# پخش بار بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی یادگیری ردیابی بازگشتی

عبدالعظیم گل پیچی*[۱]

*۱- کارشناس‌ارشد برق، شرکت تعمیر و نگهداری انتقال نیرو خوزستان، اهواز، ایران
Gol_azim@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۵

**چکیده: در این مقاله، یک الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ردیابی بازگشتی (BSA ) و الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO) به نام الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی (LBSA) ارائه شده است. این الگوریتم پیشنهادی یک روش بهینه‌سازی تکاملی با ساختاری ساده و دارای تنها یک پارامتر کنترلی جهت حل مسائل بهینه‌سازی عددی می‌باشد. در این تحقیق پخش‌بار بهینه با توابع هدف تلفات اکتیو، هزینه سوخت و مقدار آلایندگی واحدهای تولید کننده انرژی الکتریکی و همچنین پروفیل ولتاژ با رعایت قیود مساوی و نامساوی به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه استاندارد اصلاح شده ۳۰ شینه IEEE پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل از این روش، تجزیه و تحلیل شده است. نتایج شبیه‌سازی، کارآیی و عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهد.**

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم بهینه‌سازی LBSA، پخش‌بار بهینه، هزینه سوخت، اثر شیر بخار.

## ۱- مقدمه

پخش‌بار بهینه (OPF) یکی از ابزارهای پرکاربرد سیستم قدرت از حدود نیم قرن پیش، باقی مانده است. هدف اصلی OPF، کاهش هزینه تولید با تنظیم بهینه متغییرهای کنترلی می‌باشد، در حالی که محدودیت‌های سیستم بر تولید ژنراتور، ظرفیت خط، ولتاژ باس‌ها و تعادل جریان برق باید در نظر گرفته شود[2]. اولین تحقیق جامع در رابطه با پخش‌بار بهینه توسط هاپ ارائه شد و متعاقباً یک گروه کار IEEE تحقیقی در رابطه با توابع اقتصادی-امنیتی در ۱۹۸۱ ارائه کرد[3]. در سال ۱۹۸۵ کارپنتیر تحقیق و دسته بندی الگوریتم‌های OPF بر اساس روش‌های حل آنها را ارائه کرد در ۱۹۹۰ چادهری و همکارانش تحقیقی در رابطه با روش‌های پخش‌بار اقتصادی انجام دادند. در ۱۹۹۹ مومو و همکارانش خلاصه و مروری بر بعضی از تکنیک‌های انتخاب شده OPF را ارائه دادند[۴]. به طور کلی روش‌های بهینه‌سازی جهت حل OPF به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف- روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک

ب- روش‌های محاسبات تکاملی

بسیاری از روش‌های کلاسیک مانند روش نیوتن، برنامه‌نویسی درجه دوم، برنامه‌نویسی خطی، برنامه‌نویسی غیرخطی و روش‌های نقطه داخلی برای حل مسئله OPF استفاده شده‌اند[5]. اما OPF یک مسئله بهینه‌سازی غیرمحدب و غیرخطی می‌باشد که دارای پیچیدگی و گسترده‌گی خاص است. همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند اثر شیر بخار، مناطق ممنوعه و ... این مساله را پیچیده‌تر کرده است. در نتیجه استفاده از رویکردهای ریاضی در این مساله با نقاط ضعفی مانند عدم سازگاری با خصوصیات مسئله بهینه-سازی OPF و عملکرد نامناسب در مسائل بهینه‌سازی خاص مواجه شده است.

در چند سال گذشته روش‌های فرا ابتکاری زیادی جهت حل مسائل بهینه‌سازی توسعه یافته‌اند که برخی از این روش‌ها عبارتند از: الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC) [۶]، الگوریتم سیاه‌چاله (BH) [7] الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس آموزش و یادگیری (TLBO) [۸]،

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

الگوریتم لیگ جهانی (LCA) [۹]، الگوریتم جستجوی تفاضلی (DSA) [۱۰]، الگوریتم جستجوی جاذبه‌ای (GSA) [۱۱]، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) [۱۲]، الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گروهی(GSO) [۱۳].

