توزیع بهینه توان راکتیو با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات

حسین شریف زاده[۱]، نیما امجدی[۲،*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۸
پذیرش مقاله: آذر ۱۳۸۸

واژگان کلیدی:
توزیع بهینه توان راکتیو
الگوریتمPSO

چکیده

توزیع بهینه توان راکتیو در سیستم‌های قدرت به دلیل وجود توابع غیرخطی و ناپیوسته، متغیرهای پیوسته و گسسته و قیود ناپیوسته یک مسئله پیچیده است.همچنین وجود کمینه‌های محلی، حل این مسئله را برای انواع شیوه‌های بهینه‌سازی مانند روش‌های حل تحلیلی و جستجوی تصادفی مشکل نموده است. الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات یا PSO یکی از جدیدترین الگوریتم‌های جستجوی تصادفی استکه در این مقاله برای حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیواستفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم PSO با الگوریتم ژنتیک روی سیستم۱۴شینه اصلاح شده IEEE، کارایی و برتری الگوریتمPSO را چه از نظر سرعت همگرایی و چه از نظر کیفیت پاسخ نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

توزیع توان راکتیوبر امنیت و عملکرد اقتصادی سیستم قدرت بسیار موثر است. اگرچه تولید توان راکتیو درمرحله بهره‌برداری به خودی خود هزینه‌ای ندارد اما از طریق تاثیر بر تلفات سیستم بر هزینه کل اثرگذار است. توزیع بهینه توان راکتیو یک زیرمسئله از پخش بار بهینه (OPF)[۲] است و عمدتاً از طریق کنترل مناسب منابع توان راکتیو انجام می‌گیرد. پارامترهایی (متغیرهای کنترل یا تصمیم) که در این مسئله باید تنظیم شوند عبارتند از: توان راکتیو خروجی ژنراتورها و کمپانساتورهای سنکرون، تپِ ترانسفورماتورهای قابل تغییر در زیر بار و اندازه خازن‌های موازی نصب شده.تابع هدف، تلفات شبکه انتقال است که برای بعضی ملاحظات امنیتی و محدودیت‌های فیزیکی تجهیزات عباراتی به آن اضافه می‌شود. در این مسئله توان راکتیو خروجی ژنراتورها و کمپانساتور های سنکرون، متغیرهای پیوسته و تپِ ترانسفورماتورها و اندازه خازن‌های موازی، متغیرهای گسسته هستند. بنابراین مسئلهٔ مذکور یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی با ترکیبی از متغیرهای پیوسته و گسسته است (MINLP)[۳].

تاکنون راه حل‌های زیادی، از روش‌های سنتی مانند بهینه‌سازی متکی بر گرادیان تا روش‌های پیشرفتهٔ برنامه‌ریزی ریاضی برای حل این مسئله پیشنهاد شده است [۱-۴]. اخیراً انواع الگوریتم‌های مبتنی بر روش نقطه داخلی[۴] که نسبت به روش‌های گذشته از همگرایی مناسب و توانایی مدیریت قوی در برخورد با قیود نامساوی برخوردار هستند، مانند برنامه‌ریزی خطیِ نقطه داخلی[۵]

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: n_amjady@yahoo.com
۱. استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان
۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

[2]Optimum Power Flow

[3]Mixed-Integer Nonlinear Optimization Problem
[4]Interior- point method
[5]Interior- point linear programming

[۵]، نقطه داخلیِ درجه دو[1] [۶] و برنامه‌ریزی غیرخطی[2] [۷] بطور گسترده‌ای برای حل این مسئله بکار رفته است. با این حال، این روش‌ها در مدیریت توابع غیرخطی و ناپیوسته و دارای تعداد زیادی کمینه‌های محلی و شامل متغیرهای گسسته با محدودیت‌های جدی روبرو می‌شوند که مسئله توزیع بهینه توان راکتیو نیز چنین خصوصیاتی دارد. در سال‌های اخیر روش‌های جستجوی تصادفی برای حل کلی مسائل بهینه‌سازی ارائه شده است.

از جمله مشهورترین این روش‌ها می‌توان الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی تکاملی، استراتژی تکامل [۸] و کلونی مورچه‌ها [۹] را نام برد. الگوریتم بهینه‌سازی دستهٔ ذرات (PSO) یک الگوریتم جستجوی تصادفی بر پایه هوش جمعی است. الگوریتم PSO در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها درزمان کوتاه تر به جواب‌های بهینه‌تر همگرا می‌شود، ضمن اینکه از مشخصه همگرایی مقاوم‌تری برخوردار است. همچنین پیاده‌سازی آن بسیار آسان بوده و پارامترهایی که باید تنظیم شوند اندک هستند.

