سال ششم، شماره‌های ۱۹ و ۲۰، بهار و تابستان ۱۳۹۳
صص: ۱۰- ۱

فصلنامهٔ علمی- پژوهشی
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

استفاده از روش ترکیبی PSO – GA جهت جایابی بهینهٔ خازن در سیستم‌های توزیع

محمدهادی ورهرام*,** امیر محمدی**
* عضو هیات علمی مرکز نظارت و ارزیابی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، تهران
** پژوهشکده زبان ملل، گروه زبان فنی، دانشگاه تهران، تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۲

چکیده
در این مقاله ، ما یک الگوریتم جدید پیشنهاد کرده‌ایم که PSO و ژنتیک را به طریقی با هم ترکیب می‌کند بگونه‌ای که الگوریتم جدید مؤثرتر و کارآمدتر می‌شود. این بدان معناست که سرعت رسیدن به پاسخ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در عین حال دقّت پاسخ نیز به مراتب بالاتر است. خاصیت الگوریتم بهینه‌سازی تجمّع این است که به سرعت همگرا می‌شود ، اما در نزدیکی‌های نقطهٔ بهینه فرآیند جستجو به شدّت کند می‌شود . از طرفی می‌دانیم که الگوریتم ژنتیک نیز به شرایط اولیه به شدت حساس است. در حقیقت طبیعت تصادفی عملگرهای ژنتیک ، الگوریتم را به جمعیّت اولیّه حساس می‌کند. این وابستگی به شرایط اولیه به گونه‌ای است که اگر جمعیّت اولیه خوب انتخاب نشود ، الگوریتم ممکن است همگرا نشود. در این مقاله با استفاده از این الگوریتم ترکیبی GA- PSO، مکان و اندازهٔ بهینهٔ خازن در یک سیستم توزیع نمونه بدست آمده است . همچنین جایابی بهینهٔ خازن با الگوریتم های PSO و GA بطور جداگانه بدست و نتایج با هم مقایسه شده‌اند .نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم جدید می‌تواند سریع‌تر به پاسخ برسد و به جمعیّت اولیه وابسته نیست و پاسخ‌های دقیق‌تری را پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: جایابی خازن، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی تجمّع ذرّات

مقدمه

این مقاله یک رهیافت جدید PSO – GA را برای جایابی بهینهٔ خازن در سیستم‌های توزیع ارائه می‌دهد . جایابی بهینهٔ خازن نقش مهمّی در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع بازی می‌کند. هدف از جایابی بهینهٔ خازن کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و در عین حال کمینه کردن هزینهٔ نصب خازن است. برای آن‌که بتوان تحت شرایط مختلف بهره‌برداری از این مزایا بیش‌ترین استفاده را برد لازم است تا مهندسین توزیع بهترین مکان، اندازه و نوع خازن ها را در سطوح مختلف بار تعیین کنند .

از آنجا که سیستم‌های توزیع واقعی به خاطر شین‌ها و بارها و انشعابات زیادی که دارند ، پیچیده هستند ، لذا ترکیبات ممکن برای بهترین مکان و اندازه خازن‌هایی که باید در این سیستم‌ها نصب شوند ، بی‌شمار است . این امر استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی را به منظور بدست آوردن پاسخ بهینه در یک زمان قابل قبول ، الزامی می‌کند. الگوریتم‌ها و تکنیک‌های مختلفی برای جایابی بهینهٔ خازن پیشنهاد شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از برنامه‌ریزی دینامیکی [1] ،

نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات: محمد هادی ورهرام Recellt@ut.ac.ir

سیستم‌های خبرهٔ فازی[2] ، سیستم‌های ایمن [3] ، جستجوی تابو [4] ، الگوریتم ژنتیک [5] ، بهینه‌سازی تجمّع ذرّات [6] و غیره . الگوریتم بهینه‌سازی تجمّع ذرّات نشان داده است که در طول مراحل اولیه از جستجوی سراسری همگرایی سریعی به سمت نقطهٔ بهینه دارد اما در نزدیکی‌های نقطهٔ بهینه فرآیند همگرایی به سمت نقطهٔ بهینه بشدّت کند می‌شود [7] . از طرف دیگر ، الگوریتم ژنتیک به جمعیّت اولیه بسیار حساس است . در واقع ، طبیعت تصادفی عملگرهای ژنتیک این الگوریتم را به جمعیّت اولیه بسیار حساس می‌کند [8] . این وابستگی به جمعیّت اولیه به گونه‌ای است که ممکن است ، چنانچه جمعیّت اولیه خوب انتخاب نشود ، الگوریتم به پاسخ بهینه همگرا نشود . این مقاله یک تکنیک جدید برای جایابی بهینه خازن ارائه می‌دهد که این تکنیک از یک الگوریتم ترکیبی PSO – GA استفاده می‌کند و قابل اعمال به فیدرهای توزیع شعاعی است .

