

کنفرانس مهندسی برق مجلسی

شماره: ۹۳۰۵۰۷۶

تاریخ: ۱۳۹۳/۰۵/۳۰

شماره مقاله: ۲۱۲



گواهی ارائه مقاله



گواهی می شود آقایان حسین تاجی، علی اصغر قدیمی

در کنفرانس مهندسی برق مجلسی که در ۳۰ مرداد ماه ۱۳۹۳ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی برگزار گردید شرکت کرده و مقاله ای با عنوان
حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات با در نظر گرفتن حاشیه پایداری ولتاژ سیستم

را ارائه نموده اند.

دکتر محسن عشوریان
دبیر کنفرانس مهندسی برق مجلسی



دکتر حسین امامی
دبیر علمی کنفرانس مهندسی برق مجلسی

Website: www.msee.ir , Email: info@msee.ir

نشانی دبیرخانه: اصفهان، شهر جدید مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی. کدپستی: ۸۶۳۱۶۵۶۴۵۱

طبع و نشر: واحد چاپ و نشر - مشهد - پ. م. ۹۱۵۱۳۱۶۰ - ت. ۰۵۱۱۱۷۳۳۳۳۷ - ف. ۰۵۱۱۱۷۳۳۳۳۷

حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات با در نظر گرفتن حاشیه پایداری و لتاژ سیستم

حسین تاجی^۱، علی اصغر قدیمی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اراک
t66taji@yahoo.com

۲- دکتر علی اصغر قدیمی، استاد دانشگاه اراک، ایران، Aa.ghadimi@gmail.com

چکیده

توزیع بهینه توان راکتیو یکی از مقولات مهم در بهره‌برداری اقتصادی و امن از سیستم قدرت می‌باشد، این مسئله جزئی از مسئله‌های بهینه‌سازی سیستم قدرت می‌باشد که در آن سعی می‌شود با رعایت یک سری قیود و با استفاده از یک سری متغیرهای کنترلی، تابع هدف خاصی بهینه شود. از آنجا که این مسئله غیرخطی است بنابراین دارای تعداد نقاط بهینه محلی زیادی می‌باشد، بنابراین روش‌ها و الگوریتم‌های قطعی نمی‌توانند برای حل این مسئله مناسب باشند و می‌بایست از روش‌ها و الگوریتم‌های تصادفی در حل مسئله بهره‌برد. متغیرهای کنترلی در این مسئله، ولتاژ ژنراتورها، تپ ترانسفورماتورها و منابع جبران توان راکتیو نظیر راکتورها و خازن‌ها می‌باشد. سه تابع هدف کاهش تلفات توان اکتیو، بهبود انحراف ولتاژ و افزایش پایداری ولتاژ در این مسئله به صورت مجزا و چند منظوره مورد بررسی قرار می‌گیرند. الگوریتم مورد بررسی در این مقاله، الگوریتم تجمع ذرات می‌باشد که برای دو سیستم استاندارد ۳۰ و ۵۷ باس *IEEE* استفاده شده است و نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از روش ژنتیک مقایسه شده است. کلید واژه-

توان راکتیو، پایداری ولتاژ، انحراف ولتاژ، الگوریتم تجمع ذرات، تلفات توان راکتیو

مسئله توزیع بهینه توان راکتیو (*ORPD*) جزئی از مسئله‌های

بهینه‌سازی سیستم قدرت می‌باشد که در آن سعی می‌شود با رعایت یک سری قیود و با استفاده از یک سری متغیرهای کنترلی تابع هدف خاصی بهینه شود. در این مسئله تابع هدف می‌تواند کاهش تلفات، افزایش پایداری ولتاژ، کاهش انحرافات ولتاژ به صورت مجزا و یا هر سه مورد به صورت تابع هدف مصالحه‌ای و چندمنظوره باشد که سعی می‌شود با استفاده از منابع جبران توان راکتیو نظیر خازن‌ها و راکتورها، تپ ترانسفورماتورها و تنظیم ولتاژ شین‌های ژنراتوری و البته با ارضا قیودی نظیر قیود پخش بار و قیود ولتاژ شین بار و توان راکتیو خروجی ژنراتورها به آن رسید.

