

روشی جدید در جایابی بهینه خازن‌ها و ژنراتورهای توزیع شده در شبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده با PSO

رحمت‌الله هوشمند^۱، دانشیار، حسین محکمی^۲، کارشناسی ارشد، امین خدابخشیان^۳، دانشیار

گروه مهندسی برق - دانشکده مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

amin.kh@eng.ui.ac.ir, Hossein.mohkami@gmail.com, Hooshmand_r@eng.ui.ac.ir

چکیده: یکی از روش‌های اساسی در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه‌های توزیع، استفاده بهینه از خازن‌های ثابت و قابل سوئیچ می‌باشد. از آنجایی که در این شبکه‌ها، بارهای اکتیو توسط باس اصلی تأمین می‌شوند، نقش خازن تنها در کاهش سهم راکتیو تلفات اهمی می‌باشد. لذا در این مقاله به منظور کاهش سهم اکتیو و راکتیو تلفات، علاوه بر خازن‌گذاری از منابع تولیدات پراکنده (DG) نیز استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا مکان‌های بهینه DG با استفاده از آنالیز شاخص ولتاژ مشخص شده و سپس با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مقدار توان تولیدی DG‌ها محاسبه می‌گردد. همچنین حل مسئله در سطوح مختلف بارگذاری و استفاده از مقادیر گسسته خازن در بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. در این راستا با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده با PSO، مسئله چند هدفی جایابی و تعیین مقدار بهینه خازن‌ها و جایابی تولیدات پراکنده در شبکه توزیع بهینه‌سازی می‌گردد. تابع هدف در نظر گرفته شده شامل کاهش هزینه تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می‌باشد. در نهایت روش پیشنهادی با روش‌های GA، DE و PSO مقایسه شده و بر روی شبکه توزیع ۶۹ باسه IEEE بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: جایابی بهینه خازن، تولیدات پراکنده، سیستم توزیع، الگوریتم جستجوی باکتریایی.

A New Optimal Placement of Capacitors and Dispersed Generators using Bacterial Foraging Oriented by Particle Swarm Optimization Algorithm in Distribution Systems

R. Hooshmand, H. Mohkami, A. Khodabakhshian

Electrical Engineering Department, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract: The fixed and switching capacitor banks are widely utilized in distribution systems to possibly reduce reactive power losses and also to improve the voltage profile. In this paper, in order to also reduce the active power losses the dispersed generator (DG) will be used. In this regard, the DG locations will be first determined by means of the voltage index analysis and then the required power to be generated by each DG will be specified using the proposed algorithm given in this paper. The problem solution at different load levels and the utilization of discrete values capacitor are also performed for optimization. Therefore, by applying the multi-objective problem, the optimal placement of these devices and the values of the capacitors are determined based on bacterial foraging (BF) oriented by particle swarm optimization (PSO) algorithm (BF-PSO). The objective function includes the cost reduction of power losses and improving the voltage profile. Finally, the proposed method is compared with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and PSO methods. They are investigated on the IEEE 69-bus distribution system.

Keywords: Optimal capacitor placement, Dispersed generators, BFA and PSO techniques, Distribution systems.

۱- مقدمه

یکی از روش‌های مؤثر و مفید به منظور تنظیم سطح ولتاژ، کاهش تلفات انرژی، اصلاح ضریب توان و آزادسازی ظرفیت سیستم در شبکه‌های توزیع، استفاده از خازن‌های شنت می‌باشد [۱۴-۱۵]. از طرفی در سال‌های اخیر به دلیل مسائل زیست محیطی، استفاده از منابع تولید پراکنده (DG) مورد توجه قرار گرفته است [۱۸-۱۵]. این ژنراتورها در نقاط استراتژیک شبکه و اساساً نزدیک به مراکز بار نصب می‌شوند که مهمترین شاخصهای حاصل از نصب این ژنراتورها، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان سیستم است [۱۵ و ۱۸].

از موارد مهم در این بهینه‌سازی، در نظر گرفتن تغییرات بار شبکه می‌باشد. در بعضی از روش‌ها [۸-۱۰] تغییرات بار در سه سطح مختلف در نظر گرفته شده است و در بعضی دیگر از روش‌ها [۱۴-۱۱] و [۱۷-۱۸] اصلاً در نظر گرفته نشده است و بار به صورت مقدار ثابت ارائه شده است. فاکتورهایی که به طور معمول در طراحی ژنراتورهای توزیع شده مد نظر قرار می‌گیرند شامل نوع تکنولوژی به کار رفته، تعداد و ظرفیت واحدهای در دسترس، محل بهینه نصب و نحوه اتصال به شبکه می‌باشند [۱۵]. بنابراین در نظر گرفتن این دو جبرانساز، مسئله را به یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفی با قیود مختلف تبدیل کرده که حل آن با روش‌های متعارف به سادگی امکان‌پذیر نیست [۱۷ و ۱۸]. همچنین در بعضی از مقالات خازن‌گذاری تنها در راستای بهبود سطح ولتاژ و کاهش تلفات صورت گرفته است [۱ و ۱۷]، در صورتی که در نظر گرفتن سود حاصل از نصب خازن یک فاکتور مهم در این مسائل بوده که این فاکتور در مقالات [۷-۲] مد نظر قرار گرفته است. از طرف دیگر برای حل مسئله مذکور، الگوریتم‌های هوشمند متعددی استفاده شده است که در این زمینه می‌توان به الگوریتم ژنتیک [۷ و ۱۱]، فازی و ژنتیک با کد حقیقی [۱]، الگوریتم سیستم دفاعی بدن [۲]، استفاده از الگوریتم SA بر پایه منطق فازی [۳]، ترکیب الگوریتم‌های تکامل تفاضلی و PSO [۴] و Tabu Search [۱۳] اشاره کرد.

در این مقاله ژنراتور توزیع شده با مدل واقعی بار و خازن در سطوح مختلف بارگذاری با در نظر گرفتن هزینه صرفه‌جویی شده ناشی از نصب این ادوات، مد نظر گرفته شده است. در این راستا ابتدا مکان‌های بهینه برای نصب DG توسط آنالیز شاخص ولتاژ مشخص شده و سپس میزان توان تولیدی آن‌ها با استفاده از الگوریتم پیشنهادی تعیین می‌گردد. به منظور جایابی خازن‌ها نیز ابتدا با استفاده از آنالیز حساسیت، باس‌هایی با حساسیت بیشتر را برای جایابی بهینه خازن کاندید می‌کنیم. سپس به منظور فرایند

بهینه‌سازی از الگوریتم جستجوی باکتریایی استفاده شده تا مقدار و مکان بهینه خازن‌ها انتخاب گردند. به منظور نشان دادن قابلیت این الگوریتم، شبیه‌سازی با الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، تکامل تفاضلی (DE) و PSO نیز انجام شده و نتایج مقایسه آورده شده است. این نتایج ارائه شده، قابلیت روش پیشنهادی را به خوبی نشان می‌دهند.

۲- بیان مسئله

این مسئله شامل کنترل توان راکتیو توسط خازن‌های سوئیچینگ و تعیین محل DG جهت تزریق توان به شبکه می‌باشد. این موضوع به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌گردد که از توابع هدف و محدودیت‌های مسئله تشکیل شده است.