استفاده از الگوریتم PSO در حل مسائل سیستم‌های قدرت با موفقیت انجام شده است. ازآن جمله می‌توان به استفاده ازاین الگوریتم در پخش بار اقتصادی[3] [۱۰]، برنامه‌ریزی توسعه نیروگاه‌ها[4] [۱۱] و جایابی بهینه خازن‌ها[5] [۱۲] اشاره کرد.

در این مقاله ضمن معرفی الگوریتم PSO و مسئلهٔ توزیع بهینه توان راکتیو، حل مسئلهٔ مذکورروی سیستم ۱۴ شینه اصلاح شده IEEE با استفاده از دو الگوریتم PSO و الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم PSO دارای پاسخ‌های بهینه‌تری است و در زمان کوتاه‌تری همگرا می‌شود.

۲- تعریف مسئله

یکی از اهداف مهم توزیع بهینهٔ توان راکتیو، کمینه کردن تلفات توان حقیقی در شبکه انتقال است که در این مقاله به عنوان تابع هدف مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. مقدار تلفات در شبکهٔ انتقال را می‌توان بصورت زیر محاسبه کرد [۱۳و۱۴]:

$$f_Q = \sum_{k\in N_E} P_{k_{loss}} = \sum_{k\in N_E} g_k\left(V_i^{\,2} + V_j^{\,2} - 2V_iV_j\cos(\theta_{ij})\right) \quad (۱)$$

که در آن N_E مجموعه خطوط انتقال، $P_{k_{loss}}$ تلفات در خط انتقالk، V_i, V_jولتاژ شین‌های i و j، g_kرسانایی شاخه k و θ_{ij} اختلاف زاویه بین ولتاژ دو شین i وj است.کمینه‌سازی تابع باید با قیود زیر انجام گیرد:

$$0 = P_{G_i} - P_{D_i} - V_i\sum_{j\in N_i} V_j(G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}), i\in N_0 \quad (۲)$$

$$0 = Q_{G_i} - Q_{D_i} - V_i\sum V_j(G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij}), i\in N_{PQ} \quad (۳)$$

$$V_i^{\min} \le V_i \le V_i^{\max} \quad (۴)$$

$$T_k^{\min} \le T_K \le T_k^{\max} \quad (۵)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi}^{\max} \quad (۶)$$

$$Q_{Ci}^{\min} \le Q_{Ci} \le Q_{Ci}^{\max} \quad (۷)$$

$$S_{Li} \le S_{Li}^{\max} \quad (۸)$$

در این معادلات P_{G_i} و Q_{G_i} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تزریقی به باس i، P_{D_i} و Q_{D_i} به ترتیب توان اکتیو و راکتیو مصرفی در شین i، N_0 مجموعه تمام شین‌ها بجز شین مرجع، N_{PQ} مجموعه تمام شین‌های بار (مجموعه شین‌های PQ)، G_{ij} رسانایی انتقالی بین دو شین i و j و B_{ij} سوسپتانس انتقالی بین دو شین i و j است. معادلات پخش بار به عنوان قیود مساوی در نظر گرفته می‌شود (معادلات (۲) و (۳)). محدودیت ولتاژ شین‌ها، محدودیت

[1] Quadratic interior point method
[2] Nonlinear programming
[3] Economic dispatch
[4] Generation expansion planning
[5] Optimal capacitor placement

تغییر تپِ تپ چنجرها، محدودیت توان راکتیو ژنراتورها و کمپانساتورهای سنکرون، محدودیت توان راکتیو خازن‌های موازی (اندازه خازن‌های موازی) و حد عبور توان از هر شاخه، قیود نامساوی مسئله است که به ترتیب در (۴)، (۵)، (۶)، (۷) و (۸) ارائه شده‌اند. در بعضی روش‌های حلِ مسائل بهینه‌سازی (مانند روش‌های حل جستجوی تصادفی)، محدودیت‌ها با اِعمال ضرایب جریمه[1] به تابع هدف اضافه می‌شوند. در مسئله بهینه‌سازی توزیع توان راکتیو، ولتاژژنراتورها وکمپانساتورهای سنکرون، تپِ تپ‌چنجرها و اندازه خازن‌های موازی متغیرهایی هستند که بطور مستقیم می‌توان آنها را محدود کرده و در بازهٔ مورد نظر قرار داد. در مقابل برای قرار دادن دادن ولتاژ شین‌های PQ و توان راکتیو تزریق شده توسط شین‌هایPV در محدوده مجاز، این متغیرها همراه با ضرایب جریمه به صورت زیر به تابع هدف افزوده می‌شوند (این متغیرها از حل مسئله پخش بار بدست می‌آیند):