توان راکتیو خروجی ژنراتورها، دامنه ولتاژ شین‌ها و زاویه‌ها، متغیرهای پیوسته‌ای هستند اما نسبت تپ ترانسفورماتورها و خروجی-های راکتورها و خازن‌های شنت طبیعت گسسته دارند بنابراین مسئله بهینه‌سازی توان راکتیو با استفاده از مدل برنامه‌نویسی غیر خطی مدل می‌شود و می‌تواند نقاط بهینه محلی زیادی داشته باشد و این مسئله دست یافتن به نقاط بهینه عام یا نزدیک به آن را بسیار مشکل می‌کند. تا به الان روش‌های ریاضی متعددی برای حل این مسئله به کار

۱- مقدمه

با افزایش استفاده از انرژی الکتریکی در صنایع، نیاز به تغییرات گسترده در سیستم‌های برق‌رسانی بسیاری از کشورها احساس شد که دلیل عمده این امر افزایش رشد فوق‌العاده بار در شبکه‌های برق می‌باشد. به همین دلیل مدیریت انرژی برق در بالاترین سطح تکنولوژی و مهندسی خود مورد توجه قرار گرفت و عملاً به عنوان یک کالای تجاری و یک سرمایه اقتصادی کلان مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین یکی از مهم‌ترین اهداف کاربران سیستم قدرت دستیابی به یک سیستم کم هزینه و امن می‌باشد. به منظور دستیابی به این هدف، سیستم قدرت نیاز به یک برنامه‌ریزی و عملکرد بهینه دارد که در سال‌های گذشته توجه محققان را به خود جلب کرده است.

یکی از ابزارهایی که به منظور دستیابی به این هدف استفاده می‌شود توزیع بهینه توان راکتیو می‌باشد که تأثیر چشمگیری در عملکرد مطمئن و اقتصادی سیستم‌های قدرت دارد و این موضوع خود زیر مسئله‌ای از محاسبات پخش بار بهینه است که اولین بار توسط کارپنتیر در سال ۱۹۸۶ مورد بحث قرار گرفت [۱].

معیار پایداری ولتاژ. همچنین در این مقاله تابع هدف چند منظوره که ترکیبی از سه تابع هدف مذکور می‌باشد بررسی خواهد شد. در ادامه هر کدام از این توابع هدف تشریح می‌گردد.

۲-۲-۱- کاهش تلفات اکتیو سیستم

کمینه کردن تلفات اکتیو سیستم اولین تابع هدف می‌باشد که می‌توان آن را به شکل زیر نمایش داد:

$$\min f_{I=P_{\text{loss}}} = \sum_{k=1}^N g_k \left[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij} \right] \quad (2)$$

که در رابطه (۲)، N بیانگر تعداد خطوط سیستم، g_k کنداکتانس خط k بین باس‌های i و j می‌باشد، V_i ولتاژ شین i ام می‌باشد و θ_{ij} اختلاف فاز بین دو شین i و j می‌باشد [۸].

۲-۲-۲- کاهش انحرافات ولتاژ سیستم

ولتاژ باس‌ها یکی از مهمترین پارامترهای امنیت و کیفیت سیستم می‌باشد. در حل مسئله هنگامی که ولتاژ باس را به عنوان قید در نظر می‌گیریم این کار باعث می‌شود اغلب در فرآیند بهینه‌سازی ولتاژ باس‌ها نزدیک به حد بالا یا پایین خود قرار گیرند. این مسئله باعث می‌شود تا در مواردی که یک پیش‌آمد رخ می‌دهد بعضی از شین‌ها در صورت نبودن ذخایر مناسب خارج از محدوده مجاز ولتاژ قرار بگیرند. یک راه حل مناسب برای حل مشکل این است که انحرافات ولتاژ را به عنوان یک تابع هدف، به صورت زیر در نظر بگیریم [۸]:

$$\min f_V = \Delta V_L = \sum_{i=1}^{N_L} |V_i - V_i^*| \quad (3)$$

که در رابطه (۳)، f_V مجموع انحرافات ولتاژ بر حسب پریونیت می‌باشد، N_L تعداد باس‌های بار سیستم می‌باشد و V_i و V_i^* به ترتیب ولتاژ شین i ام و ولتاژ مطلوب در این شین می‌باشد که به به طور معمول این مقدار برابر با یک پریونیت است.