الگوریتم‌های تکاملی انتخاب مناسب برای حل OPF به دلیل قابلیت جستجوی جهانی خود و همچنین توانایی موثر آن‌ها می‌باشند. الگوریتم بهینه‌سازی BSA بعنوان پایه و اساس الگوریتم LBSA توسعه یافته توسط Civicioglu یک الگوریتم ابتکاری جدید جهت حل مسائل بهینه‌سازی عددی می‌باشد که بر مبنای سه عملگر اصلی به نام‌های انتخاب، جهش و ترکیب است[۱۴]. از زمان معرفی این الگوریتم از آن جهت حل مسائل بهینه‌سازی مختلفی استفاده شده است. در مرجع [۱۶] از الگوریتم BSA جهت طراحی بهینه آنتن استفاده شده است. در مرجع [۱۷] برای طراحی پایدار کننده سیستم‌های قدرت (PSS) در سیستم‌های چند ماشینه از الگوریتم BSA استفاده شده است در مرجع [۱۸] از الگوریتم BSA در تخصیص ژنراتور در سیستم‌های توزیع استفاده شده است و در مرجع [۱] از الگوریتم LBSA جهت حل مسئله پخش‌بار اقتصادی با در نظر گرفتن اثر شیر بخار استفاده شده است با این حال با توجه به توابع هدف مختلف نمی‌توان هیچگونه الگوریتمی را در حل مسئله پخش‌بار بهینه به عنوان بهترین معرفی کرد، به همین دلیل همیشه نیاز به معرفی الگوریتم‌های جدید می‌باشد.

در این مقاله پخش‌بار بهینه با هدف کاهش تلفات اکتیو، هزینه سوخت و مقدار آلایندگی واحدهای تولیدکننده انرژی الکتریکی و همچنین پروفیل ولتاژ بر روی شبکه استاندارد ارزیابی شده است. و همچنین یک الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم جستجوی ردیابی بازگشتی (BSA) و الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO) به نام الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی یادگیری ردیابی بازگشتی (LBSA) جهت حل مسئله پخش‌بار بهینه ارائه شده است. نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های ازدحام ذرات و بیوگرافی، کارآیی این الگوریتم را به اثبات می رساند.

در این مقاله ابتدا مسئله و توصیف توابع هدف مطرح شده است و در ادامه الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی یادگیری ردیابی بازگشتی بیان شده است. در بخش پنجم، نتایج حاصل از شبیه‌سازی روی شبکه استاندارد ارائه، بررسی، تجزیه و تحلیل شده و درنهایت نتیجه‌گیری بیان گردیده است.

## ۲- فرمول‌بندی مسئله

در مساله پخش بار بهینه، مقادیر بعضی یا همه متغییرهای کنترل برای بهینه ساختن(حداقل یا حداکثر ساختن) یک تابع هدف از پیش تعریف شده، نیاز است که مشخص گردد. همچنین مهم است که در ابتدا تعریف صحیحی از مسئله، همراه با اهدافی که به وضوح بیان شده‌اند داده شود. کیفیت یک راه‌حل بستگی به دقت مدل مورد مطالعه دارد. OPF، یک مسئله بهینه‌سازی همراه با تابع هدف و قیود است، که به صورت روابط کلی (۱)، (۲) و (۳) نمایش داده می شود:

$$Minf(x.u) \quad (۱)$$

$$st.g(x.u) = 0 \quad (۲)$$

$$h\,(x.u) \le 0 \quad (۳)$$

که x بردار متغییرهای حالت (متغیرهای وابسته) می‌باشد. این بردار توان ژنراتور مرجع، ولتاژ شین‌های بار، توان راکتیو خروجی ژنراتورها و بار گذاری خطوط انتقال را شامل می‌شود. بنابراین x می‌تواند به صورت رابطه (۴) بیان شود:

$$x^T = [\,P_{G_1}\,.V_{L_1}\,.\cdots.V_{L_{NL}}\,.\;\;Q_{G_1}\,.\cdots.Q_{G_{NG}}\,.S_{l_1}\,.\cdots.S_{l_{nl}}] \quad (٤)$$

که NL، NG و nl به ترتیب تعداد شین‌های بار، تعداد ژنراتورها و تعداد خطوط انتقال می‌باشند. u بردار متغیرهای کنترلی می‌باشد. متغییرهای عمده کنترلی که معمولا برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل ولتاژ و توان اکتیو خروجی ژنراتورها، تنظیمات تپ ترانسفورماتورها و ظرفیت جبرانسازهای توان راکتیو می‌باشندکه می-تواند به صورت رابطه (۵) نوشته شود:

$$U^T = [P_{G_2}\cdots P_{G_{NG}}\,.V_{G_1}\cdots V_{G_{NG}}\,.\;Q_{C_1}\cdots Q_{C_{NG}}\,.T_1\cdots T_{NT}\,] \quad (۵)$$

