مکان‌یابی بهینه و اندازه تولیدات پراکنده و خازن‌های موازی به‌صورت همزمان در شبکه‌های توزیع برق با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی

مجتبی غلامی*[۱]

*۱- کارشناس ارشد برق، امور بهره برداری ناحیه شمال، شرکت سهامی برق منطقه ای خوزستان، دزفول، ایران

Farhad.gholamy@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

چکیده: جایابی و مقدار یابی بهینه منبع تولید پراکنده و خازن یک مسئله بهینه‌سازی با تابع هدف غیرخطی است که دارای قیود مساوی و نامساوی است و کارایی روش‌های فرا ابتکاری برای حل مسائل بهینه‌سازی تا هر درجه‌ای از پیچیدگی به اثبات رسیده است. همچنین با افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش مصرف انرژی الکتریکی نیاز به تولید نیز بیشتر می‌شود که این موضوع سبب افت بیشتر ولتاژ، افزایش تلفات و درنتیجه کاهش پایداری ولتاژ گره‌ها می‌شود. برای حل این معضلات بهترین راهکار نصب منابع تولید پراکنده (DGs) و جبران سازهای خازنی است، نصب چنین منابعی از تأسیس خطوط انتقال و توزیع جدید و تغییر توپولوژی سیستم قدرت برای تأمین توان جلوگیری می‌کند و باعث بهبود معضلات ذکرشده می‌شود. لذا در این مقاله مکان‌یابی و مقدار یابی بهینه تولیدات پراکنده و خازن‌های موازی به‌صورت همزمان در شبکه‌های توزیع برق با استفاده از الگوریتم (PSO) مبتنی بر یادگیری تطبیقی (ALPSO) با اهداف کاهش تلفات توان اکتیو، بهبود پروفیل ولتاژ شین‌ها و شاخص پایداری ولتاژ بر روی شبکه استاندارد ۳۳ توسط نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گیرد. نتایج نشان داده‌شده پس از بررسی و مقایسه نشان‌دهنده‌ی عملکرد نسبتاً مطلوب الگوریتم ALPSO برای حل مسئله جایابی است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی، منابع تولید پراکنده، خازن‌های موازی، سیستم توزیع شعاعی.

۱- مقدمه

معمولاً در شبکه‌های شعاعی مقدار ولتاژ مربوط به شین‌های انتهایی ازنظر کیفیت توان مناسب نیست. لذا برای بهبود کیفیت توان مربوط به این شین‌ها خازن و منابع تولید پراکنده گزینه‌های مناسبی هستند. حضور منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع دارای مزایای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی از قبیل کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ سیستم، بهبود امنیت شبکه، افزایش بازدهی سیستم، بهبود کیفیت توان، افزایش پایداری ولتاژ سیستم، کاهش هزینه‌های شرکت‌های توزیع و کاهش گازهای آلاینده می‌باشند. حضور همزمان DG ها و خازن‌ها در شبکه، اثر مناسب‌تری بر عملکرد سیستم و بهبود شاخص سیستم دارند بنابراین جایابی منابع تولید پراکنده و جایابی خازن در سیستم‌های قدرت از اهمیت زیادی برخوردار است. روش‌های گوناگونی بر پایه آنالیز عددی و ابتکاری برای تعیین و ظرفیت DG و خازن ارائه کرده‌اند که در ادامه نگاهی به این روش‌ها خواهیم کرد.

در [۱] نیز اندازه‌ی بهینه‌ی DG را روی یک روش برنامه‌ریزی خطی (LP) بر روی شبکه ایرلند حل کردند. در [۲] از تغییرات افزایشی در تلفات توان نسبت به تغییر فاکتور حساسیت توان حقیقی تزریق شده استفاده کرد. مشکل این روش طولانی بودن فرآیند تعیین مکان بهینه نصب DG در شبکه توزیع است. هم‌چنین آن‌ها تنها مکان DG را

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

بهینه کردند و تنها برای نصب یک DG در شبکه توزیع این روش پیشنهادشده است. در [۳] روش الگوریتم PSO برای حل مسئله جایابی و مقدار یابی بهینه خازن‌های موازی بکار رفته است. این روش بر روی یک شبکه ۱۳ شین استاندارد با بارهای نامتعادل انجام‌شده است. جایابی و اندازه همزمان تولیدات پراکنده و خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع نامتعادل با استفاده از الگوریتم ژنتیک در مرجع [۴] انجام‌شده است. در[۵] داس نیز یک روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و منطق فازی را برای خازن گذاری بهینه بکار برده است. این روش بر روی سیستم استاندارد ۶۹ شینه اعمال‌شده و جواب‌ها در سه سطح بار به‌دست‌آمده است. تأثیر تولیدات پراکنده در بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان شبکه توزیع سه فاز نامتعادل در مرجع [۶] انجام‌گرفته است. روش‌های ابتکاری برای حل مساله بهینه‌سازی به علت ارزیابی فضای جستجوی بسیار کارآمد می‌باشند روش‌های بهینه‌سازی هم چون روش مورچگان (ACO) [۷] و روش بهینه‌سازی حرکت پرندگان (PSO) [۸] و برنامه های تکاملی (EP) [۹] در مقالات متنوع برای تعیین مسئله جایابی DG مطرح شده اند. در [۱۰] مسئله جایابی DG به‌صورت یک مسئله برنامه نویسی چند هدف با محدودیت فرموله شده است که با استفاده از GA حل شده است. در ادامه در بخش دوم ابتدا به مدل‌سازی اهداف و قیود مرتبط با جایابی منابع تولید پراکنده و خازن پرداخته می‌شود و سپس روش پخش بار سیستم توزیع معرفی می‌شود. در بخش سوم الگوریتم حل توسط روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نتایج و سناریوهای شبیه-سازی بیان و تحلیل می‌گردند. در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای کارهای آینده ارائه می‌گردد.