۲-۲-۳- افزایش پایداری ولتاژ سیستم

فروپاشی ولتاژ پدیده ناپایداری ولتاژ می‌باشد که ممکن است در سیستم‌های انتقال و یا توزیع که تحت بارگذاری شدید قرار دارند اتفاق بیافتد. در این حالت ولتاژ مرتباً کاهش می‌یابد تا سرانجام به خاموشی کامل سیستم منجر می‌شود.

در این مقاله به بیان شاخص پایداری ولتاژ L می‌پردازیم که علاوه بر توانایی پیشگویی و تعقیب وضعیت پایداری سیستم، هزینه محاسباتی اندکی را دارد.

گرفته شده‌اند. در [۲-۵] روش‌های بهینه‌سازی گرادیان برای حل این مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر از روش نقطه درونی برای حل مسئله *ORPD* استفاده شده است [۶]. در [۷] از یک برنامه‌ریزی درجه دوم برای بهینه‌سازی این مسئله استفاده می‌شود.

در دهه اخیر تعداد زیادی روش‌های جستجوی تصادفی برای حل مسائل بهینه‌سازی ابداع شده‌اند. الگوریتم ژنتیک (*GA*) و اجتماع پرندگان (*PSO*) از این دست روش‌های بهینه‌سازی می‌باشند. تجمع ذرات یکی از روش‌های هوش جمعی می‌باشد که از طریق شبیه‌سازی سیستم‌های اجتماعی توسعه یافته است و در حل مسائل غیر خطی بسیار توانا می‌باشد.

در این مقاله به کمک این روش تجمع ذرات و ژنتیک به بررسی توزیع بهینه توان راکتیو پرداخته شده است.

در ادامه این مقاله، در قسمت دوم به بررسی مسئله توزیع بهینه توان راکتیو به همراه توابع هدف و محدودیت‌های مربوطه پرداخته شده است. در قسمت سوم روش بهینه‌سازی جستجوگر تجمع ذرات شرح داده شده و در قسمت چهارم الگوریتم تجمع ذرات و ژنتیک بر روی دو سیستم ۳۰ و ۵۷ شین استاندارد *IEEE* به کار گرفته شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- توزیع بهینه توان راکتیو

در این قسمت، مسئله توزیع بهینه توان راکتیو در سیستم‌های قدرت همراه با توابع هدف و محدودیت‌های موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- توزیع بهینه توان راکتیو در سیستم‌های قدرت

مقادیر بهینه به منظور دستیابی به یک هدف خاص از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش پایداری سیستم و یا ترکیبی از این سه تابع هدف به صورت مصالحه‌ایی و چند منظوره همچنین با برآورده کردن قیود تساوی و نامساوی به دست می‌آیند. مسئله توزیع بهینه توان راکتیو بهینه توان راکتیو را می‌توان به صورت رابطه (۱) معرفی نمود که آن، تابع هدف بهینه سازی، $g(x, u)$ قیود تساوی مسئله و $h(x, u)$ قیود نامساوی مسئله می‌باشد. در ادامه هر یک از این متغیرها، برای مسئله توزیع بهینه توان راکتیو تشریح خواهد شد.

$$\begin{aligned} \min f(x, u) \\ \text{s.t } g(x, u) \\ h(x, u) \leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

۲-۲- توابع هدف

تابع هدف مسئله توزیع بهینه توان راکتیو در این مطالعه شامل سه بخش مهم می‌باشد که عبارتند از تلفات سیستم، انحرافات ولتاژ و

$$\min f_r = L \quad (11)$$

۲-۳- تابع هدف چند منظوره

همانگونه که قبلاً عنوان شد در تابع هدف چند منظوره، سه تابع هدف کاهش تلفات اکتیو سیستم، کاهش انحرافات ولتاژ و افزایش پایداری ولتاژ به صورت همزمان بهینه خواهند شد. تابع هدف چند منظوره به شکل زیر خواهد بود [۱۰]:

$$\min f = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 + \lambda_V \sum_{N_V^{lim}} \Delta V_L^V + \lambda_Q \sum_{N_Q^{lim}} \Delta Q_G^V \quad (12)$$