۱-۲- تابع هدف پیشنهادی

کل تلفات ($P_L = RI^2$) در یک سیستم توزیع با تعداد n شاخه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_L = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i \quad (1)$$

که I_i مقدار جریان و R_i مقاومت شاخه i ام را مشخص می‌کنند. جریان شاخه از محاسبات پخش بار به دست آمده که شامل قسمت اکتیو (I_a) و راکتیو (I_r) می‌باشد. بنابراین تلفات شبکه شامل جزء اکتیو و راکتیو به صورت زیر بیان می‌شود [۵]:

$$P_{La} = \sum_{i=1}^n I_{ai}^2 R_i \quad (2)$$

$$P_{Lr} = \sum_{i=1}^n I_{ri}^2 R_i \quad (3)$$

در یک شبکه توزیع با ساختار مشخص، مقدار تلفات اکتیو را نمی‌توان تنها با استفاده از خازن کاهش داد؛ چرا که بارهای اکتیو متصل به شبکه بایستی توسط باس اصلی تأمین گردند. بنابراین نقش خازن در کاهش قسمت راکتیو تلفات اهمی می‌باشد. لذا در این مقاله به منظور تأمین بار شبکه از ژنراتور توزیع شده در یک محدوده تولید مشخص استفاده شده است. سپس برای کاهش جزء اکتیو تلفات شبکه با استفاده از DG، مقدار مناسب تولید در محدوده در نظر گرفته شده با الگوریتم پیشنهادی در راستای کاهش تلفات محاسبه می‌گردد.

که در این روابط، N_g ، N ، P_{DG} و Q به ترتیب تعداد کل باس‌ها، تعداد ژنراتورها، مقدار توان DG و خازن‌های جبران‌ساز را نشان دهند. همچنین مقادیر V و V_G به ترتیب ولتاژ باس‌ها و ولتاژ باس ژنراتور را نشان می‌دهند.

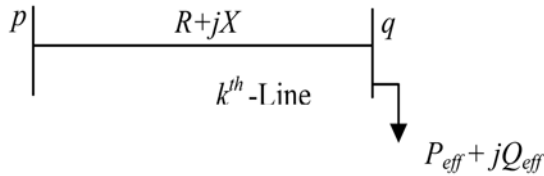
۳- روش آنالیز حساسیت

باس‌های کاندید شده برای جایابی خازن با استفاده از آنالیز حساسیت مشخص می‌شوند. تخمین این باس‌ها به کاهش فضای جستجو در فرایند بهینه‌سازی کمک می‌کند.

یک خط در سیستم توزیع با امپدانس $R+jX$ و یک بار $P_{eff}+jQ_{eff}$ متصل شده بین باس‌های p و q مطابق شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود. تلفات توان اکتیو در خط k م برابر است با:

$$P_{Line-loss} = [I_k^2] * R[k] \quad (11)$$

که با جایگزینی مقدار I_k خواهیم داشت:



شکل (۱): نمودار خط توزیع بین باس‌های p و q

$$P_{Line-loss}[q] = \frac{(P_{eff}^2[q] + Q_{eff}^2[q])R[k]}{(V[q])^2} \quad (12)$$

به طوری که $P_{eff}[q]$ کل توان اکتیو تغذیه کننده گره q می‌باشد.

بنابراین فاکتور آنالیز حساسیت از مشتق گیری $P_{Line-loss}$ نسبت به Q_{eff} به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial P_{Line-loss}}{\partial Q_{eff}} = \frac{(2 * Q_{eff}[q] * R[k])}{(V[q])^2} \quad (13)$$

بنابراین باس‌ها بر اساس مقادیر محاسبه شده در فوق رتبه‌بندی شده و با توجه به شرایط مسئله چند باس با بیشترین مرتبه حساسیت برای جایابی بهینه انتخاب می‌شوند [۴].

بنابراین تابع هدف در نظر گرفته شده به صورت حداقل کردن هزینه تلفات، نصب خازن و DG در نظر گرفته شده است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F = k_e \sum_{j=1}^L T_j P_j + \sum_{i=1}^{ncap} k_c Q_{ci} + \sum_{i=1}^{nDG} Q(G_i) \quad (4)$$

در این رابطه، P_j سطح بار j ، T_j زمان تناوب سطح بار j م، Q_{ci} تعداد بانک‌های خازنی در گره i و $Q(G_i)$ هزینه ژنراتور نصب شده در گره i می‌باشد. مقادیر $ncap$ و nDG به ترتیب محل‌های کاندید نصب خازن و ژنراتور توزیع شده، L تعداد سطوح بار، k_e هزینه تلفات انرژی و ضریب k_c هزینه نصب هر واحد کیلووار خازنی بر طول عمر خازن می‌باشد.

لازم به ذکر است که شرط بهبود پروفیل ولتاژ به صورت یک ضریب جریمه بعد از تشریح الگوریتم پیشنهادی در قسمت (۷) بیان می‌شود.

۲-۲- قیود مسئله

قیود در نظر گرفته شده در این مسئله، شامل قیود حدود ولتاژ، ژنراتور توزیع شده و خازن‌های جبران‌ساز است. قیود نامساوی که در این تابع هدف بایستی در نظر گرفته شود به صورت زیر بیان می‌گردد [۵].

(۱) قیود ولتاژ:

$$V_{G_{min}} < V_{G_i} < V_{G_{max}}, i = 1, 2, \dots, N_g \quad (5)$$

$$V_{K_{min}} < V_K < V_{K_{max}}, K = 1, 2, \dots, (N - N_g) \quad (6)$$

(۲) قید توان DG:

$$P_{DG_{min}} < P_{DG} < P_{DG_{max}} \quad (7)$$

(۳) قید توان راکتیو ژنراتورها:

$$Q_{G_{min}} < Q_{G_i} < Q_{G_{max}}, i = 1, 2, \dots, N_g \quad (8)$$

(۴) قید توان راکتیو خازنها:

$$Q_{c_{q_{min}}} < Q_{c_q} < Q_{c_{q_{max}}}, q = 1, 2, \dots, Q \quad (9)$$

(۵) قیود پخش بار:

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_n + \delta_n - \delta_i) \\ Q_i = -|V_i|^2 B_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_n + \delta_n - \delta_i) \quad (10)$$

هزینه اولیه (که همان هزینه خرید، نصب، تجهیزات جانبی و تعمیرات است) در ضریب برگشت سرمایه ضرب شود. یعنی،

$$F_{it} = F_{it0} \left[\frac{i_r(1+i_r)^{D_y}}{(1+i_r)^{D_y} - 1} \right] \quad (16)$$

که F_{it0} هزینه اولیه سرمایه‌گذاری و F_{it} هزینه سالانه خازن‌ها، i_r نرخ رشد سالانه پول، و D_y عمر طرح (به سال) است. در نهایت می‌توان گفت که با مدل‌سازی واقعی خازن‌های موجود در بازار و در نظر گرفتن نرخ رشد پول، مسائل اقتصادی مربوطه در نظر گرفته شده و اطمینان کافی برای مدیران سیستم جهت خرید خازن به وجود آمده است [۷].