۲- فرمول بندی مسئله

۲-۱- تابع هدف اصلی

در تعیین مکان و ظرفیت DG، خازن آنچه در این مقاله مدنظر قرارگرفته بهبود عملکرد فنی شبکه است؛ که به‌صورت بهبود سه ترم فنی شبکه که عبارت‌اند از: تلفات، تنظیم ولتاژ و افزایش پایداری شبکه توزیع است. لذا تابع هدف ارائه‌شده به‌صورت یک تابع چندهدفه معرفی و فرمول بندی می‌گردد. علاوه بر آن مسئله دارای قیود تساوی، حفاظتی و عملکردی است که در ادامه معرفی می‌شوند. رابطه (۱) تابع هدف کل ارائه‌شده را توصیف می‌کند:

$$f = f_1 + k_1 * f_v + k_2 * f_{VSI} \qquad (۱)$$

ضرایب k_2 و k_1 به ترتیب ضرایب وزنی برای سهم هریک از شاخص‌های پایداری ولتاژ و تنظیم ولتاژ در تابع هدف می‌باشند. توابع f_1، f_v و f_{VSI} نیز به ترتیب در ادامه تعریف می‌شوند.

۲-۱-۱- تابع کاهش تلفات شبکه

تابع کاهش تلفات فیدر در رابطه (۲) تعریف‌شده است.

$$Min\ .f_1 = min\ \{ P_{loss}\} \qquad (۲)$$

P_{loss} در رابطه‌ی (۲-۶) تلفات توان حقیقی برابر RI^2 است.

۲-۱-۲- تابع بهبود پروفیل ولتاژ

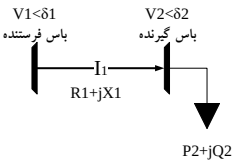
f_V مربوط به شاخص انحراف ولتاژ است که به‌صورت رابطه (۳) معرفی‌شده است :

$$f_v = \sum_{i=1}^{N_n} (V_i - V_{rated})^2 \qquad (۳)$$

V_{rated} در رابطه‌ی (۲-۷) مربوط به ولتاژ نامی شین است که (یک پریونیت) فرض شده است.V_i ولتاژ شین‌های سیستم وN_n نیز تعداد شین‌های شبکه است.

۲-۱-۳- تابع بهبود شاخص پایداری ولتاژ

تابع f_{VSI} مربوط به شاخص پایداری ولتاژ در سیستم‌های توزیع است. در شکل زیرسیستم ساده دو شین نمایش داده‌شده است و بر اساس آن معادلات لازم را استخراج می‌کنیم.



شکل (۱): شاخه‌ای از سیستم توزیع

از شکل (۱) می‌توان نوشت:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_2}{R_1 + jX_1} \qquad (۴)$$

$$P_2 - jQ_2 = V_2^* I_1 \qquad (۵)$$

که n_1گره فرستنده، n_2 گره دریافت‌کننده، I_1 جریان شاخه، V_1 ولتاژ گره ۱، V_2 ولتاژ گره ۲، P_2 مجموع توان حقیقی بار تغذیه‌شده در گره ۲، Q_2 مجموع توان راکتیو بار تغذیه‌شده در گره ۲، R_1 مقاومت شاخه ۱، X_1 راکتانس شاخه ۱ ، با استفاده از معادلات (۴) و (۵) داریم :

$$SI(n_i) = |V_{mi}|^4 - 4[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}]V_{mi}|^2 \qquad (۶)$$
$$-4[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}]^2$$

که SI شاخص پایداری ولتاژ در گره ۲ است. برای عملکرد پایدار سیستم توزیع باید مقدار $SI(n_2) > 0$برای $n_{2=2,3,\ldots,}Nn$ باشد.گره‌هایی با مینیمم شاخص پایداری ولتاژ، گره‌هایی مستعد برای ناپایداری شبکه در صورت بروز خطا و یا عدم تعادل تقاضا و تولید می‌باشند. ازاین‌رو، از این شاخص برای شناسایی شین‌های ضعیف توسز (۷) در شبکه استفاده کرده‌ایم.

$$f_{VSI}' = \min(SI(n_i)) \quad , i = 2,3,\ldots,N_n \qquad (۷)$$

و تابع f_{VSI} را درنهایت به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$f_{VSI} = \frac{1}{f_{VSI}'} \qquad (۸)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

۲-۲- قیود

۲-۲-۱- قید تعادل توان

توان اکتیو و راکتیو را با توجه به معادلات معروف پخش بار در روابط (۹) و (۱۰) نشان داده‌شده‌اند. که در روابط زیر P_{gi} وQ_{gi} مربوط به توان‌های اکتیو و راکتیو بار در شین i، به ترتیب می‌باشند.δ_i وV_i نیز زاویه و اندازه ولتاژ شین‌ها به ترتیب می‌باشند.θ_{ij} وY_{ij} المان‌های هستند که از ماتریس ادمیتانس شبکه استخراج می‌گردند.