$$f_1 = \begin{cases} \cdot & \text{if } P_{loss} < P_{lossmin} \\ \frac{P_{loss} - P_{lossmin}}{P_{lossmax} - P_{lossmin}} & \text{if } P_{lossmin} < P_{loss} < P_{lossmax} \\ \cdot & \text{if } P_{loss} > P_{lossmax} \end{cases} \quad (13)$$

$$f_2 = \begin{cases} \cdot & \text{if } \Delta V_L < \Delta V_{Lmin} \\ \frac{\Delta V_L - \Delta V_{Lmin}}{\Delta V_{Lmax} - \Delta V_{Lmin}} & \text{if } \Delta V_{Lmin} < \Delta V_L < \Delta V_{Lmax} \\ \cdot & \text{if } \Delta V_L > \Delta V_{Lmax} \end{cases} \quad (14)$$

$$f_3 = \begin{cases} \cdot & \text{if } L < L_{min} \\ \frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} & \text{if } L_{min} < L < L_{max} \\ \cdot & \text{if } L > L_{max} \end{cases} \quad (15)$$

که در رابطه‌های بالا N_V^{lim} تعداد شین‌های باری است که ولتاژ آنها از محدوده مجاز خارج شده است و N_Q^{lim} تعداد شین‌های ژنراتوری است که توان راکتیو آنها از محدوده مجاز خارج شده است همچنین λ_V و λ_Q ضرایب جریمه می‌باشند و ضرایب w_1 ، w_2 و w_3 ضرایب وزنی تابع هدف می‌باشند.

۲-۴- قیود مسئله

قیود مسئله به دو دسته قیود تساوی و قیود نامساوی تقسیم بندی می‌شود، که قیود تساوی همان قیود بار هستند و قیود نامساوی قیود مربوط به ژنراتورها، منابع جبران توان راکتیو، ترانسفورماتورها و قیود عملیاتی که شامل ولتاژ شین بارها و بارگذاری خطوط است، می‌باشند [۸]، [۱۱].

۲-۴-۱- قیود تساوی

قیود تساوی یا قیود بار معادلات پخش بار می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر بیان نمود:

۲-۲-۴- شاخص پایداری ولتاژ L_j

در ارزیابی پایداری ولتاژ شین‌های بار سیستم قدرت، برای هر شین بار یک شاخص L محاسبه می‌گردد. این شاخص، ولتاژ شین و اطلاعات سیستم قدرت را به عنوان ورودی دریافت کرده، عدد اسکالر L_j را تولید می‌کند [۹]. برای یک سیستم چند شینه معادله کلی زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$I_{bus} = Y_{bus} \times V_{bus} \quad (4)$$

با جدا کردن شین‌های بار (PQ) از شین‌های کنترل شده ولتاژ (PV) رابطه (۵) به دست خواهد آمد:

$$\begin{bmatrix} I_G \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_r \\ Y_r & Y_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_G \\ V_L \end{bmatrix} \quad (5)$$

اگر رابطه (۵) به شکل روابط هیبرید تبدیل شود رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} I_G \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & H_r \\ H_r & H_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_G \\ I_L \end{bmatrix} \quad (6)$$

که در این رابطه:

V_L و I_L : ولتاژ و جریان شین‌های بار

V_G و I_G : ولتاژ و جریان شین‌های کنترل شده ولتاژ

H_1, H_r, H_f : زیر ماتریس‌های تولید شده از Y_{bus}

که در این شاخص تنها H_r مورد نیاز می‌باشد که از رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$H_r = -Y_r^{-1} \times Y_f \quad (7)$$

با استفاده از رابطه (۷) و ولتاژ شین‌های کنترل شده ولتاژ $V_{.j}$ از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$V_{.j} = \sum_{i \in G} H_{rki} V_i \quad (8)$$

که در آن j شماره شین بار می‌باشد و G تعداد شین‌های ژنراتوری را نشان می‌دهد. در نهایت شاخص L_j از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$L_j = \left| 1 - \frac{V_{.j}}{V_j} \right| \quad (9)$$

که در آن V_j ولتاژ شین j ام و L_j شاخص پایداری ولتاژ مربوط به شین j ام می‌باشد.