۶- الگوریتم جستجوی باکتریایی

اساساً حرکت به سمت ماده غذایی یک رفتار امرار معاش است که نوعی بهینه‌سازی را می‌طلبد باکتری‌ها هم تلاش می‌کنند به ماده غذایی برسند و از مواد سمی دور شوند و به دنبال راهی برای خروج از محیط غذایی خنثی و سمی‌هستند [۲۱-۲۰]. بنابراین درک و مدل این رفتار منجر به استفاده از آن در هر سیستم بهینه‌سازی غیر خطی خواهد شد. فرآیند جستجوی غذای باکتری E.Coli که در روده انسان زندگی می‌کند توسط چهار عمل‌کرد حرکت به سمت ماده غذایی^۲، حرکت دسته‌جمعی^۳، تولید مثل^۴ و حذف و پراکندگی^۵ در حل مسائل بهینه‌سازی مدل می‌شود.

۶-۱- حرکت به سمت ماده غذایی

باکتری E.Coli با توجه به محیط پیرامونش می‌تواند تصمیم بگیرد که به دو روش متفاوت حرکت کند. چرخش تازک‌ها نشان‌دهنده نوع حرکت کردن آن‌ها می‌باشد. یک باکتری می‌تواند بپیماید (برای یک مدت زمانی شنا کند) یا می‌تواند معلق شود، و در طول مدت زندگی‌اش بین این دو روش متغیر است. شکل (۲) حرکت باکتری را نشان می‌دهد [۴].

در BFA^۶ یک واحد حرکتی با جهات تصادفی، نشان‌دهنده پربدن است و یک واحد حرکتی با جهت مشابه نسبت به آخرین مرحله، معرف شنا کردن است. مرحله حرکت به سمت ماده غذایی، شامل یک پرش به همراه یک پرش یا یک پرش به همراه یک شنا است. این حرکت به صورت زیر بیان می‌شود:

۴- روش آنالیز شاخص ولتاژ

مکان‌های بهینه به منظور نصب DG بر اساس شاخص بهبود پروفیل ولتاژ مشخص شده‌اند. در این راستا با جبران ۲۰٪ توان بار در هر باس توسط DG، شاخص ولتاژ (V_{index}) برای هر باس بر اساس معادله (۱۴) محاسبه می‌گردد [۱۹]:

$$V_{index} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (1-V_i)^2}{n}} \quad (14)$$

در این رابطه V_i ولتاژ گره i ام و n تعداد گره‌های شبکه می‌باشند. براساس این معادله هرچه میزان شاخص ولتاژ گره کمتر باشد ولتاژ گره‌های شبکه به یک پریونیت نزدیکتر است. بنابراین باس‌های مشخص شده بر اساس این آنالیز، باس‌هایی با شاخص ولتاژ کمتر می‌باشند.

۵- مدل‌سازی خازن‌ها

در بهینه‌یابی خازن‌گذاری، باید مسئله به گونه‌ای طراحی گردد تا از محدوده کیلووارهای خازنی به صورت مقادیر گسسته استفاده گردد؛ زیرا در غیر این صورت، گرد کردن مقدار خازن طراحی شده به نزدیکترین مقدار خازن موجود، معادله غیرخطی هزینه را حداقل نمی‌کند. بنابراین در این الگوریتم، یک لیست از خازن‌های موجود تشکیل می‌گردد. سپس از بین این لیست خازن‌ها، ترکیب مناسب از نظر هزینه‌های خرید، نصب و نگهداری انتخاب می‌گردد.

همچنین در مقدار یابی خازن‌ها نباید مبنای انتخاب را بر روی توان راکتیو ثابت خازن‌ها در نظر گرفت؛ زیرا توان راکتیو آنها با تغییر ولتاژ فیدر، تغییر می‌کند. پس مدل‌سازی خازن باید بر مبنای امپدانس ثابت آن انجام گیرد. به عبارت دیگر، باید توان راکتیو هر خازنی (Q_C) بر اساس رابطه زیر مرتباً و در هر مرحله پخش بار محاسبه گردد:

$$Q_C = \frac{V_C^2}{X_C} \quad (15)$$

که در این رابطه، V_C ولتاژ تغذیه خازن و X_C راکتانس خازنی است. مسئله مهم دیگر در امر خازن‌گذاری، در نظر گرفتن نرخ رشد هزینه سرمایه‌گذاری برای خازن‌های طراحی است؛ زیرا از نظر اقتصادی، طرحی قابل قبول است که سودآوری آن از هزینه اولیه سرمایه‌گذاری به اضافه نرخ رشد هزینه اولیه، بیشتر باشد. بنابراین باید

است. همچنین θ_m^i امین ترکیب موقعیت باکتری i ام (θ^i) و θ_m نیز m امین ترکیب باکتری مورد نظر است.

۳-۶- تولید مثل

پس از تعداد N_c گام حرکت یک گام (مرحله)، تولید مثل اتفاق می افتد. تعداد N_{re} نمایانگر تعداد مراحل تولید مثل است. اگر S (یک عدد صحیح زوج مثبت)، بیانگر تعداد اعضای از جمعیت باشد که دارای مواد غذایی کافی هستند، آنگاه بدون هیچ جهشی (مشابه والدین) تولید مثل می کنند (به ۲ قسمت تبدیل می شوند). بنابراین تعداد S باکتری دارای سلامت کافی بوده و تکثیر می شوند و تعداد S_r نیز از بین می روند. لذا همواره تعداد باکتری ها S می باشد.

۴-۶- حذف و پراکندگی

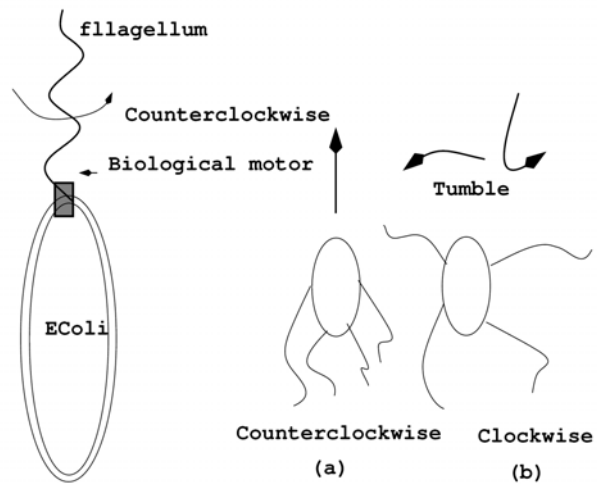
شنا کردن، زمینه را برای جستجوی محلی مهیا می سازد و فرآیند تولید نسل به همگرایی سرعت می بخشد. حال آن که یک فضای وسیع تنها با شنا و تولید نسل برای جستجوی بهترین نقطه سراسری نمی تواند کافی باشد. در الگوریتم جستجوی باکتریایی پیشامد پراکندگی بعد از تعداد معینی از فرآیند تولید نسل اتفاق می افتد. ابتدا یک باکتری با توجه به احتمال از پیش تنظیم شده P_{ed} انتخاب می شود تا به موقعیت دیگری در محیط پراکنده شده و حرکت داده شود. این اتفاق می تواند به طور مؤثری از گیر افتادن در نقاط بهینه محلی جلوگیری کند. همچنین، تعداد N_{ed} پدیده حذف و پراکندگی است و برای هر باکتری P_{ed} تعریف می شود که احتمال حذف و پراکندگی آن است. فرض می کنیم که فرکانس گام های حرکت بیشتر از فرکانس گام های تولید مثل است و فرکانس تولید مثل نیز از حذف و پراکندگی بیشتر است. بنابراین قبل از تولید مثل مراحل حرکتی زیادی رخ می دهد و قبل از حذف و پراکندگی نیز تعداد زیادی تولید مثل اتفاق می افتد [۲۰-۲۱]. روندنمای این الگوریتم در شکل (۳) نشان داده شده است.