$$P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \cos\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) = 0 \qquad (۹)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \sin\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right) = 0 \qquad (۱۰)$$

۲-۳- قید ولتاژ

شرط ولتاژ، به‌منظور رعایت کیفیت توان تحویلی به مصرف‌کننده‌ها، ولتاژ هریک از شین‌ها در شبکه توزیع باید در محدوده‌ی حداقل و حداکثر مجاز تعریف‌شده قرار بگیرند. لذا در هر حالت نصب ادوات مذکور باید شرط ولتاژ مطابق با رابطه (۱۱) چک شود تا ولتاژ شین‌ها در ناحیه مجاز خود قرار گیرند.

$$V_i^{min} < V_i < V_i^{max} \qquad i = 1\ldots, N_n \qquad (۱۱)$$

در رابطه بالاV_i ولتاژ در شین i ام، V_i^{min} حداقل ولتاژ مجاز در شین i، V_i^{max} حداکثر ولتاژ مجاز در شین i وN_n تعداد شین‌های شبکه است. در این مطالعه حد بالای ولتاژ V_i^{max}برابر با ۱,۰۵ و حد پایین ولتاژ برابر با ۰,۹۵ پریونیت در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴- قیود توان

۲-۴-۱- توان عبوری از خطوط

در سیستم‌های توزیع از هادی‌هایی با سطح مقطع متفاوت که حد توان عبوری از آن‌ها متفاوت است استفاده می‌شود؛ بنابراین در هنگام نصب ادوات فوق در شبکه و بر روی فیدرهای فرعی بایستی بررسی گردد که توان هر شاخه طبق رابطه (۱۲) از مقدار مجاز آن (که توسط نوع هادی‌های به‌کاررفته مشخص می‌شود) بیشتر نشود.

$$\left|S_i\right| \le \left|S_i^{max}\right| \qquad i = 1, 000, N_b \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲)، S_i توان عبوری از شاخه i، S_i^{max} حداکثر توان عبوری از شاخه i وN_b تعداد شاخه‌های سیستم مورد آزمون است. همچنین میزان S_i^{max} برابر ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر است.

۲-۴-۲- توان حداقل و حداکثر DG و حدود ضریب توان

به‌صورت استاندارد میزان حداقل و حداکثر توان منصوبه به DG در این مطالعه بین ۰ تا ۵۰۰۰ KVA است.ضریب توان DG می‌تواند در محدوده بین ۰ تا ۱ تغییر نماید.

$$S_{DG}^{\max} \le S_{DGi} \le S_{DG}^{\max} \qquad i = 1, 000, N_{DG} \qquad (۱۳)$$

۲-۴-۳- توان حداقل و حداکثر خازن

به‌صورت استاندارد میزان حداقل و حداکثر توان منصوب به خازن در این مطالعه بین ۰ تا ۵۰۰۰ kvar است که به‌صورت قید نامساوی در این مقاله لحاظ شده است.

$$Q_{Cap}^{\max} \le Q_{Capi} \le Q_{Cap}^{\max} \qquad i = 1, 000, N_{Cap} \qquad (۱۴)$$

همچنین برای حل مسئله پخش بار در سیستم مورد مطاعه پخش بار پیشرو پسرو را مورد استفاده قرار داده ایم.

۳- الگوریتم ALPSO

الگوریتم PSO یک الگوریتم تکاملی الهام گرفته از طبیعت است، ابتدا در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و همکاران پیشنهادشده است [۱۰]. در این مقاله، به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های الگوریتم PSO سنتی، یک الگوریتم PSO ترکیبی با استراتژی مبتنی بر یادگیری تطبیقی (ALPSO) پیشنهادشده است [۱۱] که شامل یک خودآموز مبتنی بر استراتژی تولید نسل برای اطمینان از شناسایی و همچنین یک یادگیری رقابتی مبتنی بر استراتژی پیش‌بینی برای تضمین بهره‌برداری از الگوریتم و یک متعادل‌کننده بر اساس مکانیسم تنظیم جهت مسیر حرکت برای تعادل بهتر اکتشاف و بهره‌برداری است.

۳-۱- مکانیسم تنظیم جستجوی جهت مبتنی بر خطا

جزئیات روش در الگوریتم جدول (۱) نشان داده‌شده است.

۳-۲- استراتژی تولید کاندید مبتنی بر خودآموزی

جزئیات تولید کاندید در الگوریتم جدول (۲) شرح داده‌شده است.

. سپس متغیر انحراف استاندارد که نشان‌دهنده‌ی توزیع بهترین راه‌حل همه‌ی ذرات است، در گروه با n ذرات با استفاده از رابطه (۱۵) و رابطه (۱۶) به دست می‌آید.

$$Average^d = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i^d \qquad (۱۵)$$

$$\sigma^d = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i^d - Average^d)^2} \qquad (۱۶)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

جدول (۱): مکانیسم تنظیم جستجوی جهت مبتنی بر خطا

۱. مقداردهی اولیه **T=0**
۲. اگر $\sum_{i=1}^{n} f(P_i)^t - f(P_i)^{t-1} = 0$ سپس
۳. **T=T+1**
۴. پایان
۵. عددی تصادفی بین ۰ و ۱ تولید کن
۶. اگر $\Pr ob_{adjust} = \frac{\exp(T)-1}{\exp(10)-1}$ بزرگ‌تر از عدد تصادفی بود سپس
۷. روند یادگیری را برای **Pg** فعلی متوقف کن
۸. پایان

جدول (۲): الگوریتم ۲ راهبرد تولید کاندید خود- یادگیری.