$$F_Q = f_Q + \sum_{i\in N_v^{\lim}} \lambda_{Vi}(V_i - V_i^{\lim})^2 + \sum_{i\in N_Q^{\lim}} \lambda_{Gi}(Q_{Gi} - Q_{Gi}^{\lim})^2 \qquad (۹)$$

که در آن $N_v^{\lim}$ شامل شین‌هایی است که ولتاژ آنها از محدوده مجاز خارج شده است. $N_Q^{\lim}$ شامل شین‌هایی است که میزان توان راکتیو تزریقی یا دریافتی آنها از محدودهٔ مجازشان خارج شده است. $\lambda_{Vi}, \lambda_{Gi}$ ضرایب جریمه هستند و $Q_{Gi}^{\lim}$ و $V_{Gi}^{\lim}$ بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$V_i^{\lim} = \begin{cases} V_i^{\max} & if \quad V_i > V_i^{\max} \\ V_i^{\min} & if \quad V_i < V_i^{\min} \end{cases} \qquad (۱۰)$$

$$Q_{Gi}^{\lim} = \begin{cases} Q_{Qi}^{\max} & if \quad Q_{Gi} > Q_{Gi}^{\max} \\ Q_{Gi}^{\min} & if \quad Q_{Gi} < Q_{Gi}^{\min} \end{cases} \qquad (۱۱)$$

ضرایب جریمه در این تابع معادل ضرایب لاگرا نژ در روش‌های تحلیلی می‌باشند و در واقع نرخ «جریمه» تابع هدف را به ازای گذشتن از حدود مجاز تعیین می‌نمایند.

۳-الگوریتمPSO

الگوریتم PSO یک روش بهینه‌سازی جستجوی تصادفی جدید است که توسط کندی و آبرهارت ابداع شده است. این الگوریتم از مشاهده رفتار اجتماعی پرندگان، ماهی‌ها و زنبورها نشات گرفته است. در الگوریتم PSO مجموعه‌ای از ذرات (معادل هریک از جواب‌های کاندیدا برای حل مسئلهٔ بهینه‌سازی) گروه (در الگوریتم ژنتیک معادل جمعیت است) را تشکیل می‌دهند. هر ذره فضای اطرافش را برای پیدا کردن کمینه یا بیشینه محلی جستجو می‌کند. در طی جستجو هر ذره موقعیت خود را طبق تجربه خودش و تجربه بهترین همسایه‌اش اصلاح می‌کند.

برای فرموله کردن الگوریتم PSO دومتغیر x وv به ترتیب با عنوان موقعیت وسرعت ذره تعریف می‌شود. بهترین موقعیت ذره (از لحاظ شایستگی در تابع هدف) با P_best وبهترین موقعیت بهترین ذره در کل گروه با عنوان g_best شناخته می‌شود [۱۵]. برای اطمینان از همگرایی PSO استفاده از ضرایبی موسوم به ضرایب اِنقباض برای تنظیم مناسب پارامترهای PSO لازم است [۱۶]. روابط اِصلاح شده سرعت و موقعیت ذره را با توجه به ضرایب اِنقباض می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$v_{d+1} = \alpha * (w * v_d + \varphi_1 * rand * (p_best - x_d) + \varphi_2 * rand * (g_best - x_d)) \qquad (۱۲)$$

$$x_{d+1} = x_d + v_{d+1} \qquad (۱۳)$$

d شمارنده تکرار، x_d موقعیت ذره در تکرارd، x_{d+1} موقعیت ذره در تکرار $d+1$، v_d سرعت ذره در تکرارd، w وزن اینرسی و φ_1, φ_2 ضرایب شتاب نام دارند [۱۶]. در رابطه (۱۲)، rand یک تابع تولید عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0 \quad 1]$ است. α تابعی از φ_1, φ_2است که توسط Clerc برای تقویت همگرایی و پایداری PSO پیشنهاد شد [۱۷]:

[1] Penalty coefficient

$$\alpha = \frac{2}{\left|2-\varphi-\sqrt{\varphi^2-4\varphi}\right|} \qquad (۱۴)$$

که φ بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \qquad (۱۵)$$

انتخاب مناسب w سبب تعادل در جستجوی محلی و جستجوی کل فضای مسئله خواهد شد. عموماً برای عملکرد بهینه الگوریتم، w بصورت دینامیک تغییر داده می‌شود:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter\max} * iter \qquad (۱۶)$$

itermax نشان‌دهنده حد تعداد تکرار الگوریتم و iter شمارنده تکراراست. در روابط (۱۲) و (۱۳) برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم و کوچک کردن گام‌های جستجو، سرعت ذره با مقدار $v_{\max}$ محدود می‌شود:

$$v \in \left[-v_{\max} \quad v_{\max}\right] \qquad (۱۷)$$

$v_{\max}$ جستجوی محلی را بهبود می‌دهد و در واقع فرایند یادگیری تدریجی ذره را مدل می‌کند. اگر $v_{\max}$ بزرگ تنظیم شود ممکن است ذره از نقطه بهینه جهش کندو اگر $v_{\max}$ کوچک تنظیم شود همگرایی الگوریتم کند شده و ذره ممکن است در دام کمینه محلی بیفتد. معمولا $v_{\max}$ برای هر متغیر تصمیم بین ٪۱۰ تا ٪۲۰ محدودهٔ متغیر مربوطه تنظیممی‌شود [۱۳]. موقعیت هر ذره در حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو با الگوریتم PSO پیشنهادی، شامل ولتاژمرجع ژنراتورها وکمپانساتورهای سنکرون، تپِ تپ‌چنجرها و اندازه خازن‌های موازی خواهد بود.

۴-مدیریت متغیرهای پیوسته و گسسته

روش اعمال شده در این مقاله به این صورت است که در فضای الگوریتم، متغیرهای گسسته به شکل پیوسته در نظر گرفته شده و همانند دیگر متغیرهای پیوسته با آنان رفتار می‌شود. درهر مرحله پس از رسیدن به موقعیت جدید، قبل از اعمال به برنامه پخش بار متغیرهایی که در اساس گسسته هستند واکنون پیوسته شده‌اند مجدداً به عدد مناسبِ گسسته گرد می‌شوند [۱۳]. به عنوان مثال تپِ تپ چنجرها یک کمیت گسسته است. در فرایند اجرای الگوریتم هنگامی‌که برای این کمیت مقداری بین دو پله تپ بدست آید،مقدار حاصل به نزدیکترین پله گرد شده و سپس به برنامه پخش بار اعمال می‌شود.

۵- الگوریتمPSO برای توزیع بهینه توان راکتیو

مراحل اجرای الگوریتم برای حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو بصورت زیر انجام می‌شود:

۱- موقعیت و سرعت اولیه ذرات در محدودهٔ مجاز بصورت تصادفی تولید می‌شود.

۲- تلفات شبکه با استفاده از برنامه پخش بار بدست می‌آید.سپس تابع هدف کلی از (۹) محاسبه می‌شود.

۳- P_best برای هر ذره برابر موقعیت اولیه‌اش در نظر گرفته می‌شود (در تکرار اول). همچنینg_best یعنی برترین ذره درمیان ذرات از نظر میزان شایستگی در تابع هدف (رابطه ۹) تعیین می‌شود.

۴- سرعت و موقعیت جدید هر ذره با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) محاسبه می‌گردد.

۵- تابع هدف کلی از (۹) برای هر ذره محاسبه می‌شود.