فرمول کردن مسئله :

هدف از جایابی خازن‌های شنت در طول فیدرهای توزیع کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ در عین کمینه کردن کل هزینه است . بنابراین تابع هدف در این مقاله شامل در دو جمله اصلی است . جملهٔ اول مربوط به کاهش تلفات توان در بار پیک است و جملهٔ دوم هزینهٔ نصب خازن است . در زیر در رابطه با این دو جمله توضیحاتی ارائه شده است .

جملهٔ اول : کاهش کل تلفات

$$P_{T,LOSS} = \sum_{i=0}^{n-1} P_{Loss}(i\ ,i+1) \qquad (1)$$

که n تعداد شین‌ها $P_{LOSS}(i,i+1)$ تلفات توان خط بین شین‌های i و i+1 است .

جملهٔ دوم : هزینهٔ خازن‌گذاری

مسئلهٔ خازن‌گذاری یک مسئلهٔ بهینه‌سازی گسسته است . اندازهٔ خازن‌ها به عنوان یک متغیر گسسته در مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرد . فرض می‌شود که ماکزیمم L خازن با اندازهٔ Q_0^c می‌تواند در یک شین نصب شود . بنابراین اندازه‌های ممکن برای خازن‌گذاری در شین i ام به صورت $\{Q_0^c, 2Q_0^c, \ldots, LQ_0^c\}$ در نظر گرفته می‌شود .

تابع هدف مسئله به صورت زیر است .

$$F = C_P.(P_{T,LOSS0} - P_{T,LOSS1}) - \sum c_i^i \qquad (2)$$

که C_P سود حاصل از کاهش دیماند بر حسب \$/ kw است . $P_{T,LOSS0}$ تلفات توان در حالت پیک بار فیدر قبل از نصب خازن و $P_{T,LOSS1}$ تلفات توان در حالت پیک بار بعد از نصب خازن است .

قید حاکم بر مسئلهٔ خازن‌گذاری عبارت است :

$$V_{\min} \le V_i \le V_{\max} \quad (3) \qquad i=1.2,\ldots,n$$

که $V_{\min}$ و $V_{\max}$ به ترتیب حدّ پایین و بالای ولتاژ هر شین است .

بهینه‌سازی تجمّعی ذرّات :

الگوریتم بهینه‌سازی تجمّعی ذرّات (PSO) یکی از تکنیک‌های محاسباتی – تکاملی (EC) است . این الگوریتم اولین بار توسط کندی و ابرهات در سال 1995 معرفی شد [10]. به خاطر آن‌که این الگوریتم از لحاظ مفهومی ساده است و آن را می‌توان به راحتی با کدهای کامپیوتری پیاده‌سازی کرد از این‌رو توجه محقّقین زیادی را به خود جلب کرد است و بطور موفقیت‌آمیزی به مسائل گستره مهندسی اعمال شده است [3] . هر کدام از ذرّات در الگوریتم تجمّع ذرّات بیانگر یک پاسخ بالقوه هستند. هر ذرّه موقعیّتش را در فضای جستجو تغییر می‌دهد و سرعتش را بر اساس تجربهٔ حرکت خودش و تجربهٔ حرکت اطرافیانش به گونه‌ای به روز می‌کند که موقعیّت بهتری برای خودش حاصل شود. هر ذرّه در جمعیّت به صورت یک نقطه بدون جرم و بدون حجم در یک فضای D– بعدی در نظر گرفته می‌شود. ذرّه i به صورت $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{iD})$ نشان داده می‌شود. موقعیّتی که متناظر است با بهترین برازندگی که ذرّه تاکنون به دست آورده ، به عنوان بهترین موقعیّت کنونی در نظر گرفته می‌شود . این موقعیّت به صورت $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \ldots, P_{iD})$ ثبت و نشان داده می‌شود و مقدار برازندگی مربوطه‌اش را که P_{besti} می‌نامند نیز ثبت می‌شود. بهترین موقعیّت در کل جمعیّت متناظر است با بهترین مقدار برازندگی کل ذرّات کنونی ، G_{best} ، هم ثبت می‌شود و به صورت $P_g = (P_{g1}, P_{g2}, \ldots P_{gd})$ نشان داده