۱. برای هر بعد **d** از ۱ تا **D**
۲. عدد تصادفی بین ۰ تا ۱ تولید کن
۳. اگر $Prob_{Candidate}$ بزرگ‌تر از عدد تصادفی بود
۴. $Candidate^d = Pg^d$
۵. در غیر این صورت
۶. دو ذره تصادفی **Pk** و **Pm** را از ذرات انتخاب کن
۷. اگر **f(Pk)<f(Pm)** بود
۸. $\text{Candidated}^{\text{d}} = P_k^d + Gaussian(\sigma^d)$
۹. در غیر این صورت
۱۰. $\text{Candidated}^{\text{d}} = P_m^d + Gaussian(\sigma^d)$
۱۱. پایان
۱۲. پایان
۱۳. پایان

۳-۳- راهبرد پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری رقابتی

هنگامی‌که ازدحام از P_g فعلی یاد می‌گیرد، سرعت با رابطه (۱۷) در زیر به‌روزرسانی خواهد شد:

$$v_i^d = \omega v_i^d + c_1 r_1^d \left(P_i^d - x_i^d\right) + c_2 r_2^d \left(P_g^d - x_i^d\right) \quad (۱۷)$$

و اگر ازدحام از کاندید یاد بگیرند، سرعت با معادله (۱۸) در زیر به‌روزرسانی خواهد شد:

$$v_i^d = \omega v_i^d + c_1 r_1^d \left(P_i^d - x_i^d\right) + c_2 r_2^d \left(Candadate^d - x_i^d\right) \quad (۱۸)$$

پس از یک‌بار تکرار، یک رابطه رقابتی بین P_g فعلی و کاندید وجود دارد، و ازدحام، مورد بهتر را به‌عنوان P_g جدید در چند تکرار بعدی انتخاب می‌کند، و ذره بدتر از مورد بهتر برای به‌روزرسانی وضعیت خود یا خواهد گرفت. به همین دلیل است که ما آن را "یادگیری رقابتی " می‌نامیم. به‌منظور اندازه‌گیری توانایی هدایت ازدحام P_g و کاندید، معادله (۱۹) به‌صورت زیر توصیف می‌شود،

$$Competitiveness_L = \sum_{i=i}^{n} f(x_i)^{t+1} - f(x_i)^t \quad (۱۹)$$

که در آن L نشان‌دهنده شیء یادگیری ازدحام است. اگر $Competitiveness_{Pg}$ بزرگ‌تر از $Competitiveness_{Candidate}$ باشد، این بدان معنی است که بهبود زمانی که ازدحام از P_g فعلی یاد می‌گیرد بهتر می‌شود، و بالعکس. سپس ازدحام یک گزینه بهتر را به‌عنوان P_g جدید در تکرار بعدی انتخاب خواهد کرد. جزئیات این راهبرد به‌عنوان الگوریتم ۳ استخراج‌شده است.

جدول (۳): الگوریتم ۳ راهبرد تولید مقایسه استراتژی پیش‌بین.

۱. برای هر تکرار **t** تا **t+1**
۲. برای هر ذره **i** که **i** از ۱ تا **n** است
۳. مقدار $Competitiveness_{Candidate}$ را حساب کن
۴. پایان
۵. پایان
۶. برای هر تکرار **t** تا **t+1**
۷. برای هر ذره **i** که **i** از ۱ تا **n** است
۸. مقدار $Competitiveness_{Pg}$ را حساب کن
۹. پایان
۱۰. پایان
۱۱. اگر $Competitiveness_{Pg} < Competitiveness_{Candidate}$
۱۲. $Pg = Candidate$
۱۳. در غیر این صورت
۱۴. **Pg** را تغییر نده
۱۵. پایان

اکنون می‌توانیم چهارچوب این الگوریتم ALPSO را در جدول (۴) در زیر خلاصه کنیم.

جدول (۴): الگوریتم ۴ چهارچوب ALPSO

۱. مقداردهی اولیه تمام ذرات و سرعت‌ها در فضای جستجو
۲. **T=0** و $\Pr ob_{adjust} = 0$
۳. تابع تناسب را برای هر ذره محاسبه کن
۴. Pi^t و Pg^t رو به‌روز کن
۵. مادامی‌که شرایط توقف برقرار نشده
۶. موقعیت و سرعت را برای همه ذرات به‌روزرسانی کن
۷. تابع تناسب را برای هر ذره محاسبه کن
۸. Pi^t و Pg^t رو به‌روز کن
۹. اگر $\Pr ob_{adjust} = \frac{\exp(T)-1}{\exp(10)-1}$ بزرگ‌تر از عدد تصادفی بود سپس
۱۰. روند یادگیری را برای **Pg** فعلی متوقف کن
۱۱. مطابق با الگوریتم جدول (۳-۲) ذره کاندید را انتخاب کن
۱۲. مطابق با الگوریتم جدول (۳-۳) بهترین ذره را انتخاب کن
۱۳. مطابق با الگوریتم جدول (۳-۱) مقدار **T** و $\Pr ob_{adjust}$ را به‌روزرسانی کن
۱۴. پایان شرط **if**
۱۵. پایان حلقه **while**

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

۴- نتایج شبیه سازی

۴-۱- شبیه سازی

به‌منظور تست تابع هدف به‌دست‌آمده و نیز تست نتایج شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی، شبیه‌سازی‌ها بر روی سیستم ۳۳ IEEE انجام‌شده و نتایج عددی در جداول ذیل آورده شده‌اند.