بنابراین یک شناساگر عام که پایداری کل سیستم را نشان می‌دهد را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$L = \max(L_j) \quad (10)$$

در عمل اندیس L می‌بایست از یک مقدار آستانه کمتر باشد، این مقدار آستانه بسته به ساختار شبکه و قوانین سیستم تعیین می‌شود. بنابراین تابع هدف سوم برای مسئله توزیع بهینه توان راکتیو به صورت زیر تعریف می‌شود:

که در تاریخچه جمعیت موجود است $gbest$ مطلع می‌باشد. بردار حرکت اصلاح شده برای هر فرد را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد [۸]:

$$v_i^{k+1} = w_i v_i^k + c_1 \cdot rand. (pbest - x_i^k) + c_2 \cdot rand. (gbest - x_i^k) \quad (24)$$

که در رابطه بالا:

v_i^k : بردار حرکت فرد i ام در تکرار k ام (تکرار جاری)

v_i^{k+1} : بردار حرکت اصلاح شده برای فرد i ام

$rand$: یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱

x_i^k : موقعیت جاری فرد i ام در تکرار k ام

$pbest$: بهترین جواب فرد i ام در تکرارهای مختلف

$gbest$: بهترین جواب در میان تمامی افراد جامعه

W_i : ضریب وزنی برای بردار سرعت فرد i ام

C_i : ضریب وزنی برای هر مولفه

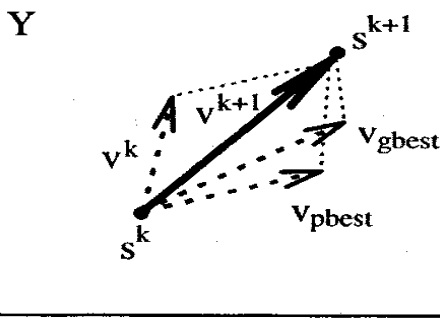
با استفاده از معادلات بالا یک بردار حرکت که به طور مشخص

به $pbest$ و $gbest$ نزدیک می‌شود را می‌توان محاسبه نمود. موقعیت

جاری هر فرد را می‌توان با استفاده از رابطه زیر اصلاح نمود [۸]:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (25)$$

شکل (۱) مفهوم اصلاح نقاط جستجو را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- مفهوم اصلاح موقعیت یک فرد در تجمع ذرات [۸]

۴- نتایج شبیه سازی

دو سیستم نمونه که در این مقاله مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌-

گیرد سیستم‌های ۳۰ باس و ۵۷ باس استاندارد IEEE می‌باشند.

بهینه‌سازی توابع به صورت مجزا و چند منظوره در این دو

سیستم صورت گرفته است که نتایج آن در جدول های (۱)-(۷) آورده

شده است.

$$P_{Gi} - P_{Di} = V_i \sum_{j \in N_i} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (16)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = V_i \sum_{j \in N_i} V_j (B_{ij} \cos \theta_{ij} - G_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (17)$$

۲-۴-۲- قیود نامساوی

قیود نامساوی قیود مربوط به ژنراتورها، منابع جبران توان راکتیو، ترانسفورماتورها و قیود عملیاتی که هر یک به شرح زیر می‌باشند.

محدودیت‌های ژنراتور

ولتاژ ژنراتورها و خروجی‌های توان راکتیو ژنراتور به صورت زیر

محدود می‌شوند:

$$V_{Gi \min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi \max} \quad i = 1, \dots, N_G \quad (18)$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \quad i = 1, \dots, N_G \quad (19)$$

که N_G تعداد ژنراتورها می‌باشد.

محدودیت‌های منابع جبران توان راکتیو

این تجهیزات به صورت زیر محدود می‌شوند:

$$Q_{Ci \min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci \max} \quad i = 1, \dots, N_C \quad (20)$$

که N_C تعداد تجهیزات جبران‌سازی توان راکتیو می‌باشد.

محدودیت‌های ترانسفورماتورها

محدودیت‌های تپ ترانسفورماتورها به صورت زیر محدود می‌-

شود:

$$T_{i \min} \leq T_i \leq T_{i \max} \quad i = 1, \dots, N_T \quad (21)$$

که N_T تعداد ترانسفورماتورها می‌باشد.

محدودیت‌های عملیاتی

که شامل ولتاژ شین بارها و بارگذاری خطوط است به صورت زیر

می‌باشد:

$$V_{Li \min} \leq V_{Li} \leq V_{Li \max} \quad i = 1, \dots, N_L \quad (22)$$

$$S_{Li} < S_{Li}^{max} \quad i = 1, \dots, N_L \quad (23)$$

که N_L تعداد شین بارها می‌باشد.