۷- الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده با PSO

الگوریتم جستجوی باکتریایی وابسته به مسیرهای تصادفی بوده که باعث کند شدن فرآیند جستجوی جواب بهینه می شود. الگوریتم PSO نیز ممکن است به جواب های بهینه محلی همگرا شود. لذا در الگوریتم پیشنهادی سعی شده تا از مزایای هر دوی این الگوریتم ها در فرآیند

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i) \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}} \quad (17)$$

که $\theta^i(j, k, l)$ بیانگر موقعیت باکتری i ام در مرحله حرکت l ام و تولید مثل k ام و حذف و پراکندگی l ام است. $C(i)$ طول گام و $\Delta(i)$ یک بردار تصادفی را مشخص می کنند.



شکل (۲): نمایی از رفتارهای حرکتی سلول E.Coli

۲-۶- حرکت دسته جمعی

بحث بخش (۱-۶) برای مواردی بود که باکتریها به صورت منفرد عمل می کنند (بدون ایجاد سیگنال برای سایر باکتریها) ولی در اینجا بین باکتریها تبادل سیگنال وجود دارد (از طریق مواد جذب کننده). لذا برای هر باکتری، حرکت دسته جمعی به صورت زیر تعریف می شود:

$$J_{cc}^i(\theta, \theta^i(j, k, l)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, S \quad (18)$$

$$J_{cc}(\theta, P(j, k, l)) = \sum_{i=1}^S J_{cc}^i(\theta, \theta^i(j, k, l)) = \sum_{i=1}^S [-d_{attract} \exp(-\omega_{attract} \sum_{m=1}^P (\theta_m - \theta_m^i)^2)] + \sum_{i=1}^S [h_{repellant} \exp(-\omega_{repellant} \sum_{m=1}^P (\theta_m - \theta_m^i)^2)] \quad (19)$$

در این رابطه $d_{attract}$ ، $h_{repellant}$ ، $\omega_{attract}$ و $\omega_{repellant}$ پارامترهایی هستند که باید به طور مناسب انتخاب شوند. البته مناسب است که $h_{repellant} = d_{attract}$ باشد. $J_{cc}(\theta, P(j, k, l))$ ترکیب اثرات جذب و دفع سلول به سلول و $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_p]^T$ یکی از نقاط حوزه بهینه سازی

در این رابطه پارامترهای R_1 و R_2 وضعیت‌های مکانی، V سرعت، w وزن اینرسی و C_1 و C_2 عوامل یادگیری می‌باشند. لازم به ذکر است که، ضریب w به صورت نزولی بین مقادیر $0/9$ تا $0/4$ تغییر می‌کند [۲۲]. به طور کلی این پارامتر به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} * k \quad (21)$$

در این رابطه k_{\max} و k به ترتیب مقادیر حداکثر تکرار و تکرار فعلی را نشان می‌دهند. در پایان هر تکرار محل جدید هر ذره نیز با جمع موقعیت قبلی و سرعت جدید مطابق رابطه (۲۲) به دست می‌آید.

$$X_{k+1}^i = X_k^i + V_{k+1}^i \quad (22)$$

۲-۷- کاربرد PSO در الگوریتم جستجوی باکتریایی

همان گونه که در رابطه (۱۷) در قسمت (۶-۱) بیان گردید، هر گام حرکتی الگوریتم BFA وابسته به پارامتر تصادفی Δ بوده که باعث کند شدن فرآیند جستجو می‌شود. بدین منظور با در نظر گرفتن پارامترهای PSO بیان شده در قسمت (۷-۱)، راستای جدید حرکت برای هر باکتری به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V = w * V + C_1 * R_1 (P_{lbest} - P_{current}) + C_2 * R_2 (P_{gbest} - P_{current}) \quad (23)$$

که پارامتر V در هر مرحله تکرار بر اساس رابطه فوق به روز شده و به جای پارامتر Δ در الگوریتم BFA برای جهت دادن به هر باکتری استفاده می‌شود [۲۲].

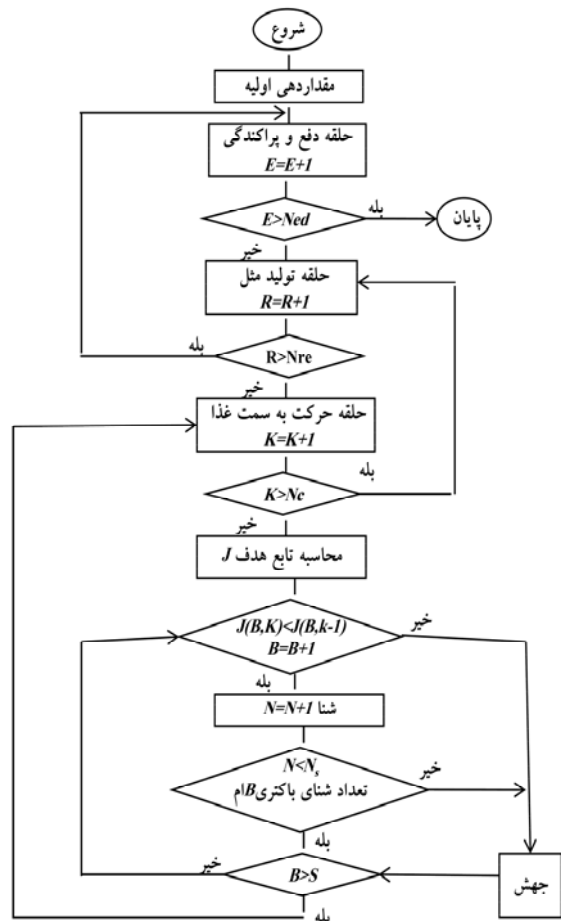
۸- کاربرد الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده

شده با PSO در بیان مسئله

در این مقاله ابتدا برای جایابی بهینه خازن‌های موازی با استفاده از آنالیز حساسیت، چند باس را که در آنها حساسیت ولتاژ به تزریق توان راکتیو بیشتر است شناسایی می‌شود. مکان‌های کاندید نصب DG نیز توسط آنالیز شاخص ولتاژ مشخص می‌شوند. سپس با استفاده از الگوریتم BF-PSO محل دقیق نصب خازن و ژنراتورهای DG و مقدار آن‌ها را به دست می‌آوریم.

در روند بهینه‌یابی خازن‌گذاری، مسئله به گونه‌ای طراحی می‌شود تا از محدوده خازن‌های موجود به صورت مقادیر گسسته استفاده گردد؛ زیرا در غیر این صورت، گرد کردن مقدار خازن طراحی شده به نزدیکترین مقدار خازن موجود، معادله غیرخطی هزینه را حداقل نمی‌کند. بنابراین

بهینه‌سازی استفاده گردد. لذا در این بخش، نحوه استفاده از الگوریتم PSO در الگوریتم BFA را برای رفع مشکل مذکور بیان می‌کنیم.