در ادامه داده‌های فنی برای انجام مطالعه به‌قرار زیر آورده شده است. برای انجام مطالعات فنی هر شبکه در سه سناریوی مختلف موردمطالعه قرارگرفته است.

جدول (۵): معرفی سناریوها

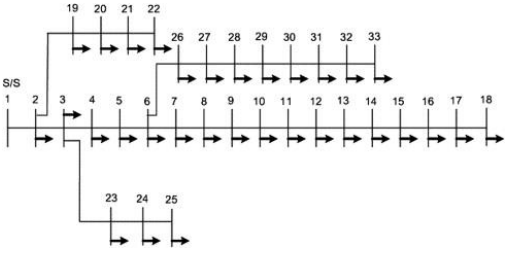
نام سناریو	اختصار
سناریو ۱	With DG
سناریو ۲	With Cap
سناریو ۳	With DG & Cap
حالت پایه	Defult

در جدول (۶) پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی بکار رفته در شبیه‌سازی‌ها آورده شده است.

جدول (۶): پارامترهای الگوریتم ALPSO بکار رفته شده در شبیه‌سازی‌ها

تعداد جمعیت	۲۰۰
تعداد تکرار	۶۰۰
C1	۱
C2	۰,۵
حداقل ظرفیت DG	KVA۰
حداکثر ظرفیت DG	KVA ۵۰۰۰
حداقل ظرفیت خازن	kvar۰
حداکثر ظرفیت خازن	kvar۵۰۰۰

مشخصات در نظر گرفته‌شده برای این فیدر مطابق مرجع [۱۲] است. دیاگرام تک‌خطی فیدر توزیع ۳۳ شینه مطابق شکل (۲) است.

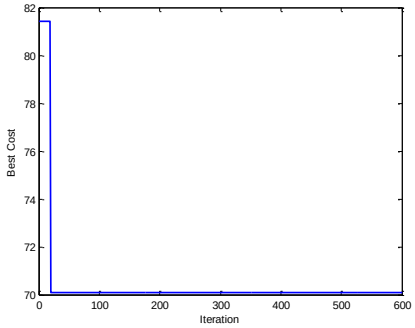


شکل (۲): دیاگرام تک‌خطی فیدر ۳۳ شینه

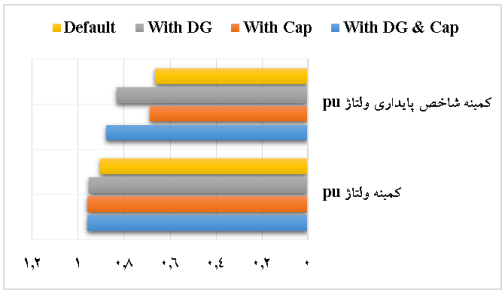
نتایج عددی تست و شبیه‌سازی مربوط به مکان‌یابی بهینه همزمان خازن و DG برای شبکه ۳۳ شینه در جدول (۷) آورده شده است.

همچنین نمودار همگرایی موردی در شکل (۳) نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تکرار ۳۵ شبیه‌سازی با روش پیشنهادی کاملاً همگرا شده است.

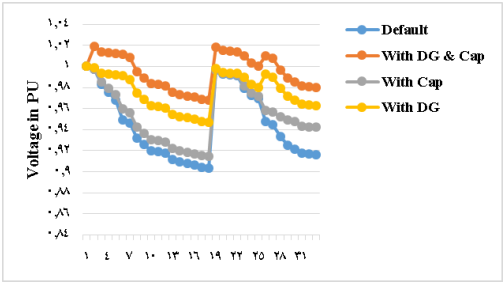
شکل (۴) تا (۷) این مقایسه بین سناریوها را بهتر نمایش می‌دهد. همان‌طور که از اشکال (۵) و (۶) پیدا است مشاهده می‌شود که درواقع نصب DG به‌تنهایی شاخص‌ها پایداری ولتاژ و پروفیل ولتاژ را برای کلیه شینه های شبکه از همه حالات بهتر بهبود داده است اما سناریوی نصب خازن و DG با توجه به شکل (۴) توانسته روی مقادیر کمینه شاخص پایداری و پروفیل ولتاژ اثر مطلوبی را مستقیماً بگذارد.



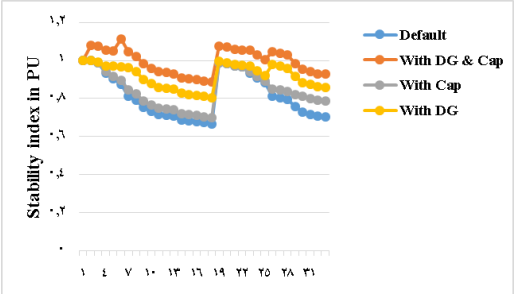
شکل (۳): نمودار همگرایی برای فیدر ۳۳ شینه