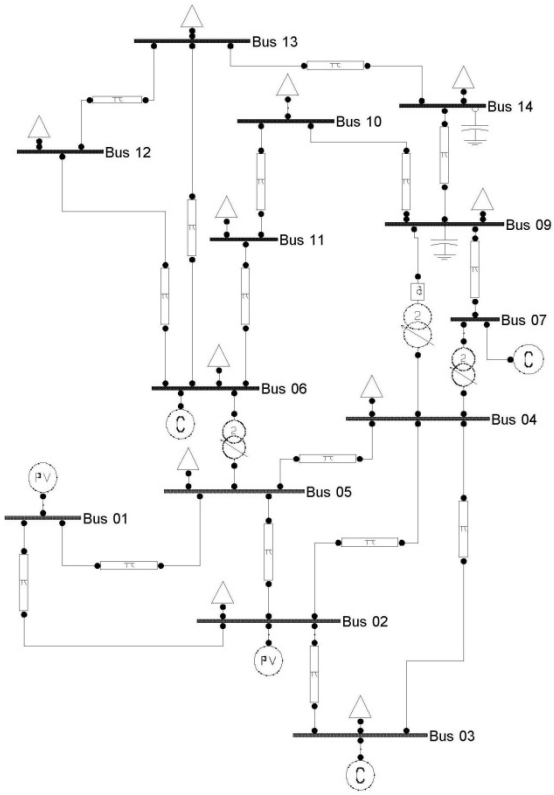
۶- اگرمقدار تابع هدف کلی جدیدبرای هر ذره بهتر ازمقدارش درP_best باشد،P_bestجایگزینمی‌شود.به همین نحو چنانچه در کل جمعیت جدید ذره‌ای بهتر از نظر میزان شایستگی درتابع هدف پیدا شد، جایگزینg_best می‌شود.

۷- مراحل ۴ تا ۷ تا رسیدن به بیشینه تعداد تکرارِ مشخص شده (itermax) انجام می‌گیرد. جواب نهایی مسئله از تعیینgbest در تکرار آخر بدست می‌آید.

۶-نتایج عددی

۶-۱- شرایط شبیه سازی

شکل۱ سیستم ۱۴ شینه اصلاح شده IEEE که در این مقاله برای آزمایش عملکرد الگوریتم PSO انتخاب شده است را نشان می‌دهد.



شکل۱- سیستم ۱۴ شینه اصلاح شده IEEE

متغیرهای کنترل، ولتاژ مرجع ژنراتورهای واقع در شین‌های۱و۲وکمپانساتورهای سنکرون واقع در شین‌های ۳ و ۸ و ۶، تپِ تپ چنجرهای قرارگرفته بین شین‌های ۴-۷، ۴-۹ و۶-۵ و خازن‌های موازی واقع درشین‌های ۹ و ۱۴ است. فرض می‌شود که هر تپ چنجر ۱۰پله برای تغییر تپ دارد. محدوده ولتاژ مرجع مجاز برای ژنراتورها، [۱/۱ ۰/۹] و محدوده تپ مجاز، [۱/۰۵ ۰/۹۵] در نظر گرفته می‌شود. خازن‌های موازی در پله‌های ۰/۰۶ pu در محدوده [۰/۱۸ ۰/۰] به شبکه وارد یا خارج می‌شوند. در این مقاله، الگوریتم ژنتیک و PSO برای حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو، بر شبکه ذکر شده اعمال شده‌اند. الگوریتم‌های ذکر شده تلاش می‌کنند که از طریق متغیرهای کنترلی یک کنترل بهینه بر نقطه کار سیستم اعمال کنند به نحوی که تلفات سیستم انتقال کمینه شود و قیود سیستم نیز در نظر گرفته شود.تلفات شبکه برای سیستم با تنظیمات اولیه ۰/۱۳۳۱۶ pu است. الگوریتم PSO با تنظیمات زیر بر شبکه ۱۴ شینه اعمال می‌شود:

$\varphi_1 = \varphi_2 =$ ۲/۰۵، $w_{\max} =$ ۰/۹ و $w_{\min} =$ ۰/۴.

به منظور مقایسه دو الگوریتم در شرایط یکسان، برای هر دو الگوریتم ضرایب جریمه ۵۰۰، بیشینه تکرار ۱۰۰ و تعداد اعضای جمعیت ۴۰ در نظر گرفته شده است. همچنین برای حذف اثر تصادفی بودن نتایج، برنامه هر الگوریتم ۵۰ بار اجرا شده است.

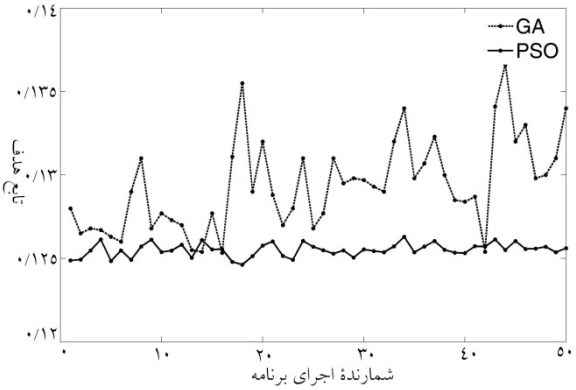
۶-۲ - نتایج شبیه سازی

جدول ۱ بهترین نتیجه حاصل از ۵۰ بار اجرای هردو الگوریتم را همراه با نتیجه حاصل از تنظیمات اولیه (طبق داده‌های IEEE) نشان می‌دهد. چگونگی تنظیم هر کدام از متغیرهای کنترل و تابع تلفات متناظر با آن درجدول ۱ آمده است. طبق جدول، PSO منجر به نتایج بهینه‌تری نسبت به GA (Genetic Algorithm) شده است.