$$v_{id}(t+1) = w.v_{id}(t) + rand(0,c1).(P_{id}(t) - x_{id}(t)) + rand(0,c2).(P_{gd}(t) - x_{id}(t)) \quad (4)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1); \qquad d = 1,2,...,D \quad (5)$$

می‌شود. سرعت یعنی نرخ تغییر موقعیّت برای ذرّه i به صورت $V_i = (V_{i,1}, V_{i,2}, ..., V_{i,D})$ نمایش داده می‌شود. در طول فرآیند تکرار، سرعت و موقعیّت ذرّه i به صورت معادله بالا به روز می‌شود :

که w (وزن اینرسی) نشان دهندهٔ وزن سرعت قبلی ذرّه است . ثابت‌های شتاب دهندهٔ C_2, C_1 نشان دهندهٔ وزن جملات تسریع کنندهٔ تصادفی است که هر ذرّه را به سمت بهترین موقعیّت و بهترین مکان سراسری می‌کشاند. $Rand(0,C_2), Rand(0,C_1)$ دو تابع تصادفی جداگانه‌ای به ترتیب در محدودهٔ $[0,C_2], [0,C_1]$ ایجاد می‌کنند .از رابطهٔ ۳ می‌توان فهمید که سرعت حرکت کنونی یک ذرّه شامل ۳ جمله است . اولین جمله سرعت قبلی ذرّه است که نشان می دهد سیستم PSO ، حافظه دارد . جملات دوم و سوم به ترتیب نشان دهندهٔ آن هستند که هر ذرّه از خودش درک دارد و هر ذرّه رفتار اجتماعی هم دارد . درک داشتن هر ذرّه باعث می‌شود که هر ذرّه به صورت جدا با بقیه ذرّات در نظر گرفته شود و از خود فکر مستقلی داشته باشد، در حالی‌که مدل اجتماعی هر ذرّه بیانگر آن است که ذرّات کارآمدی همسایگانشان را در رسیدن به پاسخ‌های موفق‌تر در نظر می‌گیرند [15,16] .

الگوریتم گام به گام برای جایابی بهینهٔ خازن با استفاده از PSO در زیر آورده شده است .

گام ۱ : داده‌های سیستم را وارد کرده و مقدار اولیهٔ ذرّات PSO را تعیین و تعداد خازن‌هایی که باید نصب شوند را مشخص کنید .

گام ۲ : برای هر سطح بار $i = 1,2,..nl$ محاسبات پخش بار را انجام داده و ولتاژهای rms شین‌ها را بدست آورید.

گام ۳ : مقدار برازندگی هر ذرّه را در جمعیّت محاسبه کنید.

گام ۴ : برای هر ذرّه ، مقدار برازندگی آن را با بهترین مقداری که تاکنون ذرّه داشته است را مقایسه کنید . اگر مقدار برازندگی کم‌تر از P_{besti} باشد این مقدار را به عنوان P_{besti} قرار دهید و موقعیّت ذرّهٔ مربوط را ثبت کنید .

گام ۵ : ذرّه‌ای که مرتبط است با کم‌ترین P_{besti} ذرّات دیگر را انتخاب و به عنوان G_{best} کنونی در نظر بگیرید .

گام ۶ : برای هر ذرّه ، سرعت جدید را با استفاده از گام ۳ محاسبه کنید و سپس موقعیّت ذرّه را با استفاده از رابطهٔ ۴ به روز کنید .

گام ۷ : برای هر ذرّهٔ جدید ، امکان‌پذیر بودن آن را چک کنید .

گام ۸ : اگر ماکزیمم تعداد تکرار حاصل شود یا معیار توقف ارضاء شود به گام ۹ برگشته در غیر اینصورت به گام ۲ بازگردید .

گام ۹ : نتایج را نشان بدهید .