شکل (۴): مقایسه مقادیر کمینه در هر چهار حالت



شکل (۵): مقایسه شاخص پروفیل ولتاژ در هر چهار حالت



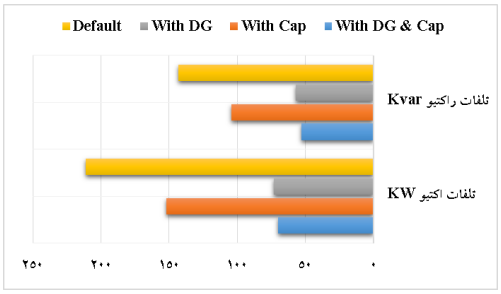
شکل (۶): مقایسه شاخص پایداری ولتاژ در هر چهار حالت

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

جدول (۷): مقایسه سناریوها برای فیدر ۳۳ شینه

	With DG & Cap	With Cap	With DG	Default
تلفات اکتیو KW	۷۰	۱۵۲	۷۳	۲۱۰/۹۹
تلفات راکتیو Kvar	۵۳	۱۰۴	۵۷	۱۴۳
کمینه ولتاژ pu	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵۵	۰/۹۰۳۸
کمینه شاخص پایداری ولتاژ pu	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۸۳۱۸	۰/۶۶۷۱

همان‌طور که مشاهده می‌کنید در بین هر سه سناریو درواقع نصب همزمان خازن و DG بهترین وضعیت را برای شبکه به لحاظ تلفات و سطح ولتاژ و پایداری ولتاژ به وجود می‌آورد.



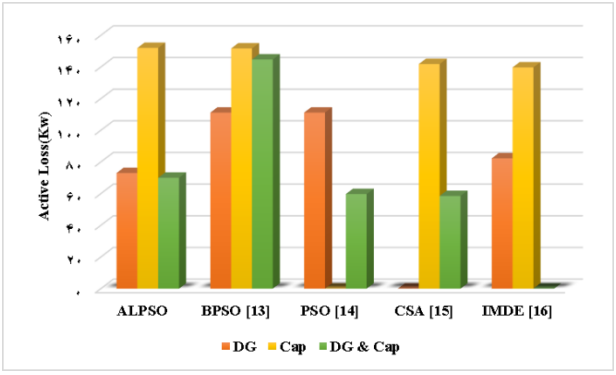
شکل (۷): بررسی مقایسه تلفات اکتیو و راکتیو فیدر ۳۳ شینه

در بین این حالات به نظر می‌رسد نصب خازن به‌تنهایی اثر مطلوبی روی وضعیت شبکه نخواهد گذاشت؛ اما راهکاری اقتصادی و کوتاه‌مدت برای بهبود وضعیت شبکه محسوب می‌شود. لذا برای این فیدر بهترین حالت برای بهبود پارامترهای فنی سیستم نصب همزمان DG و خازن است که تلفات اکتیو و راکتیو فیدر را به ترتیب از مقادیر ۲۱۰,۹۹ کیلووات و ۱۴۳ کیلووار به مقدار ۷۰ کیلووات و ۵۳ کیلووار رسانده است و به‌صرفه‌ترین راه‌حل نصب تنها خازن در شبکه است البته نصب DG به‌تنهایی در شبکه نیز می‌تواند تا حد زیادی پارامترهای فنی سیستم را بهبود بخشد اما به لحاظ اقتصادی حالتی بینا بینی را در میان سناریوهای مطالعاتی دارد. نتایج مقایسه با سایر مراجع را در جدول (۸) ارائه می شود.

جدول (۸): مقایسه نتایج تلفات اکتیو (KW) فیدر ۳۳ شینه

سناریو / روش	With DG	With Cap	With DG & Cap
ALPSO	۶۸	۱۴۵	۶۱
[۱۳] BPSO	۱۱۱/۱۵	۱۵۱/۷	۱۴۴/۷۳
[۱۴] PSO	۱۱۱/۱۵	–	۵۹/۷
[۱۵] CSA	–	۱۴۳/۸۳	۵۸/۴۹
[۱۶] IMDE	۸۲/۲۸	۱۳۹/۷	–

همان‌طور که مشاهده می‌کنید الگوریتم پیشنهادی به لحاظ نتایج در مقایسه با سایر روش‌ها نتایج مطلوبی را ارائه کرده که البته نسبت به بعضی روش‌ها بهتر و نسبت به بعضی دیگر زیاد خوب نیست به کمک شکل (۸) این مسئله را بهتر تحلیل می‌کنیم.