جدول۱- بهترین نتیجه دو الگوریتم و چگونگی تنظیم هر کدام از متغیرهای کنترل

	مبنای تنظیم متغیرهای کنترل		
متغیر کنترل	داده های IEEE	GA	PSO
AVR1	1.060	1.0996	1.1000
AVR2	1.045	1.0749	1.0765
AVR3	1.010	1.0398	1.0405
AVR6	1.070	1.0385	1.0491
AVR8	1.090	1.0841	1.0840
TAP4-7	0.970	1.010	1.0100
TAP4-9	0.960	0.950	0.980
TAP5-6	0.950	1.010	0.980
SC9	0.18	0.00	0.06
SC14	0.06	0.00	0.06
Ploss	0.13316	0.12533	0.12463

شکل ۲ نوسانات نتایج حاصل از دوالگوریتم را در۵۰ بار اجرای هر برنامه نمایش می‌دهد. نوسانات پاسخ الگوریتم ژنتیک و بزرگتر بودن مقادیر پاسخ آن نسبت بهPSO به وضوح نمایان است. جدول ۲ بهترین نتیجه، بدترین نتیجه و میانگین نتایج را دراین۵۰ بار اجرا نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود میانگین تلفات در الگوریتم PSO از بهترین نتیجه الگوریتم ژنتیک کوچکتر است. همچنین اختلاف زیاد بهترین و بدترین نتیجه الگوریتم ژنتیک، نشانگر ضعف این الگوریتم و وابستگی و حساس بودن جواب‌های آن به جمعیت اولیه است، در حالیکه محدودهٔ جواب‌های PSO در حول و حوش میانگینِ نتایج آن است که نشانگر پایداری بیشتر PSO است.

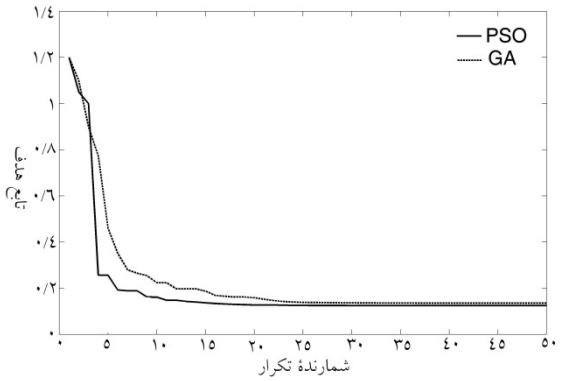


شکل۲- نوسانات نتایج دو الگوریتم

جدول ۲- بهترین و بدترین نتیجه و میانگین نتایج۵۰ بار اجرای هر برنامه

	نتایج			
زمان(ثانیه)	بدترین	میانگین	بهترین	روش
۴۰۷/۵	۰/۱۳۶۶۱	۰/۱۲۶۹۴	۰/۱۲۵۳۳	**GA**
۳۸۸/۶	۰/۱۲۶۲۸	۰/۱۲۵۱۰	۰/۱۲۴۶۳	**PSO**

شکل ۳ مشخصه همگرایی دو الگوریتم رابرای یک نمونه اجرای دو برنامه نمایش می‌دهد (تا تکرار ۵۰). مقایسه این دو مشخصه نشان می‌دهد که الگوریتم PSO با سرعت بیشتری به جواب بهینه‌تر همگرا می‌شود.