۳- الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی تصادفی تجمع ذرات

در دهه اخیر الگوریتم تجمع ذرات که بر مبنای روش‌های

تحقیق تصادفی می‌باشد برای بهینه‌سازی کلی بر اساس مدل‌هایی از

سیستم‌های اجتماعی ساده توسط ابره‌ارت و سایرین ارائه شد و

مشخص شد که در حل مسائل غیر خطی، مانند مسئله بهینه‌سازی

توزیع توان راکتیو بسیار کارآمد است. [۱۳]، [۱۴]، [۱۵].

فرآیند جستجو را می‌توان به این صورت شرح داد که یک دسته

از افراد یک اجتماع، به دنبال بهینه کردن یک تابع هدف خاص می‌-

باشند. هر فرد از این اجتماع بهترین جواب تاریخچه خود $pbest$ و

موقعیت کنونی خود را می‌داند. علاوه بر این هر فرد از بهترین جوابی

جدول ۱- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت بهینه سازی

تلفات اکتیو در سیستم ۳۰ باس *IEEE*

تلفات	GA	PS
بهترین P_{loss} (مگاوات)	۴/۹۳۸۲	۹۲۴ ۴/۶
بدترین P_{loss} (مگاوات)	۵/۱۵۶۸	۰۲۷ ۵/۷
میانگین P_{loss} (مگاوات)	۵/۰۰۷۲	۹۷۷ ۴/۶
درصد صرفه-جویی ($\%P_{save}$)	۱۷/۳۴	۱۵۷ ۱۷

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت بهینه سازی

تلفات اکتیو در سیستم ۵۷ باس *IEEE*

تلفات	GA	PS
بهترین P_{loss} (مگاوات)	۲۴	۴۴۸ ۲۴/۳
بدترین P_{loss} (مگاوات)	۲۵	۲۳۲ ۲۵/۱
میانگین P_{loss} (مگاوات)	۲۴	۶۲۵ ۲۴/۷
درصد صرفه-جویی ($\%P_{save}$)	۱۳/۶۲	۱۴/۱

همان گونه که مشاهده می گردد مقدار تلفات با استفاده از هر دو

الگوریتم بهبود یافته است اما الگوریتم تجمع ذرات در این امر از الگوریتم ژنتیک توانا تر است و مقدار تلفات را در بهترین حالت تکرارش تا میزان ۴/۹۲۶۹ مگاوات در سیستم ۳۰ و در سیستم ۵۷ باس مقدار تلفات با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات تا مقدار ۲۴/۴۴۸۳ مگاوات کاهش یافته است.

جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت بهینه سازی

انحرافات ولتاژ در سیستم ۳۰ باس *IEEE*

انحرافات ولتاژ	GA	PSO
بهترین انحرافات ولتاژ	۰/۱۵۰۴	۱/۴۴۲ .
بدترین انحرافات ولتاژ	۰/۱۷۳۳	۱/۶۶۵ .
میانگین انحرافات ولتاژ	۰/۱۵۴۵	۱/۵۰۱ .
درصد بهبود انحرافات ولتاژ	۸۶/۹۷	۸۷/۵۰

جدول ۴- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت بهینه سازی

انحرافات ولتاژ در سیستم ۵۷ باس *IEEE*

انحرافات ولتاژ	GA	PSO
بهترین انحرافات ولتاژ	۰/۹۸۸۹	۱/۹۳۲۲ .
بدترین انحرافات ولتاژ	۱/۷۴۲۲	۱/۳۴۹ ۱
میانگین انحرافات ولتاژ	۱/۱۲۲۱	۱/۰۰۱۸ ۱
درصد بهبود انحرافات ولتاژ	۶۹/۴۹	۷۱/۲۴

همانگونه که مشاهده می گردد در سیستم ۳۰ باس مقدرا

انحرافات ولتاژ از مقدار حالت پایه ۱/۱۵۴۳ (تپ ترانس و ولتاژ شین-های ژنراتوری یک پریونیت و منابع جبران توان برابر با مقدار اولیه) به مقادیر ۰/۱۵۰۴ توسط الگوریتم ژنتیک و ۰/۱۴۴۲ توسط الگوریتم تجمع ذرات و در سیستم ۵۷ باس از مقدار پایه ۳/۲۴۲۲ واحد به ترتیب به مقادیر ۰/۹۸۸۹ و ۰/۹۳۲۲ کاهش یافته است، که بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم تجمع ذرات در برابر ژنتیک می باشد.