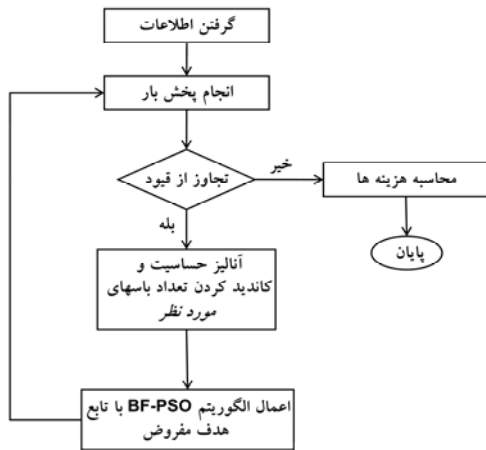


شکل (۳) : روندنمای الگوریتم جستجوی باکتریایی

۱-۷- مختصری در الگوریتم PSO

الگوریتم PSO رفتار گروهی از ذرات را که مقادیر اولیه با یک جمعیت از جواب‌های پیشنهادی تصادفی مشخص می‌شود، مدل می‌کند [۲۲]. این ذرات به صورت تکراری فضای حل مسئله را برای رسیدن به جواب‌های جدید جستجو می‌کنند. مکان و سرعت هر ذره به ترتیب با X_{ki} و V_{ki} مشخص می‌شود که i شماره ذره و k تکرار را نشان می‌دهد. هر ذره بهترین موقعیت خود P_{lbest}^i را ذخیره می‌کند. بردار بهترین موقعیت ذرات در P_{global}^i ذخیره می‌شود. در هر تکرار k ، سرعت قبلی بر اساس رابطه (۲۰) به روز می‌شود.

$$V_{k+1}^i = V_k^i + C_1 R_1 (P_{lbest}^i - X_k^i) + C_2 R_2 (P_{global}^i - X_k^i) \quad (20)$$



شکل (۴): روندنمای حل مسئله با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

۹- نتایج شبیه‌سازی

۹-۱- اطلاعات اولیه

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، الگوریتم مسئله بر روی شبکه توزیع ۶۹ باسه IEEE اجرا شده که این شبکه در شکل (۵) نشان داده شده است و مشخصات شبکه از مرجع [۶] استخراج شده است. در روند شبیه‌سازی، نرخ رشد سرمایه برابر $i_r = 0.4\%$ ، هزینه انرژی هر کیلو وات ساعت برابر $k_c = 0.06 (\$/KWh)$ ، ضریب k_e در محاسبه تابع شایستگی، $k_e = 30 (\$/KVAR)$ و عمر خازن گذاری برابر، سال $D_y = 20$ فرض شده است [۲]. همچنین استاندارد به کار رفته IEEE-519 است که در آن $V_{min} = 0.9 \text{ pu}$ و $V_{max} = 1.1 \text{ pu}$ می‌باشد. تولیدات پراکنده در این مسئله به صورت فتوولتائیک در نظر گرفته شده که پارامترهای لازم جهت محاسبه هزینه این ژنراتور در جدول (۱) آمده است [۱۶].

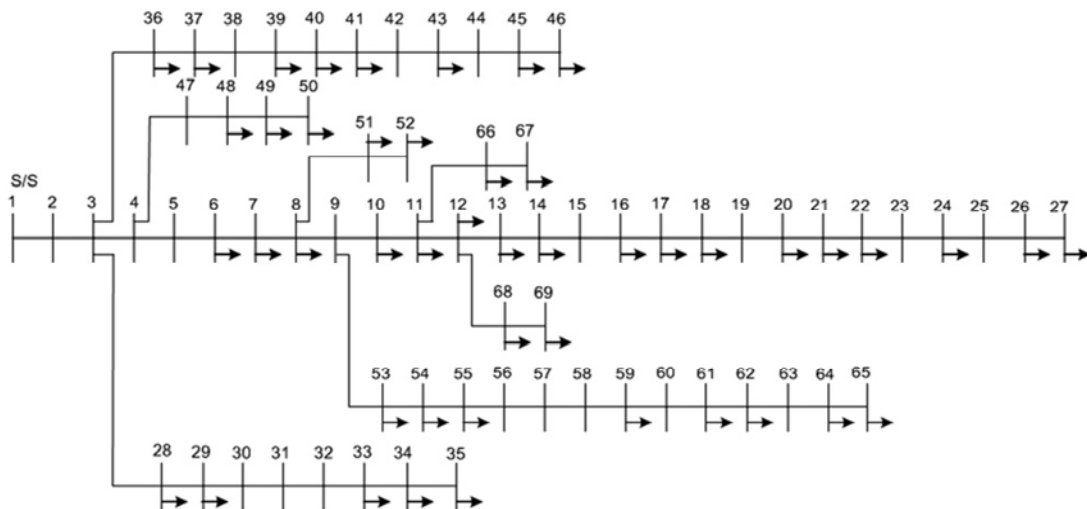
در این الگوریتم، مقادیر خازن‌ها به صورت گسسته از خازن‌های موجود به همراه قیمت واقعی آن‌ها انتخاب شده است.

همان‌گونه که در قسمت (۲-۱) بیان شد تابع هدف به صورت حداقل نمودن هزینه شبکه در نظر گرفته شده و برای وارد کردن شاخص پروفیل ولتاژ یک ضریب جریمه مطابق با معادله (۲۴) به تابع شایستگی افزوده شده است.

$$F = ke \sum_{j=1}^L T_j P_j + \sum_{i=1}^{ncap} k_c Q_{ci} + \sum_{i=1}^{nDG} Q(G_i) + PF \frac{N}{N_s} (V_K - V_{K_{max}})^2 \quad (24)$$

که PF ضریب جریمه، N_s تعداد گام‌های مجاز حرکت هر باکتری و N شماره گام فعلی است. معادله (۲۴) نشان می‌دهد که وزن ضریب جریمه در تکرارهای بالاتر با افزایش N افزایش یافته و لذا باعث افزایش همگرایی همراه با زیاد شدن تکرار می‌گردد. روندنمای حل مسئله با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در شکل (۴) نشان داده شده است.

در این الگوریتم ابتدا با وارد کردن اطلاعات سیستم، پخش بار اولیه صورت می‌گیرد و قیود مسئله و تابع شایستگی (محاسبه هزینه‌ها) بر اساس رابطه (۲۴) بررسی می‌شود. سپس با استفاده از آنالیز حساسیت ارائه شده در قسمت (۳)، باس‌های کاندید برای نصب خازن تعیین شده و با استفاده از آنالیز بیان شده در قسمت (۴) نیز مکان‌های بهینه برای نصب DG مشخص می‌گردد. در نهایت با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی محل و مقدار خازن‌ها و همچنین مقادیر بهینه DGها در راستای حداقل نمودن تابع شایستگی و رساندن سیستم به قیود مجاز تعیین می‌شود.



شکل (۵): شبکه ۶۹ باسه IEEE

۳-۹- نتایج جایابی با استفاده از الگوریتم جستجوی

باکتریایی جهت داده شده با PSO

۱-۳-۹- شرایط بار سبک

در این حالت کارکرد، مقدار بار شبکه برابر با نصف بار پایه و با زمان (ساعت) $h=2000$ در یک سال در نظر گرفته شده است. در این شرایط، مقادیر بهینه خازن‌ها و DG و پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم BF-PSO در جداول (۳) تا (۵) و شکل (۷) آورده شده است. همچنین این نتایج با دیگر روش‌های PSO، GA و DE مقایسه شده است. لازم به ذکر است که در کلیه شرایط بارگذاری، روش و پارامترهای الگوریتم‌های DE و PSO براساس مرجع [۴] صورت گرفته است. همچنین روش و پارامترهای الگوریتم GA بر اساس مرجع [۱۱] انجام گرفته است.