شکل (۸): بررسی مقایسه تلفات اکتیو فیدر ۳۳ شینه

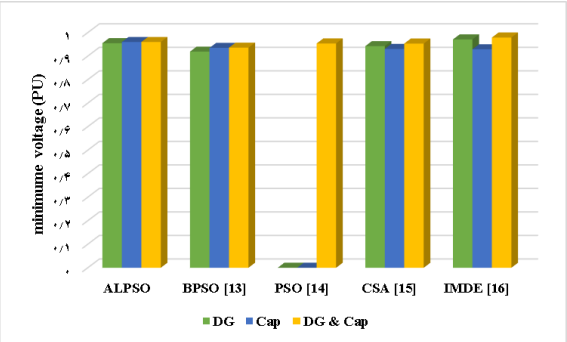
حال با توجه به شکل در سناریوی که تنها DG در شبکه نصب‌شده است روش مورداستفاده ما یعنی روش ALPSO بهترین جواب را در مقابل سایر روش‌ها داشته است یعنی مقدار ۶۸ کیلووات تلفات این در حالی است که روش BPSO مقدار ۱۱۱/۱۵روش PSO ۱۱۱/۱۵و روش IMDE ۸۲/۲۸ کیلووات تلفات داشته است؛ اما در سناریوی دوم که تنها هدف نصب خازن در فیدر بوده است روش مورد نظر ما تنها نسبت به روش BPSO نتیجه مطلوبی داشته یعنی مقدار ۱۵۱/۷ کیلووات اما نسبت به سه روش دیگر نتیجه قابل‌ملاحظه نگرفته است همچنین بازهم در سناریوی سوم روش ما به تلفات ۶۱ کیلووات دست‌یافته است حال‌آنکه درروش BPSO این مقدار ۱۴۴/۷۳بوده است اما در سه روش دیگر نتایج بهتر بودند یعنی درروش PSO مقدار ۵۹/۷ و درروش CSA مقدار ۵۸/۴۹ کیلووات را داریم اما درروش IMDE این سناریو بررسی نشده است. همان‌طور که از نتایج پیدا است الگوریتم مورداستفاده ما در بعضی حالات جواب مطلوبی ارائه داده است اما در برخی دیگر این مسئله صدق نمی‌کند. که البته این مسئله به دلیل تعدد قیود و توابعی است که در این مورد مطالعاتی برای حل مسئله در نظر گرفته‌شده است. در جدول (۹) همین مقایسه را برای کمینه ولتاژ انجام خواهیم داد.

جدول (۹): مقایسه نتایج کمینه ولتاژ (Pu) فیدر ۳۳ شینه

سناریو / روش	With DG	With Cap	With DG & Cap
ALPSO	۰/۹۵۵	۰/۹۲۶۳	۰/۹۷۴۶
[۱۳] BPSO	۰/۹۱۹	۰/۹۳۵	۰/۹۳۵۸
[۱۴] PSO	–	–	۰/۹۵۳۷
[۱۵] CSA	۰/۹۴۲۹	۰/۹۳۰۴	۰/۹۵۳۴
[۱۶] IMDE	۰/۹۷۱	۰/۹۲۹	۰/۹۷۹

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

برای تحلیل بهتر نتایج مانند قسمت قبلی از نمودار میله‌ایی استفاده می‌کنیم که در شکل (۹) این مطلب تحلیل می‌شود.



شکل (۹): بررسی مقایسه کمینه ولتاژ فیدر ۳۳ شینه

همان‌طور که در این شکل مشخص است روش پیشنهادی ما (ALPSO) در سناریوی یک که فقط DG در شبکه نصب‌شده توانسته کمینه ولتاژ فیدر ۳۳ شینه را به مقدار ۰/۹۵۵ پریونیت افزایش دهد که این مقدار در مقابل روش‌های BPSO و CSA که مقادیر ۰/۹۱۹ و ۰/۹۴۲۴را ارائه داده‌اند خیلی بهتر است اما درروش PSO این سناریوی بررسی نشده است. همچنین در سناریوی دوم که فقط هدف جایابی خازن است روش ما کمینه ولتاژ ۰/۹۲۶۳ را به دست آورده است حال‌آنکه سه روش CSA،BPSO و IMDE به ترتیب مقادیر ۰/۹۳۵، ۰/۹۳۰۴ و ۰/۹۲۹ پریونیت را به دست آورده‌اند که در این مورد روش پیشنهادی نتیجه مطلوبی را نداده است. در سناریوی سوم که هدف جایابی خازن و DG به شکل همزمان در شبکه بوده است روش پیشنهادی مقاله مقدار ولتاژ ۰/۹۷ را به دست آورده است که این مقدار نسبت به سه روش BPSO، PSO و CSA که به ترتیب ۰/۹۳۵۸، ۰/۹۵۳۷و ۰/۹۵۳۴ پریونیت بوده است خیلی مطلوب‌تر است اما نسبت به روش IMDE در مرجع [۱۶] مقدار بهینه‌ای ندارد.

۵- نتیجه گیری

الگوریتم ALPSO یک روش بهینه‌سازی جدید است که قادر به حل مسائل بهینه‌سازی گسسته و پیوسته است. روش ارائه‌شده به همراه الگوریتم ALPSO و پخش بار به‌صورت ترکیبی در محیط MATLAB برنامه‌نویسی شده است و بر روی سیستم‌های متعادل استاندار ۳۳ شینه اعمال‌شده و نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی بیان‌کننده کارایی و سرعت‌بالا و عملکرد نسبتاً خوب این روش برای حل مسئله مکان‌یابی است. نتایج به‌دست‌آمده در چند مورد با روش-های مورداستفاده در مقالات معتبر مرجع مقایسه شده که با بررسی و آنالیز نتایج به‌دست‌آمده در کل می‌توان دریافت که:

روش پیشنهادی بر روی سیستم‌های توزیع تئوری و عملی به‌خوبی عمل می‌کند و باعث کاهش قابل‌توجه تلفات اکتیو و راکتیو، بهبود پروفیل ولتاژ و در کل بهبود عملکرد سیستم توزیع می‌شود. سرعت‌بالا و عملکرد مناسب، انعطاف‌پذیری الگوریتم و نتایج حاصل از آن حاکی از این امر است که می‌توان از این الگوریتم به‌عنوان یک نرم‌افزار درزمینه جایابی بهینه در شبکه‌های توزیع واقعی و حل سایر مسائل بهینه‌سازی سیستم توزیع بهره گرفت حتی می‌توان آن را در قالب *GUI* در محیط متلب برای استفاده تجاری شرکت‌ها توزیع ارائه نمود. همچنین نتایج نشان داده شد حاکی از آن بود که الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی برای حل چنین مسائلی می‌تواند عملکرد بهینه‌تری نسبت به برخی الگوریتم‌ها داشته باشد.