الگوریتم ژنتیک :

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جستجو مبتنی بر انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی است [5] . در الگوریتم ژنتیک ، اعضاء جمعیّت به صورت کروموزوم کد می‌شوند . برازندگی هر ذرّه از تابع هدف بدست می‌آید که باید بهینه شود. جمعیّت کاندید با استفاده از عملگرهای ژنتیک مثل جهش ، ترکیب و انتخاب تکامل پیدا می‌کنند. اعضاء جمعیّت که برازندگی بهتری دارند، شانس بیش‌تری برای تولید مثل دارند چرا که کاندیدای خوب معمولاً عمر طولانی‌تری دارند. به این ترتیب، میزان برازندگی متوسّط جمعیّت در طول

نسل‌ها بهبود می‌یابد. در نهایت جمعیّت به حالت پایداری می‌رسد چرا که هیچ جمعیّت بهتری را نمی‌توان پیدا کرد. در این مرحله الگوریتم همگرا شده و بیش‌تر اعضاء جمعیّت یکسان هستند و نشان دهندهٔ یک پاسخ نزدیک به بهینه برای مسأله است .GA توسط سه عملگر نرخ جهش، نرخ ترکیب و اندازهٔ جمعیّت کنترل می‌شود. به کارگیری الگوریتم ژنتیک در مرجع [6] با جزئیات کامل آورده شده است. همانند هر الگوریتم جستجو، پاسخ بهینه بعد از تکرارهای زیاد حاصل می‌شود . سرعت تکرار توسط طول کروموزوم و اندازهٔ جمعیّت تعیین می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های کارآمد برای مسائل بهینه‌سازی مخصوصاً مسائلی که تابع هدف آن‌ها غیر مشتق‌پذیر و متغیرهای تصمیم‌گیر آن‌ها پیوسته یا گسسته است، است. یکی از عیوب الگوریتم ژنتیک، احتمال همگرایی سریع به سمت یک پاسخ غیر بهینه است [9].

عیب دیگر این الگوریتم ، حساسیت بالای آن به جمعیّت اولیه است [8,13]. چند محدودیت عمده از الگوریتم ژنتیک ، زمانی که در مسأله بکار گرفته شود عبارتند از [13] :

۱ . تابع برازندگی باید به خوبی نوشته شود .

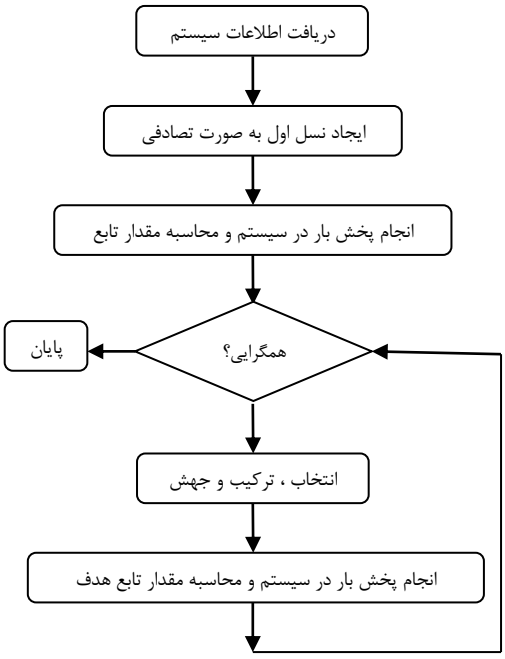
۲ . جستجوی این الگوریتم به صورت بدون جهت و کورکورانه است .

۳ . به پارامترهای اولیه بسیار حساس است .

۴. از لحاظ محاسباتی پرهزینه است .

۵ . معیار توقف باید تعیین شود .

فلوچارت جایابی بهینهٔ خازن با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل ۱آورده شده است .



شکل ۱ فلوچارت مربوط به الگوریتم ژنتیک

الگوریتم PSO – GA برای پیداکردن مکان بهینه

الگوریتم ژنتیک به جمعیّت اولیه بسیار حساس است . در واقع طبعیت تصادفی عملگرهای ژنتیک باعث شده است که این الگوریتم به جمعیّت اولیه بسیار حساس شود.