جدول (۳): محل و مقدار بهینه خازن‌ها در شرایط بار سبک

الگوریتم محل	BF-PSO Q(KVAR)	PSO Q(KVAR)	GA Q(KVAR)	DE Q(KVAR)
۴۸	۶۰	۰	۲۵۰	۳۹۰
۵۲	۱۰۰	۲۱۰	۵۵۰	۰
۵۴	۹۰	۵۱۰	۴۰۰	۰
۵۶	۰	۵۱۰	۴۰۰	۰
۵۹	۳۰	۲۱۰	۵۰	۰
۶۰	۶۰	۰	۱۰۰	۱۲۰
۶۱	۳۹۰	۰	۱۰۰	۴۲۰
۶۴	۹۰	۴۸۰	۵۰	۰
۶۵	۳۰	۰	۵۵۰	۹۰
۶۶	۱۵۰	۲۴۰	۳۰۰	۲۷۰

در ابتدا با استفاده از آنالیز حساسیت، محل ۱۰ باس که حساسیت بالاتری نسبت به تزریق توان دارند مشخص می‌شود. همچنین برای نصب DG، چهار محل (باس‌های ۶۲، ۶۵، ۶۶ و ۶۹) با استفاده از آنالیز شاخص ولتاژ مشخص شده است. حداقل مقدار DG به منظور تأمین توان در شرایط بار کم ۲۰ کیلووات و در شرایط بار متوسط و سنگین برابر با ۵۰ کیلووات در نظر گرفته شده است. در نهایت الگوریتم هوشمند به کار رفته محل و مقدار دقیق خازن‌ها و مقدار ژنراتورهای توزیع شده را در راستای کاهش هزینه شبکه تعیین می‌کند.

جدول (۱): پارامترهای DG به کار رفته

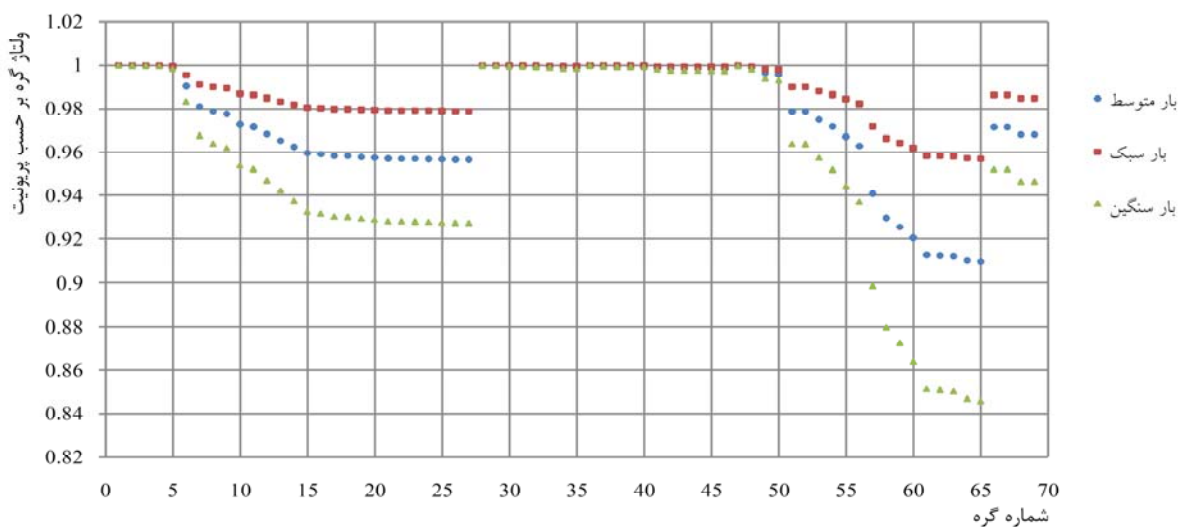
گستره توانی (kW)	هزینه خرید (\$)	ثابت بهره برداری (\$kW/year)	متغیر بهره برداری (\$kWh)
۱-۱۰۰	۹۰۰-۱۱۰۰	۰	۰/۰۰۱-۰/۰۰۴

۲-۹- پخش بار شبکه بدون ادوات جبران‌ساز

در این حالت تلفات شبکه، تحت سه حالت بارگذاری در جدول (۲) آمده است. شکل (۶) نیز پروفیل ولتاژ را نشان می‌دهد.

جدول (۲): تلفات در سطوح مختلف بار بدون جبران‌سازی

بار سنگین (۱۵۰۰h و ۱/۶pu)	بار متوسط (۵۲۶۰h و ۱pu)	بار سبک (۲۰۰۰h و ۰/۵pu)	شرایط بارگذاری (زمان و درصد بار نامی)
۶۳۷/۵۴۶	۲۲۰/۰۷۴	۵۰/۴۹۵	تلفات (kW)



شکل (۶): پروفیل ولتاژ در سه حالت بارگذاری بدون جبران‌سازی

جدول (۷): محل و مقدار بهینه DG در شرایط بار متوسط

الگوریتم محل	BF-PSO P _{DG} (KW)	PSO P _{DG} (KW)	GA P _{DG} (KW)	DE P _{DG} (KW)
۶۲	۱۰۰	۹۵/۵۴	۵۰	۶۷/۹۶
۶۵	۱۰۰	۵۰/۲۳	۵۰	۹۹/۹۴
۶۶	۱۰۰	۹۴/۵۷	۱۰۰	۶۸/۱۶
۶۹	۱۰۰	۵۰	۵۰	۵۵/۹۹

جدول (۴): محل و مقدار بهینه DG در شرایط بار سبک

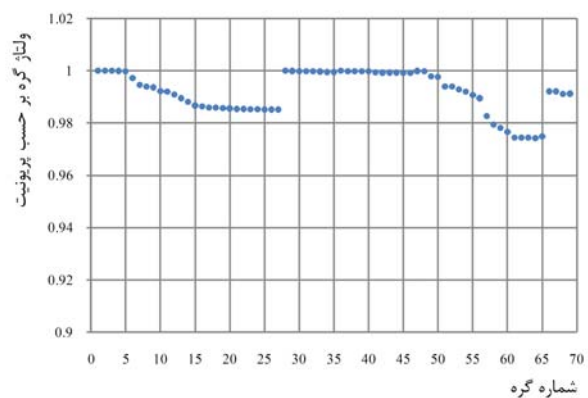
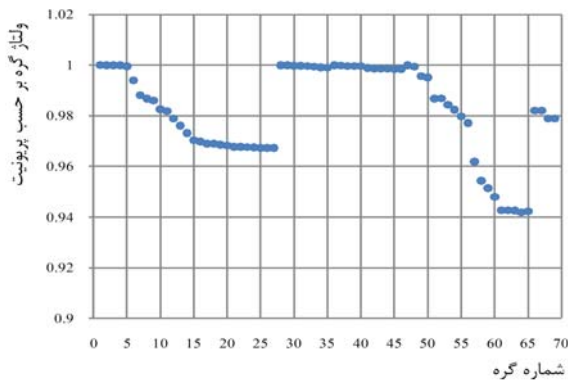
الگوریتم محل	BF-PSO P _{DG} (KW)	PSO P _{DG} (KW)	GA P _{DG} (KW)	DE P _{DG} (KW)
۶۲	۱۰۰	۶۲/۱۴	۵۰	۵۳/۳۰
۶۵	۱۰۰	۳۷/۰۵	۵۰	۱۰۰
۶۶	۱۰۰	۲۰	۵۰	۲۰
۶۹	۱۰۰	۸۷/۳۳	۵۰	۱۰۰

