها این امکان را می‌دهند تا فضای جستجو را اکتشاف کنند در حالی که نیروهای جاذبه آنها را تشویقمی‌کنند تا مناطق امیدوارکننده را بهره‌برداری کنند. به منظور تعادل بین اکتشاف وبهره‌برداری، GOA با ضریبی تجهیز شده که ناحیه آسایش ملخها را به طور تطبیقی کاهش می‌دهد. نهایتاً، بهترین راه‌حل حاصل تاکنون توسط گروه به عنوان هدفی در نظر گرفته می‌شود که باید تعقیب شده و توسط ملخها بهبود یابد. شبکه-های۱۴و۳۰شینهIEEE برای آزمایش عملکرد روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفتند. در شین‌های شبکه انواع مختلف خطاهای ژنراتور ایجاد شده است و مکان و ظرفیت با بیشترین تأثیر توسط الگوریتم ملخ مشخص شده است. پارامترهای تحت تاثیر شامل تلفات، ولتاژ، توان اکتیو و راکتیو با قرار دادن ظرفیت مطلوب UPFC با استفاده از الگوریتم ملخ بهینه‌سازی شده است. شرایط در حالت نرمال، وضعیت خطا و زمانی که الگوریتم ملخ لحاظ می‌شود تعیین شدند. محاسبه درصد انحراف ولتاژ نیز با افزایش پایداری دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش تایید می‌کند که روش الگوریتم ملخ یک روش مفید برای تعریف پایداری دینامیکی سیستم قدرت است.

مراجع

[1] H.I. Shaheen, G.I. Rashed, S.J. Cheng, 2010, "Application and comparison of computational intelligence techniques for optimal location and parametersetting of UPFC", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 23, Issue. 2, pp. 203-216.

[2] Shaheen Husam, I. Rashed Ghamgeen, S.J. Cheng, 2011, "Optimal location and parameter setting of UPFC for enhancing power system security based ondifferential evolution algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol 33. Issue. 1, pp. 94-105.

[3] Seyed Abbas Taher, Muhammad Karim Amooshahi, 2013, "New approach for optimal UPFC placement using hybrid immune algorithm in electric power systems", International Journal

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]

of Electrical Power and Energy Systems Vol. 43, Issue. 1, pp. 899-909.

[4] T. Nireekshana, G. Kesava Rao, S. Siva Naga Raju, 2012, "Enhancement of ATC with FACTS devices using real code genetic algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 43, Issue. 1, pp. 1276-1284.

[5] B. Vijay. Kumara, N.V.Srikanth, 2017, "A hybrid approach for optimal location and capacity of UPFC to improve the dynamic stability of the power system", Applied Soft Computing, Vol. 52, pp. 974-986.

[6] Shahrzad Saremi, Seyedali Mirjalili, Andrew Lewis, 2017, "Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application", Advances in Engineering Software, Vol. 105, pp. 30-47.

[7]B. Vijay Kumar, N.V. Srikanth, 2016, "Optimal location and sizing of Unified PowerFlow Controller (UPFC) to improve dynamic stability: a hybrid technique", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 64, pp. 429-438.

[8] Mehrdad Tarafdar Hagh, Manijeh Alipour, Saeed Teimourzadeh, 2014, "Application of HGSO to security based optimal placement and parameter setting of UPFC," Energy Conversion and Management, Vol. 86, pp. 873-885.

[9] Hareesh Sita, P. Umapathi, R.kiranmayi, 2019, "Optimal location and sizing of UPFC for optimal power flow in a deregulated power system using a hybrid algorithm", International Journal of Ambient Energy, 264-280.

[10]Shilpa S. Shrawane Kapse, Manoj, B. Daigavane & Prema M. Daigavane, 2018, "Optimal Localization and Sizing of UPFC to Solve the Reactive Power Dispatch Problem Under Unbalanced Conditions", IETE Journal of Research.

[11] I. Pavlyukevich, Levy flights, 2007,"non-local search and simulated annealing", J. Comput. Phys. 226, 1830–1844.

[12]K. Chandrasekaran, Sishaj P. Simon, 2012,"Multi-objective unit commitment problem using Cuckoo search Lagrangian method", Int. J. Eng. Sci. Technol, 89–105.

[13]Xin-She Yang, Suash Deb, 2009,"Cuckoo search via levy flights", Proceedings of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, 1–7.

[14]R. D. Zimmermann, C. E. M. Sanchez, and R. J. Thomas, 2011, "Matpower: Steady-state operations, planning and analysis tools for power systems research and education," IEEE Trans. Power Del, Vol. 26, Issue. 1, pp. 12–19.

[15]Simpson SJ, McCaffery A, HAeGELE BF. 1999, "A behavioural analysis of phase change in the desert locust. Biol Rev, 74, 461–80.

[16]Rogers SM, Matheson T, Despland E, Dodgson T, Burrows M, 2009,"Mechanosensory-induced behaviouralgregarization in the desert locust Schistocerca gregaria". J Exp Biol, 206:3991–4002.

[17]Topaz CM, Bernoff. AJ, Logan S, Toolson W. A,2008, "model for rolling swarms of locusts", Eur Phys J Special Top,157, 93–109.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Location and Capacity of UPFC to Improve the Operation Power System Using a Grasshopper Optimisation Algorithm

Reza Rajab Momen[1], Hassan Barati[2]

1-MSc Student, Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, reza.rm5523@gmail.com
2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, Barati216@gmail.com

Abstract: **Unified Power Flow Controller (UPFC) is one of the most efficient FACTS devices that can be individually or combinatorial on all effective parameters in the transmission power of the transmission lines. With the flexibility of effective parameters in power passage, the power system operation can be improved. in this study, the optimization algorithm based on location and optimal capacity of UPFC has been proposed to improve the stability of power system stability. The proposed method innovation is demonstrated by improving search functionality, stochastic reduction, and complexity reduction. In this regard, the generator error affects power system operation constraints, including voltage, real and reactive power dissipation, as well as computational cost. The UPFC modeling is a power injection and load injection model of the Newton - Raphson method. Power system operation conditions are formulated with the objective of minimizing the power loss, minimization of voltage variation, and installation cost of UPFC. in matlab software, an optimization algorithm for solving the problem on the ieee 14 and 30 bus test systems is implemented and the results of investigation are compared with other methods.**

Keywords: **Location and capacity of UPFC, Grasshopper Algorithm, Voltage Deviation, Power Losses, Reactive Power**

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

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.1.8]