که در آن NG، NC، NT به ترتیب تعداد ژنراتورها، تعداد جبرانسازهای توان راکتیو و تعداد ترانس‌های دارای تپ قابل تغییر می‌باشند. f تابعی است که باید بهینه شود. یا به عبارت دیگر تابع هدف است. g مجموعه قیود برابری و h مجموعه قیود نابرابری بر روی متغییرهای حالت وکنترل است.

### ۲-۱- قیود مساوی

قیود برابری توان‌های شبکه به وسیله معادلات پخش بار طبق روابط (۶) و (۷) ارائه شده اند:

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_J\,[G_{ij}\cos(\theta_{ij}) + B_{ij}\sin(\theta_{ij})] = 0 \quad (٦)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{N} V_J\,[G_{ij}\sin(\theta_{ij}) + B_{ij}\cos(\theta_{ij})] = 0 \quad (٧)$$

بطوریکه N تعداد باس، $P_{Gi}$ و $Q_{Gi}$ توانهای اکتیو و راکتیو تولیدی باس i ام، $P_{Di}$ و $Q_{Di}$ توان‌های اکتیو و راکتیو مصرفی باس i ام، $G_{ij}$ و $B_{ij}$ عناصر ماتریس ادمیتانس، کندوکتانس و سوسپتانس به ترتیب بین باس i و j می‌باشند.

### ۲-۲- قیود نامساوی

قیود نامساوی ارائه دهنده‌ی محدودیت‌ها بر روی تمام متغییرهای سیستم بصورت زیر ارائه می‌شوند:

#### ۲-۲-۱- قیود ژنراتور

برای تمام ژنراتورها همچنین ژنراتور اسلک ولتاژ و توان‌های اکتیو و راکتیو بایستی بین حدود بالا و پایین بصورت روابط (۸)، (۹) و (۱۰) محدود شوند:

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

$$V_{i\,min} \le V_i \le V_{i\,max}\; i = 1.2. \dots . NG \quad (۸)$$

$$P_{Gi\,min} \le P_i \le P_{Gi\,max}\; i = 1.2. \dots . NG \quad (۹)$$

$$Q_{\mathrm{Gi\,min}} \le Q_i \le Q_{Gi\,max}\; i = 1.2. \dots . \mathrm{NG} \quad (۱۰)$$

### ۲-۲-۲- قیود ترانسفورماتور

تپ ترانسفورماتورهای دارای تنظیم کننده ولتاژ می‌بایستی بر روی یک سری تپ‌های مشخص بین حدود بالا و پایین بصورت رابطه (۱۱) قرار گیرند:

$$T_{i\,min} \le T_i \le T_{i\,max} \quad (۱۱)$$

### ۲-۲-۳- قیود باس‌های بار

ولتاژ باس‌های بار باید بین حدود ولتاژ بالا و پایین بصورت رابطه (۱۲) قرار گیرد:

$$V_{Li\,min} \le V_i \le V_{Li\,max}\; i = 1.2 . \cdots . NL \quad (۱۲)$$

### ۲-۲-۴- قیود خطوط انتقال

توان ظاهری عبوری از خطوط انتقال باید رابطه (۱۳) را برآورده سازد :

$$S_{l_i} \le S_{l_i\,max} \quad i = 1 . 2 . \cdots . nl \quad (۱۳)$$

### ۲-۲-۵- قیود جبرانسازها

ظرفیت جبرانسازها نیز باید بین حدود بالا و پایین بصورت رابطه (۱۴) محدود شود:

$$Q_{ci\,min} \le Q_{ci} \le Q_{ci\,max,}\; i = 1 . 2 . \cdots . NC \quad (۱٤)$$

## ۲-۳- توابع هدف

در این مقاله جهت شناخت توانایی‌های الگوریتم پیشنهادی، پخش‌بار بهینه با پنج تابع هدف مختلف انجام می‌شود، که این توابع در ادامه معرفی می‌شوند:

### ۲-۳-۱- هزینه سوخت

هدف از این تابع، کمینه کردن هزینه سوخت تمام واحدهای حرارتی تولیدکننده انرژی الکتریکی درون شبکه با رعایت تمام قیود مساوی و نامساوی می‌باشد. هزینه سوخت را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه کرد.