جدول (۸): تلفات و حداقل ولتاژ در شرایط بار متوسط

الگوریتم	BF-PSO	PSO	GA	DE
تلفات (KW)	۱۱۰/۵۲	۱۳۶/۳۷	۱۴۱/۵۵	۱۱۳/۴۷
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۴۳	۰/۹۴۶	۰/۹۵۱	۰/۹۴۲

جدول (۵): تلفات و حداقل ولتاژ در شرایط بار سبک

الگوریتم	BF-PSO	PSO	GA	DE
تلفات (KW)	۱۹/۱۳	۴۰/۲۷	۴۸/۷۵	۲۲/۷۰
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۷۶	۰/۹۷۹	۰/۹۸۱	۰/۹۷۴



شکل (۸): پروفیل ولتاژ در حالت بار متوسط با جبران‌سازی

شکل (۷): پروفیل ولتاژ در حالت بار سبک با جبران‌سازی

۹-۳-۳- شرایط بار سنگین

در حالت کارکرد، مقدار بار در پیک بار شبکه برابر با ۱/۶ بار پایه بوده و زمان در نظر گرفته شده برای این شرایط کار (ساعت) $h=1500$ در سال می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی این حالت با الگوریتم‌های BF-PSO، PSO، GA و DE در جداول (۹) تا (۱۱) و شکل (۹) آورده شده است.

جدول (۹): محل و مقدار بهینه خازنها در شرایط بار سنگین

الگوریتم محل	BF-PSO Q(KVAR)	PSO Q(KVAR)	GA Q(KVAR)	DE Q(KVAR)
۴۸	۶۰	۶۰۰	۳۰۰	۶۰۰
۵۲	۱۰۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۴۰
۵۴	۴۸۰	۰	۵۰۰	۳۰۰
۵۶	۶۰	۶۰۰	۱۵۰	۱۲۰
۵۹	۴۲۰	۴۲۰	۲۰۰	۲۱۰
۶۰	۴۵۰	۲۷۰	۴۵۰	۶۰۰
۶۱	۵۴۰	۵۴۰	۲۵۰	۶۰۰
۶۴	۵۴۰	۳۹۰	۳۵۰	۵۱۰
۶۵	۶۰	۶۰۰	۵۰	۹۰
۶۶	۵۴۰	۵۱۰	۳۵۰	۶۰۰

۹-۳-۲- شرایط بار متوسط

زمان در نظر گرفته شده برای این شرایط، برابر با (ساعت) $h=5260$ در یک سال بوده و مقدار بار شبکه نیز برابر با مقدار نامی در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی در این حالت با الگوریتم پیشنهادی BF-PSO و الگوریتم‌های PSO، GA و DE در جداول (۶) تا (۸) و شکل (۸) آمده است.

جدول (۶): محل و مقدار بهینه خازنها در شرایط بار متوسط

الگوریتم محل	BF-PSO Q(KVAR)	PSO Q(KVAR)	GA Q(KVAR)	DE Q(KVAR)
۴۸	۶۰	۶۰	۱۵۰	۶۰۰
۵۲	۹۰	۵۱۰	۴۵۰	۱۲۰
۵۴	۹۰	۶۰۰	۶۰۰	۰
۵۶	۹۰	۶۰۰	۳۵۰	۱۲۰
۵۹	۱۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۱۲۰
۶۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۲۱۰
۶۱	۵۱۰	۶۰	۱۵۰	۶۰۰
۶۴	۴۸۰	۶۰۰	۲۵۰	۲۴۰
۶۵	۰	۰	۴۰۰	۶۰
۶۶	۴۸۰	۲۱۰	۴۰۰	۴۸۰

همچنین کل هزینه سالیانه از روش پیشنهادی BF-PSO برابر ۶۹۹۱۴/۶ به دست آمده است که از دیگر روش‌های PSO، GA و DE کمتر می‌باشد.

جدول (۱۳) میزان هزینه صرفه‌جویی شده را با استفاده از هر یک از الگوریتم‌ها نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های BF-PSO قابلیت بیشتری در حل مسئله نسبت به الگوریتم‌های DE، GA و PSO دارد.

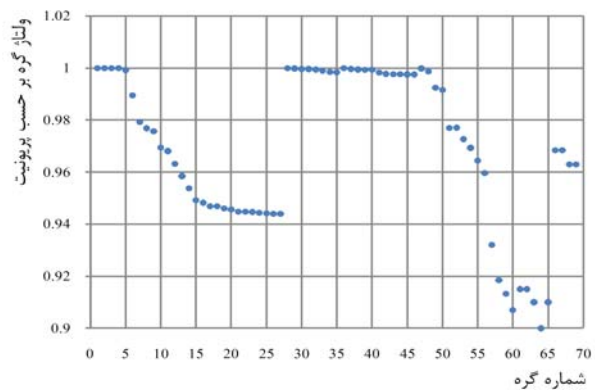
از مقایسه شکل‌های (۶) تا (۹) مشاهده می‌گردد که در حالت قبل از جبران‌سازی در شرایط بار سنگین ولتاژ به کمتر از مقدار مجاز ۰/۹ پریونیت کاهش یافته است که پس از جبران‌سازی به مقدار مناسب افزایش یافته است.

جدول (۱۰): محل و مقدار بهینه DG در شرایط بار سنگین

الگوریتم محل	BF-PSO P _{DG} (KW)	PSO P _{DG} (KW)	GA P _{DG} (KW)	DE P _{DG} (KW)
۶۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰
۶۵	۱۰۰	۵۰	۵۰	۹۲/۷۳
۶۶	۱۰۰	۸۷/۲۷	۵۰	۱۰۰
۶۹	۱۰۰	۷۸/۵۵	۱۰۰	۵۱/۸۹

جدول (۱۱): تلفات و حداقل ولتاژ در شرایط بار سنگین

الگوریتم	BF-PSO	PSO	GA	DE
تلفات (KW)	۳۴۲/۸۷	۳۶۹/۶۴	۳۸۰/۲۶	۳۵۹/۹۶
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۰۳	۰/۹۰۱	۰/۹۰۰	۰/۹۰۱



شکل (۹): پروفیل ولتاژ در حالت بار سنگین با جبران‌سازی

جدول (۱۲): کل هزینه شبکه با در نظر گرفتن شرایط مختلف بار

الگوریتم	هزینه سالیانه (\$)	هزینه سالیانه خازنها (\$)	هزینه سالیانه تلفات (\$)	کل هزینه سالیانه (\$)
BF-PSO	۱۱۵۶/۶	۷۲۴/۰	۶۸۰۳۴/۰	۶۹۹۱۴/۶
PSO	۱۱۵۶/۶	۱۲۱۸/۵	۸۱۱۳۸/۰	۸۳۵۱۳/۱
GA	۱۱۵۶/۶	۹۶۰/۲	۸۴۷۶۴/۵	۸۶۸۸۱/۳
DE	۱۱۵۶/۶	۷۶۸/۱	۷۰۹۳۱/۵	۷۲۸۵۶/۲

جدول (۱۳): کل هزینه صرفه‌جویی شده در شبکه

الگوریتم	BF-PSO	PSO	GA	DE
هزینه صرفه‌جویی شده (\$)	۶۵۹۹۰/۴	۵۲۳۹۱/۹	۴۹۰۲۳/۷	۶۳۰۴۸/۸

۱۰- نتیجه‌گیری

در این مقاله جایابی بهینه خازن و مکان ژنراتور توزیع شده به منظور کاهش هزینه تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ انجام شد. خازن‌ها به صورت گسسته در نظر گرفته شده است. به علاوه بار شبکه بر اساس سه سطح کم بار، عادی و شرایط پیک بار بررسی شده است. در این مقاله، این مسئله با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده با PSO حل شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی باکتریایی جهت داده شده با PSO، نسبت به سایر روش‌ها میزان هزینه جبران‌سازی و همچنین هزینه تلفات شبکه را به مقدار بیشتری کاهش داده است. این موضوع حاکی از کارآمدتر بودن این الگوریتم نسبت به دیگر الگوریتم‌های بیان شده است.