این وابستگی به جمعیّت اولیه به گونه‌ای است که اگر جمعیّت اولیه خوب انتخاب نشود ممکن است الگوریتم هیچ‌گاه همگرا نشود . با این وجود اگر جمعیّت اولیه به خوبی انتخاب شود عملکرد الگوریتم بهبود می‌یابد .

از طرف دیگر PSO همانند الگوریتم ژنتیک به جمعیّت اولیه حساس است. یکی از مشخصات PSO ، همگرایی سریع آن به سمت بهینهٔ سراسری در مراحل اولیه جستجو و همگرایی کند آن نزدیک بهینهٔ سراسری است .

ایده این مقاله ترکیب الگوریتم PSO و GA به طریقی است که عملکرد الگوریتم جدید بهتر از PSO و GA شود . بدین معنی که سرعت رسیدن به پاسخ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در عین حال دقّت پاسخ، قابل قبول باشد. این الگوریتم جدید را می‌توان برای مسائل بهینه‌سازی زیادی مورد استفاده قرار داد. در واقع کار آیندهٔ ما این است که چگونه این الگوریتم ترکیبی GA-PSO را برای حل مسائل بهینه‌سازی عملی‌تر به کار گیریم [15,16,17].

در مراحل اولیهٔ حل مسأله بهینه‌سازی، الگوریتم PSO یک جمعیّت اولیه نزدیک بهینهٔ سراسری ایجاد می‌کند. بعد از آن الگوریتم از PSO به GA تغییر می‌کند و GA این جمعیّت اولیه را گرفته و حل مسأله بهینه‌سازی را ادامه می‌دهد. الگوریتم گام به گام برای جایابی بهینهٔ خازن با استفاده از این روش ترکیبی پیشنهاد شده بصورت زیر است:

گام ۱ : جمعیّت اولیه با ارضای قیود ایجاد می‌شود.

گام ۲ : پخش بار انجام می‌شود .

گام ۳ : برای هر کدام از اعضاء جمعیّت ، تابع برازندگی‌ای که در معادلهٔ ۲ داده شده ارزیابی می‌شود .

گام ۴ : سرعت با استفاده از معادلهٔ (۱۰) و جمعیّت جدید با استفاده از معادلهٔ (۱۱) به روز می‌شوند.

گام ۵ : اگر ماکزیمم تعداد تکرار حاصل شود به گام بعد می‌رویم در غیر اینصورت به گام ۳ باز می‌گردیم.

گام ۶ : آخرین جمعیّت را به عنوان جمعیّت اولیه در نظر می‌گیریم و با استفاده از الگوریتم ژنتیک جمعیّت را به روز می‌کنیم .

گام ۷ : برای هر کدام از اعضاء جمعیّت ، تابع برازندگی را بعد از اجرای پخش بار با استفاده از معادلهٔ ۲ ارزیابی می‌کنیم .

گام ۸ : اگر شرط توقف ارضاء شود به گام ۹ می رویم در غیر اینصورت به گام ۶ باز می‌گردیم.

گام ۹: نتایج را نشان بدهید .

نتایج عددی و بحث روی آن

هدف بهینه‌سازی پیداکردن بهترین مکان و اندازهٔ خازن‌ها به منظور حداقل کردن تلفات توان همراه با کم‌ترین هزینهٔ خازن است ما از سه الگوریتم به نام‌های PSO ، GA و PSO – GA برای پیداکردن بهترین مکان و اندازهٔ خازن‌هایی که باید سیستم‌های توزیع نصب شود استفاده می‌کنیم . یک سیستم تست ۱۳ باسه در شکل ۲ نشان داده شده و در این شبیه‌سازی ما از این سیستم استفاده کرده‌ایم . نتایج حاصل از این سه الگوریتم با یکدیگر مقایسه شده‌اند . مطالعات شبیه‌سازی روی سیستم پنتیوم IV و 2 GHZ در محیط Matlab انجام شده است . ولتاژ نامی سیستم 4.16kv است . داده‌های بار برای این سیستم در جدول ۱ نشان داده شده است . پارامترهای الگویتم GA به صورت زیر تنظیم شده‌اند .

اندازهٔ جمعیّت : ۵۰۰ ، ماکزیمم تعداد نسل : 1500 ، احتمال ترکیب : 0.8 ، احتمال جهش : 0.01

پارامترهای الگوریتم PSO به صورت زیر تنظیم شده‌اند .