جدول ۵- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت افزایش

پایداری ولتاژ در سیستم ۳۰ باس *IEEE*

افزایش پایداری ولتاژ	GA	PSO
بهترین افزایش پایداری ولتاژ	۱۲۲۷ .	۱ ۰/۲۱۷
بدترین افزایش پایداری ولتاژ	۱۵۴۵ .	۱ ۰/۳۲۸
میانگین افزایش پایداری ولتاژ	۱۳۴۳ .	۱ ۰/۲۶۸
درصد بهبود افزایش پایداری ولتاژ	۲۶/۲۶	۸ ۲۶/۶

جدول ۶- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جهت افزایش پایداری

ولتاژ در سیستم ۵۷ باس *IEEE*

افزایش پایداری	GA	PSO
بهترین افزایش پایداری	۰/۵۵۸۲	۱/۵۴۹۱ .
بدترین افزایش پایداری	۰/۵۹۳۲	۱/۵۸۰۱ .
میانگین افزایش پایداری	۰/۵۷۷۹	۱/۵۶۶۸

بالتر نسبت به آن اشاره کرد اما در کل هنوز سرعت همگرایی این الگوریتم پایین می‌باشد و همچنین به دلیل ثابت بودن ضرایب اینرسی وزنی و یادگیری در این الگوریتم احتمال به دام افتادن تابع در نقاط بهینه محلی وجود دارد.

مراجع

- [۱] Dommel HW, " Tinney WF Optimal power flow solutions ". IEEE Trans. Power App Syst. ۱۹۶۸: PAS-۸۷(۱۰): ۱۸۶۶-۷۶.
- [۲] K. Y. Lee, Y. M. park, J. L. Ortiz, " A united approach to optimal real and reactive power dispatch " IEEE Trans. Power Syst., vol. ۱, no. ۲, pp. ۱۱۴۷-۱۱۵۳, may ۱۹۸۵.
- [۳] Y. Y. Hong, D. I. Sun, S. Y. Lin., C. J. Lin, " Multi-year multi-case optimal VAR planning " IEEE trans. Power syst., vol. ۵, no. ۴, pp. ۱۲۹۴-۱۳۰۱, Nov ۱۹۹۰.
- [۴] N. Deeb, and S. M. Shahedipour, " Linear reactive power optimization in a large power network using the decomposition approach " IEEE Trans. Power Syst., vol. ۵, no. ۲, pp. ۴۲۸-۴۳۵, May ۱۹۹۰.
- [۵] J. R. S. Manlovani and A. V. Garcia, " A heuristic model for reactive power planning " IEEE trans. Power Syst., vol. ۱۱, no. ۱, pp. ۶۸-۷۴ Feb. ۱۹۹۰.
- [۶] S. Granville, " Optimal reactive dispatch through interior point methods " IEEE Trans. Power Syst., vol. ۹, no. ۱, pp. ۱۳۶-۱۴۶, Feb. ۱۹۹۴.
- [۷] J. A. momeh, S. X. Guo, E. C. Oghuobiri, R Adapa, " The quadratic interior point method solving power system optimization problems " IEEE Trans. Power syst., vol. ۹, no. ۳, pp. ۱۳۲۷-۱۳۳۶, Aug. ۱۹۹۴.
- [۸] B. Zhao, C. X. Guo, and Y. J. Cao " A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch " IEEE Trans on Power Systems, vol. ۲۰, no. ۲, May ۲۰۰۵.
- [۹] شهریار اردبیلی، شهرام جدید، سعید جلیل زاده، " بررسی دینامیکی احتمال وقوع فروپاشی ولتاژ در سیستم قدرت " سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، زنجان، سال ۱۳۸۴
- [۱۰] C. Dai, W. Chen, Y. Zhu, X. Zhang " Reactive Power Dispatch Considering Voltage Stability With Seeker Optimization Algorithm " Elsevier, Electric Power Systems Research, May, pp ۱۴۶۲-۱۴۷۱, ۲۰۰۹.
- [۱۱] L. Zhen, L. Mengshi, and T. Wenjia " Multi-objective Optimization of Reactive Power Dispatch Using a Bacterial Swarming Algorithm " ۲۶th Chinese Control Conference, July ۲۶-۳۱, ۲۰۰۷, Zhangjiajie, Hunan, China.
- [۱۲] [۱۸] S. Granville, " Optimal reactive dispatch through interior point methods " IEEE Trans. Power Syst., vol. ۹, no. ۱, pp. ۱۳۶-۱۴۶, Feb. ۱۹۹۴.
- [۱۳] J. Kennedy and R. Eberhart, " Particle swarm optimization " in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw., vol. ۴, Nov. ۱۹۹۵, pp. ۱۹۴۲-۱۹۴۸.
- [۱۴] Y. Shi and R. Eberhart, " A modified particle swarm optimizer " in Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, May ۱۹۹۸, pp. ۶۹-۷۳
- [۱۵] J. R. S. Manlovani and A. V. Garcia, " A heuristic method for reactive power planning " IEEE Trans. Power Syst., vol. ۱۱, no. ۱, pp. ۶۸-۷۴, Feb. ۱۹۹۰.