$$F(P_G) = \sum_{i=1}^{NG}\left(a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2\right) \quad (۱۵)$$

که در آن $a_i$، $b_i$ و $c_i$ ضرایب هزینه ژنراتور $i$ ام می‌باشند. در واحدهای بخار تولید انرژی الکتریکی که دارای چندین شیر بخار ورودی به توربین می‌باشند، برای در نظر گرفتن اثر موقعیت شیر بخار و رسیدن به یک رابطه مفید و واقعی‌تر می‌توان از رابطه (۱۶) که دارای یک ترم سینوسی می‌باشد برای محاسبه هزینه تولید استفاده کرد.

$$F(P_G) = \left(\sum_{i=1}^{NG}\left(\begin{matrix} a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2 + \\ \left|e_i \times \sin(f_i \times (P_{G_i}^{min} - P_{G_i}))\right| \end{matrix}\right)\right) \quad (۱۶)$$

که در آن $f_i$، $e_i$ و ضرایب هزینه ژنراتور $i$ ام می‌باشند.

### ۲-۳-۲-آلودگی

آلاینده‌های آلوده کننده اتمسفر مانند اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن ناشی از واحدهای حرارتی می‌باشند که از سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ و نفت استفاده می‌کنند. کمینه کردن این آلودگی‌ها در سال‌های اخیر از موضوعات مورد توجه طراحان سیستم بوده است. این آلاینده‌ها را می‌شود با استفاده از رابطه (۱۷) بر حسب تن بر ساعت محاسبه کرد:

$$E(P_G) = \sum_{i=1}^{NG}\left(\alpha_i + \beta_i P_{G_i} + \gamma_i P_{G_i}^2\right) \quad (۱۷)$$

که در آن $\alpha_i$، $\beta_i$ و $\gamma_i$ ضرائب آلودگی ژنراتور $i$ ام می‌باشند.

### ۲-۳-۳- تلفات اکتیو

در واقع تلفات اکتیو انتقال ناشی از مقاومت اهمی هادی‌های خطوط انتقال می‌باشد. هر چند این تلفات را نمی‌توان به صفر رساند ولی با استفاده از پخش‌بار بهینه و تعیین متغییرهای کنترل به وسیله الگوریتم معرفی شده در تحقیق می‌توان آن را به حداقل رساند. این تلفات را بصورت ریاضی می‌توان به شکل رابطه (۱۸) ارائه کرد:

$$P_L = \sum_{K=1}^{nl} G_K\left[V_i^2 + V_i^2 - 2\,|V_i|\,|V_j|\cos\delta_{ij}\right] \quad (۱۸)$$

بطوریکه $\mathrm{G_K}$ کندوکتانس $k$ امین خط انتقال بین باس $i$ ام و باس $j$ ام می‌باشد [19].

### ۲-۳-۴- پروفیل ولتاژ

ولتاژ باس همواره یکی از مهترین فاکتورهای کیفیت توان می‌باشد. مجموع اختلاف ولتاژ باس‌های بار نسبت به ۱ پریونیت به عنوان پروفیل ولتاژ (VD) معرفی می‌شود. کمینه کردن پروفیل ولتاژ به عنوان یکی از توابع هدف در این مقاله در نظر گرفته شده است که بصورت رابطه (۱۹) ارائه می‌شود:

$$VD = \sum_{i=1}^{NL}\left|V_{L_i} - 1\right| \quad (۱۹)$$

## ۳- روش حل مسئله

در این بخش به منظور معرفی روشی جهت حل مسئله این تحقیق، به صورت مبسوط به معرفی الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی، پرداخته می‌شود.

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

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

## ۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی (LBSA)

الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی یادگیری ردیابی، بازگشتی (LBSA) یک الگوریتم بهینه سازی تصادفی بر اساس جمعیت است که اولین بار در سال ۲۰۱۷ توسط آقای دبائوچن و همکارانش ارائه شد. این الگوریتم با استفاده از ترکیب دو الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی ردیابی بازگشتی (BSA) و الگوریتم بهینه‌سازی آموزش یادگیری(TLBO) ساخته شده است. به همین دلیل از لحاظ ساختاری به این دو الگوریتم بسیار شباهت دارد. دو تنوع جمعیتی درالگوریتم LBSA وجود دارد که یکی از آنها جمعیت تکاملی و دیگری جمعیت آزمایشی می‌باشد. جمعیت آزمایشی از برخی اطلاعات پیشین جمعیت تکاملی تشکیل شده است و یک ماتریس جستجوی جهت‌دار توسط دو جمعیت برای بروزرسانی موقعیت افراد ایجاد می‌شود. تنها یک پارامتر کنترلی، یعنی نرخ ترکیبی وجود دارد، که تعداد عناصر فردی را کنترل می‌کند.