ما برای شبیه‌سازی از الگوریتم PSO اصلاح شده که در مرجع 6 پیشنهاد شده استفاده کرده‌ایم به معنی

$$vt_new = 0.729 * (vt_old + 2.05 * rand * (P_{id}(t) - X_{id}(t)) + 2.05 * rand * (P_{gd}(t) - X_{id}(t)))$$

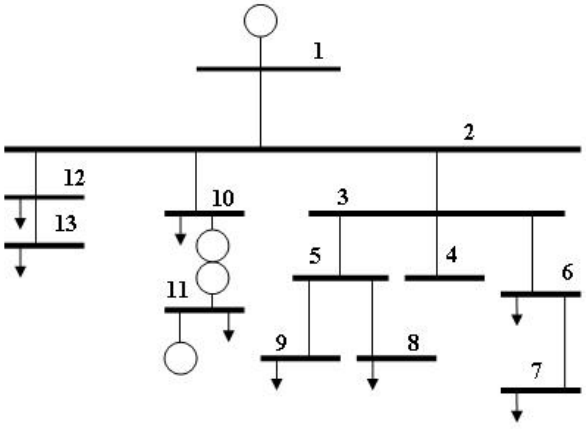
$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + vt_new$$

برای الگوریتم PSO – GA پارمترهای GA به صورت زیر تنظیم شده‌اند :

اندازهٔ جمعیّت : 20 ، ماکزیمم تعداد نسل : 50 ، احتمال ترکیب : 0.8 ، احتمال جهش : 0.01

و برای الگوریتم PSO ، همان فرمولی که درفوق اشاره شده استفاده می‌شود .

داده‌های امپدانس این فیدر نمونه در جدول ۲ نشان داده شده است .



شکل۲سیستم تست IEEE نمونه ۱۳ باس

جدول ۱ داده‌های بار مربوط به سیستم تست

Bus No.	PL (Pu)	QL (Pu)	Vnom KV
1	0	0	4.16
2	0.15	0.087	4.16
3	1.205	0.689	4.16
4	0	0	4.16
5	0	0	4.16
6	0.17	0.151	4.16
7	0.843	0.462	4.16
8	0.17	0.08	4.16
9	0.128	0.086	4.16
10	0	0	4.16
11	0.4	0.29	0.48
12	0.17	0.125	4.16
13	0.23	0.132	4.16

Cp در رابطهٔ (۲) به مقدار 160$/kw-year تنظیم شده است. هزینهٔ خازن 12.5kvar برابر 100$ است . دورهٔ مطالعه ۴ ساله است و نرخ تورم 0.15 است . ماکزیمم تعداد خازن‌هایی که می‌توان در یک شین نصب کرد 8 است (یعنی 8*12.5=100kvar)

نتایج الگوریتم‌های PSO , GA , PSO – GA در جدول ۳ آورده شده‌اند . مقایسه بین هزینهٔ کل سالانه و تلفات توان و زمانی‌که CPU صرف می‌کند در جدول ۴ آورده شده است . همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده روش پیشنهاد شده می‌تواند پاسخ بهینه را با دقّت بیش‌تر و زمان بسیار کم‌تری بدست آورد .

جدول ۳ خازن‌های نصب شده با روشهای PSO و GA و PSO-GA

Bus No.	Capacitor Placement With GA (KVAr)	Capacitor Placement With PSO-GA (KVAr)	Capacitor Placement With PSO (KVAr)
1	12.5	50	12.5
2	12.5	25	25
3	12.5		
4			
5			
6	12.5	37.5	12.5
7	12.5		12.5
8			
9			
10			
11	12.5		
12			
13			
6	7	0.1387	0.0693

جدول ۴ هزینهٔ کل سالانه ، تلفات توان وزمان CPU

	Before Compensation	Compensation With GA	Compensation With PSO	Compensation With PSO-GA
P (KW)	6.756	4.004	4.214	4.040
Cost ($/KW)	1,080	640.64	674.24	646.4
CPU time (Sec)		2,231.9377	252.2393	32.45