۰	۵/۲۴	۶/۷۹
پایداری	درصد بهبود افزایش	

همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود اندیس L در سیستم ۳۰ باس *IEEE* توسط الگوریتم ژنتیک تا مقدار ۰/۱۲۲۷ کاهش یافته است در حالی الگوریتم تجمع ذرات این اندیس را تا مقدار ۰/۱۲۱۷ کاهش داده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در تابع هدف افزایش پایداری ولتاژ در شبکه نیز الگوریتم تجمع ذرات بهتر از الگوریتم ژنتیک عمل کرده است.

جدول (۶) نتایج حاصل از بهینه سازی پایداری ولتاژ برای دو الگوریتم تجمع ذرات و ژنتیک را در سیستم ۵۷ شین *IEEE* نشان می‌دهد، که این نتایج نیز بیانگر برتری نسبی الگوریتم تجمع ذرات به ژنتیک می‌باشد.

جدول ۷- بهترین پاسخ بهینه سازی چند منظوره پس از اجرای

الگوریتم در سیستم ۳۰ و ۵۷ باس *IEEE*

<i>IEEE</i> ۵۷ باس		۳۰ باس		بهترین پاسخ
<i>PS</i>	<i>G</i>	<i>P</i>	<i>G</i>	
<i>O</i>	<i>A</i>	<i>SO</i>	<i>A</i>	
۷۷	۸۳	۰	۱	کاهش تلفات
۲۴/۸	۲۴/۲	۵/۱۳۹	۵/۳۲۷	اکتیو سیستم (P_{loss})
۹۴	۱۷۵	۰	۱	کاهش
٪۱۲/۱	٪۱۲	٪۱۶/۷	٪۱۵/۴	انحرافات ولتاژ
۶۸	۷۶	۵	۵	سیستم
۱/۲۱	۱/۴۵	۰/۵۴۸	۰/۶۲۱	(<i>Deviation</i>)
۱۱	۱۵۷	۹	۳	افزایش
٪۴۸/۱	٪۴۵	٪۵۱/۳	٪۵۱/۰	پایداری ولتاژ سیستم (L)
۵۶	۵۷	۱	۱	
۰/۹۸	۰/۱۵	۰/۴۲۸	۰/۴۹۷	

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی مسئله توزیع بهینه توان راکتیو با در نظر گرفتن سه تابع هدف کاهش تلفات اکتیو سیستم، کاهش انحرافات ولتاژ سیستم و افزایش پایداری سیستم به صورت مجزا و چند منظوره با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی ژنتیک و تجمع پرندگان روی دو سیستم استاندارد ۳۰ و ۵۷ شین *IEEE* پرداخته شد. الگوریتم تجمع پرندگان که از طریق شبیه‌سازی سیستم‌های اجتماعی توسعه یافته است نیز برای هر سه تابع هدف اصلی مورد استفاده قرار گرفت و در هر سه مورد نیز پاسخ‌ها از الگوریتم ژنتیک بهتر بودند. از مزایای اصلی این الگوریتم نسبت به ژنتیک می‌توان به سرعت همگرایی