مراجع

[1]. A. Eajal M. E. El-Hawary “Optimal Capacitor Placement and Sizing in Unbalanced Distribution Systems With Harmonics Consideration Using Particle Swarm Optimization Abdelsalam” IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 25, NO. 3, JULY 2010

[2]. Acharya, N., Mahat, P., & Mithulananthan, N. (2006). An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *28*(10), 669-678.

[3]. Bakhshideh Zad B, Hasanvand H, Lobry J, Vallée F, 2015, “Optimal reactive power control of DGs for voltage regulation of MV distribution systems using sensitivity analysis method and PSO algorithm”, Electrical Power and Energy Systems, 68, 52–60

[4]. ChithraDevi S.A, Lakshminarasimman L, Balamurugan R, 2016, “Stud Krill herd Algorithm for multiple DG placement and sizing in a radial distribution system”, Engineering Science and Technology, an International Journal

[5]. D. Das, “Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a Fuzzy-GA method” Electrical Power and Energy Systems 30 (2008) 361–367

[6]. Dahal S, Salehfar H, 2016, “Impact of distributed generators in the power loss and voltage profile of three phase unbalanced distribution network”, Electrical Power and Energy Systems, 77, 256–262

[7]. Falaghi, H., & Haghifam, M. R. (2007, July). ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution systems. In *Power Tech, 2007 IEEE Lausanne* (pp. 555-560). IEEE.

[8]. Raj, P. A. D. V., Senthilkumar, S., Raja, J., Ravichandran, S., & Palanivelu, T. G. (2008). Optimization of distributed generation capacity for line loss reduction and voltage profile improvement using PSO. *Elektrika Journal of Electrical Engineering*, *10*(2), 41-48.

[9]. Gandomkar, M., Vakilian, M., & Ehsan, M. (2005). A genetic–based tabu search algorithm for optimal DG allocation in distribution networks. *Electric Power Components and Systems*, *33*(12), 1351-1362.

[10]. Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science* (pp. 39-43). Ieee.

[11]. Wang, F., Zhang, H., Li, K., Lin, Z., Yang, J., & Shen, X. L. (2018). A hybrid particle swarm optimization

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

algorithm using adaptive learning strategy. *Information Sciences*, *436*, 162-177.

[12]. Zeinalzadeh A, Mohammadi Y, Moradi M. H, 2015, “Optimal multi objective placement and sizing of multiple DGs and shunt capacitor banks simultaneously considering load uncertainty via MOPSO”, Electrical Power and Energy Systems, 67,336–349

[13]. R. Baghipour and S. M. Hosseini, "Placement of DG and capacitor for loss reduction, reliability and voltage improvement in distribution networks using BPSO," *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 4, p. 57, 2012.

[14]. M. Aman, G. Jasmon, K. Solangi, A. Bakar, and H. Mokhlis, "Optimum simultaneous DG and capacitor placement on the basis of minimization of power losses," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 5, p. 516, 2013.

[15]. H. Barati and M. Shahsavari, "Simultaneous Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation Resources and Shunt Capacitors in Radial Distribution Systems using Crow Search Algorithm," 2018.

[16]. A. Khodabakhshian and M. H. Andishgar, "Simultaneous placement and sizing of DGs and shunt capacitors in distribution systems by using IMDE algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 82, pp. 599-607, 2016.

رزومه



مجتبی غلامی در دزفول متولد شده است (۱۳۵۷). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- شبکه های انتقال و توزیع از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر (۱۳۸۵)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۸) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر کارشناس مسئول نظارت بر بهره برداری و تعمیرات امور بهره برداری انتقال نیرو ناحیه شمال می باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Optimal Placement and Sizing of DGs and Shunt Capacitor Banks Simultaneously in Distribution Networks using Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Adaptive Learning Strategy

Mojtaba Gholami[1,*]

*1-Senior Electrical Engineer, North Area Operation, Khuzestan Regional Electric Company, Dezful, Iran
Farhad.gholamy@yahoo.com

Abstract: Optimization of DG and capacitors is a nonlinear objective optimization problem with equal and unequal constraints, and the efficiency of meta-heuristic methods for solving optimization problems has been proven to any degree of complex it. As the population grows and then electricity consumption increases, the need for generation increases, which further reduces voltage, increases losses, and thereby decreases the voltage stability of the nodes. The best solution to these problems is to install distributed generation sources (DGs) and capacitors, the installation of such resources will prevent the establishment of new transmission and distribution lines and change the power system topology to improve power supply and improve the aforementioned problems. Therefore, in this article, optimum locating and quantification of distributed generation and parallel capacitors simultaneously in power distribution networks using Adaptive Learning practical swarm optimization Algorithm (ALPSO) with the goal of reducing active power losses, improving voltage profile profiles and stability index Voltage on standard 33-bus grid by MATLAB software. The results presented after review and comparison show the relatively desirable performance of the ALPSO algorithm for solving the optimal location problem.

Keywords: Adaptive Learning Particle Swarm Optimization Algorithm (ALPSO), Distributed Generation Resources, Parallel Capacitors, Radial Distribution System.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.6.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019