نتیجه گیری

در این مقاله ما یک الگوریتم جدید که ترکیبی است از GA , PSO پیشنهاد کرده‌ایم. در این الگوریتم جدید تلاش ما بر این بوده است تا نقاط ضعف PSO , GA را بر طرف کنیم تا بدین ترتیب الگوریتمی بهتر ایجاد کنیم. این الگوریتم برای حل هر مسألهٔ بهینه‌سازی مناسب است . با این الگویتم، ما بهترین مکان و اندازهٔ خازن‌هایی را که در یک سیستم توزیع، باید نصب شود را پیدا کرده‌ایم. این مسأله بهینه‌سازی گسسته است. ما همچنین این مسأله را با دو الگوریتم PSO و GA به طور جداگانه حل کرده و نتایج را با هم مقایسه کرده‌یم. با مقایسهٔ نتایج، نشان داده شده است که این الگوریتم جدید کارآمدتر و بهتر است، به این معنا که الگوریتم جدید می‌تواند سریع‌تر به پاسخ برسد و به جمعیّت اولیه وابسته نیست و پاسخ‌های دقیق‌تری را پیدا می‌کند

منابع

1. T. H. Fawzi, S. M. El-Sobki, and M. A. Abdel-Halim, "A New Approach for the application of Shunt Capacitors to the Primary Distribution Feeders," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 102, pp. 10-13, January 1983.
2. H. N. Ng, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, "Capacitor Allocation by Approximate Reasoning: Fuzzy Capacitor Placement," IEEE Transactions of Power Delivery, vol. 15, pp. 393-398, January 2000.
3. S. J. Huang, "Immune-Based Optimization Method to Capacitor Placement in a Radial Distribution System," IEEE Transactions ofPower Delivery, vol. 15, pp. 744- 749, April 2000.
4. R. A. Gallego, A. J. Monticelli, and R. Romero, "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks," IEEE Transactions of Power Delivery, vol. 16, pp. 630-637, November 2001.
5. M. A. S. Masoum, M. Ladjevardi, A. Jafarian, and E. F. Fuchs, "Optimal Placement, Replacement and Sizing of Capacitor Banks in Distorted Distribution networks by Genetic Algorithms," IEEE Transactions of Power Deliverv, vol. 19, pp. 1794-1801, October 2004.
6. Xin-mei Yu, Xin-yin Xiong, Yao-wu Wu "A PSO-based approach to optimal capacitor placement with harmonic distortion consideration", Electric Power Systems Research, vol. 7, pp. 27-33. January 2004
7. Jing-Ru Zhang, Jun Zhang, Tat-Ming Lok, Michael R. Lyu, " A hybrid particle swarm optimization–back-propagation algorithm for feedforward neural network training" Applied Mathematics and Computation Elsevier, 2006
8. Jose Miva, Jose Ramon, Alvarez "Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications" Ebook
9. Ching-Tzong Su, Guor-Rurng Lii and Ching Cheng Tsai,"Optimal Capacitor Allocation Using Fuzzy Reasoning and Genetic Algorithms for Distribution Systems", Mathematical and Computer Modeling, Vol. 33, 2001
10. K.F.Man, K.S.Tang and S.Kwong, "Genetic Algorithm concepts and application", IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol 43 no.5, pp.519-534,Oct 1996.
11. J.H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press, 1975.
12. T.S. Chung, Y.Z. Li," A Hybrid GA Approach for OPF with Consideration of FACTS Devices", IEEE Power Engineering Review, February 2001
13. Betram Koh Lin Hon "Accelerated Genetic Algorithm in Power System Planning" Electrical Engineering thesis 2003

14. Stephane Gerbex, Richard Cherkaoui and Alain.J.Germond " Optimal location of multi-type FACTS devices by means of Genetic algorithm" IEEE Trans. Power system Vol.16 pp 537-544 August 2001
15. James Kennedy and Russel Eberhart, "Particle Swarm Optimization" Proc. of IEEE International conference on neural networks, Vol 14, pp 1942 – 1948 December 1995
16. Yuhui Shi, Russel.C.Eberhart, "Empirical study of particle swarm optimization", Proc. of the congress on Evolutionary computation, Vol.13, pp 1945-1950, July 1999
17.Murthy, K.V.S.R; RamalingaRaju, M.; Rao, G.G, "Comparison between conventional, GA and PSO with respect to optimal capacitor placement in agricultural distribution system ", Proc. of the 2010 Annual IEEE india conference, INDICON 2010, 17-19, pp 1-4