۹-۴- تحلیل نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی بر اساس تابع هدف در نظر گرفته شده و همچنین الگوریتم‌های به کار رفته تحلیل شده است. با توجه به اینکه کاهش هزینه شبکه، مهمترین مسئله در استفاده از خازن‌های جبران‌سازی و ادوات DG می‌باشد، در این قسمت، سود حاصل از استفاده این ادوات با استفاده از الگوریتم BF-PSO تحلیل شده است. هزینه شبکه بدون جبران‌سازی برابر با (\$۱۳۵۹۰۵) است که براساس اطلاعات جدول (۲) و ناشی از تلفات شبکه در سطوح مختلف بار محاسبه می‌شود. همچنین مقادیر هزینه شبکه در حالت جبران شبکه در جدول (۱۲) آمده است. با توجه به جدول (۱۲) در می‌یابیم که با جبران‌سازی خازنی در کنار ادوات DG، در این شبکه، هزینه‌ای معادل با ۶۵۹۹۰/۴ دلار صرفه‌جویی شده که این مقدار از تفاضل هزینه شبکه در حالت بدون جبران‌سازی (\$۱۳۵۹۰۵) و کل هزینه سالیانه شبکه جبران شده با استفاده از الگوریتم BF-PSO (۶۹۹۱۴/۶) به دست آمده است.

مراجع

- IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 15, no. 2, pp. 623-628, 2000.
- [11] M. Dlfanti, G. P. Granelli, P. Maranninio, "Optimal Capacitor Placement Using Deterministic and Genetic Algorithm", IEEE Trans. On Power Systems, PWRS-15; vol. 15, no. 3, pp. 1041-1046, 2000.
- [12] K. H. Kim, S. K. You, "Voltage Profile Improvement by Capacitor Placement and Control in Unbalanced Distribution Systems using GA", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol. 2, pp. 18-22, 1999.
- [13] Y. C. Huang, H. T. Yang, and C. L. Huang, "Solving the Capacitor Placement Problem in a Radial Distribution System using Tabu Search Approach", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 11, no. 4, pp. 1868-1873, 1996.
- [14] D. Sochuliakova, D. Niebur, C. O. Nwankpa, R. Fischl, and D. Richardson, "Identification of Capacitor Position in a Radial System", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 14, no. 4, pp. 1368-1373, 1999.
- [15] L. T. Carmen and M. Djalma, "Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability, Losses and Voltage Profile", IEEE Conference on Power Tech, Bologna, Italy, 2003.
- [16] A. Zahedi and J. Hallenstein, "Effect of Non-Technical Factors on the Electricity Cost of the Photovoltaic (PV) Systems", Desalination, vol. 209, pp. 108-112, 2007.
- [17] E. Basuony, T. S. Abdel-Salam, A. S. Attia and M. A. Badr, "Power System Efficiency and Voltage Regulation as Affected by Dispersed Generation", Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, vol. 3, pp. 1337-1341, 2004.
- [18] A. P. Agalgaonkar, K. M. Muttaqi, and S. Perera, "Optimization of Distributed Generation Units and Shunt Capacitors for Economic Operation of Distribution Systems", Universities Power Engineering Conference, AUPEC '08. Australasian, pp. 1-7, 2008.
- [19] J. B. V. Subrahmanyam and C. Radhakrishna, "Distributed Generator Placement and Sizing in Unbalanced Radial Distribution System", International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering, vol. 2, no. 4, pp. 232-239, 2009.
- [20] K. M. Passino, "Biomimicry of Bacterial Foraging for Distributed Optimization and Control", IEEE Control Systems Magazine, vol. 22, no. 3, pp. 52-67, 2002.
- [21] M. Tripathy and S. Mishra, "Bacteria Foraging-based Solution to Optimize Both Real Power Loss and Voltage Stability Limit", IEEE Transactions
- [1] M. D. Reddy and V. C. Reddy, "Optimal Capacitor Placement using Fuzzy and Real Coded Genetic Algorithm for Maximum Savings", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 4, no. 3, pp. 219-226, 2008.
- [2] T. Huang, Y. Hsiao and C. J. Jiang, "Optimal Placement of Capacitors in Distribution Systems using an Immune Multi-Objective Algorithm", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 30, no. 3, pp. 184-192, 2008.
- [3] S. K. Hattacharya and S. K. Goswami, "A New Fuzzy Based Solution of the Capacitor Placement Problem in Radial Distribution System", Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 3, pp. 4207-4212, 2009.
- [4] R. S. Rao and S. V. L. Narasimham, "Optimal Capacitor Placement in Large-Scale Distribution System using Particle Swarm Optimization with Differential Evolution", International Journal of Information and Communication Technology, 2009.
- [5] K. H. Kim, S. B. Rhee, S. N. Kim, and S. K. You, "Application of ESGA hybrid Approach for Voltage Profile Improvement by Capacitor Placement", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 18, no. 4, pp. 1516-1522, 2003.
- [6] D. Das, "Optimal Placement of Capacitors in Radial Distribution System Using a Fuzzy-GA Method", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 30, no. 6, pp. 361-367, 2008.
- [7] R. Hooshmand and M. Ataei, "Optimal Capacitor Placement in Actual Configuration and Operational Conditions of Distribution System using RCGA", Journal of Electrical Engineering, vol. 58, no. 4, pp. 189-199, 2007.
- [8] J. C. Wang, H. D. Chiang, K. N. Miu, and G. Darling, "Capacitor Placement and Real Time Control in Large-Scale Unbalanced Distribution Systems: Loss Reduction Formula, Problem Formulation, Solution Methodology and Mathematical Justification", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, no. 2, pp. 953-958, 1997.
- [9] R. A. Gallego, A. J. Monticelli, and R. Romero, "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 16, pp. 630-637, 2001.
- [10] G. Levitin, A. Kalyuzhny, A. Sherkman, and M. Chertkov, "Optimal Capacitor Allocation in Distribution Systems using a Genetic Algorithm and a Fast Energy Loss Computation Technique",

on Power Systems, vol. 22, no. 1, pp. 240-248, 2007.

- [22] V. M. Korani, "Bacterial Foraging Oriented by Particle Swarm Optimization Strategy for PID Tuning", Proceedings of the 2008 GECCO conference companion on Genetic and evolutionary computation, USA: 1823-1826.

زیر نویس‌ها

- 1- immune algorithm
- 2- chemotactic
- 3- swarming
- 4- reproduction
- 5- elimination and dispersal
- 6- bacterial foraging algorithm