شکل۳- مشخصه همگرایی دو الگوریتم

۷-نتیجه گیری

در این مقاله چگونگی حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو در سیستم ۱۴ شین اصلاح شده IEEE با استفاده از الگوریتم PSO بررسی شد. چگونگی اعمال قیود مساوی و نامساوی و نحوه مدیریت متغیرهای پیوسته و گسسته شرح داده شد. به منظور بررسی کارایی PSO، الگوریتم ژنتیک نیز برای حل مساله مذکور استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتمPSO با سرعت بیشتری به جواب بهینه همگرا می‌شود، ضمن اینکه جواب PSO از نظر میزان بهینگی نسبت به GA کیفیت بالاتری دارد. همچنین با بررسی پاسخ‌های دو الگوریتم در چندین بار اجرا با جمعیت‌های اولیهٔ مختلف، مشخص گردید PSO نسبت به GA پایدارتر است. بنابراین PSO قابلیت حل مسئله توزیع بهینه توان راکتیو را بخوبی داراست و نسبت به الگوریتم ژنتیک جواب های بهینه‌تر و مشخصه همگرایی مطلوب‌تری دارد.

مراجع

1. Lee,K. Y., Park,Y. M., and Ortiz, J. L., (1985), "A United Approach to Optimal Real and Reactive Power Dispatch", IEEE Trans. Power Syst., 1(2)pp. 1147–1153.
2. Hong, Y. Y.,Sun, D. I., Lin, S. Y., and Lin, C. J., (1990), "Multi-Year Multi-Case Optimal AVR Planning", IEEE Trans. Power Syst, 5(4), pp.1294–1301.
3. Deeb, N., and Shahidepour, S. M., (1990), "Linear Reactive Power Optimization in a Large Power Network Using the Ecomposition Approach", IEEE Trans.Power Syst,5(2), pp. 428–435.
4. Manlovani, J. R. S., andGarcia A. V., (1995), "A Heuristic Method for Reactive Power Planning ", IEEE Trans. Power Syst., 11(1), pp. 68–74.
5. Granville, S., (1994), "Optimal Reactive Dispatch through Interior Point Methods", IEEE Trans. Power Syst, 9(1), pp. 136–146.
6. Momoh, J. A.,Guo, S. X., Ogbuobiri, E. C., and Adapa, R., (1994), "The Quadratic Interior Point Method Solving Power System Optimization Problems",IEEE Trans. Power Syst., vol. 9, no. 3, pp. 1327–1336.
7. Wu, Y. C., Debs, A. S., and Marsten, R .E., (2001), "A Direct Nonlinear Predictor-Corrector Primal-Dual Interior Point Algorithm For Optimal Power Flows",IEEE Trans. Power Syst., 9(2), pp.876–883 ,(1994).
8. Kennedy, J., Eberhart, R., Shi, Y., "Swarm Intelligence", The Morgan Kaufmann Publishes., pp.123-185.
9. Dorigo, M.,Maniezzo, V.,Coloroni, A., (1991), "The Ant System Optimization by a Colony Of Cooperating Agents". IEEE Trans Syst. Man. Cybernetics, pp. 29-41.
10. Park, J.-B., Lee, K.-S., Shin, J.-R., and Lee, K.Y., (2005), "A Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch with Non-Smooth Cost Functions", IEEE Trans. Power Syst., 20(1) , pp. 34-42.
11. Kannan, S., Slochanal, M.R.,Subbaraj, P., and Padhy, N. P., (2004), "Application of Particle Swarm Optimization Technique and Its Variants to Generation Expansion Planning Problem" ,Electric Power Syst. Res., 70 (3),pp. 203-21.
12. Yu, X.-M., Xiong, X.-Y., and Wu, Y.-W., (2004), "A PSO-Based Approach to Optimal Capacitor Placement with Harmonic Distortion Consideration" Electric Power Syst. Res., 71(1),pp. 27-33.
13. Zhao, B., Guo, C. X., and Cao, Y. J., (2005), "A Multiagent-Based Particle Swarm Optimization Approach for Optimal Reactive Power Dispatch", IEEE Trans. Power syst., 20(2), pp. 1070-1078.
14. Yoshida, H., Kawata, K., Fukuyama, Y., Takayama, S.,Nakanishi, Y., (2000), "A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control Considering Voltage Security Assessment", IEEE Trans.Power syst, 15(4), pp. 1232-1239.
15. Kennedy, J., Eberhart, R., (1995), "Particle Swarm Optimization", in Proc.IEEE Int. Conf. Neural Netw, 4(1), pp. 1942–1948.
16. Kennedy, J., Shi, Y., (2000), "Comparing Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization", in Proc. Congr. Evol.Comput., pp. 84–88.
17. Clerc, M., (2001), "The Particle Swam - Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space", IEEE Trans. Evolutionary., 6(1), pp. 58-73.