الگوریتم LBSA شامل پنج فرایند با عنوان‌های: مقدار دهی اولیه، گزینش اولیه، جهش، ترکیب و گزینش ثانویه می‌باشد، که در ادامه هر کدام توضیح داده خواهد شد. تمامی این مراحل در الگوریتم LBSA همانند الگوریتم BSA بنیادی می‌باشد ولی مرحله جهش جهت افزایش قابلیت‌های الگوریتم و سرعت همگرایی بیشتر از الگوریتم TLBO گرفته شده است[20].

### ۳-۱-۱- مقداردهی اولیه:

جمعیت اولیه (P) و تاریخچه جمعیت (oldP) با توجه به رابطه‌های (۲۰) مقداردهی می‌شوند که U توزیع یکنواخت است و $\mathrm{low_j}$ و $\mathrm{up_j}$ مرزهای پایین و بالای متغییرها بوده و $i$ تعداد افرد جمعیت و $j$ ابعاد افراد جمعیت است.

$$P_{i.j}\sim U(low_j.up_j)$$
$$oldP_{i.j}\sim U(low_j.up_j) \qquad (۲۰)$$

### ۳-۱-۲- گزینش اولیه

در ابتدا، تاریخچه جمعیت ($oldP$) با توجه به رابطه (۲۱) تولید می‌شوند.

$$oldP = \begin{cases} P & if \quad (a < b \mid a.b\sim U(0.1) \\ oldP & otherwise \end{cases}$$
$$oldP_{i.j} := permuting(oldP) \qquad (۲۱)$$

### ۳-۱-۳- جهش

فرم اولیه جمعیت آزمایشی با عملیات جهش با استفاده از مزیت تجربیات نسل‌های قبلی و همچنین بهترین فرد نسل حاضر و بوسیله ماتریس جستجوی جهت دار F تولید می‌شود. مقدار مشترک F برابر با $3 \times rand$ است. فرایند جهش طبق رابطه (۲۲) نشان داده می‌شود:

$$M = P + F.(0.5 \times (oldP - P) + 0.5 \times rand(\cdot) \times (Teacher - P)) \qquad (۲۲)$$

عملیات جهش اصلاح‌شده علاوه بر استفاده از بهترین فرد نسل حاضر، با اجتناب از بدترین فرد نسل حاضر و با انتخاب یک فرد از نسل حاضر بصورت تصادفی می‌تواند جامعه آزمایشی پویاتری که دارای تنوع جمعیتی بهتری است را تولید کند. عملیات جهش اصلاح شده را می‌توان بصورت رابطه‌ی (۲۳) و (۲۴) خلاصه کرد. اگر فرد $i$ ام نسبت به فرد k ام بهتر باشد از رابطه (۲۳) و در غیر این صورت از رابطه (۲۴) استفاده می‌شود:

$$M_{i.j} = P_{i.j} + rand \times (P_{i.j} - P_{k.j}) + rand \times (Teacher_{1.j} - P_{i.j}) - rand \times (Worst_{1.j} - P_{i.j}) \qquad (۲۳)$$

$$M_{i.j} = P_{i.j} + rand \times (P_{k.j} - P_{i.j}) + rand \times (Teacher_{1.j} - P_{i.j}) - rand \times (Worst_{1.j} - P_{i.j}) \qquad (۲۴)$$

$P_{K.j}$ از جمعیت به‌صورت تصادفی انتخاب شده است. آموزش‌دهنده و بدترین فرد، بهترین و بدترین موقعیت از نسل حاضر می‌باشند.

### ۳-۱-۴- ترکیب

در LBSA، مقدار اولیه جمعیت آزمایشی از فرآیند جهش بوجود می‌آید و افراد آزمایشی با برازش بهتر برای تکامل افراد جامعه هدف استفاده می‌شوند. یک ماتریس با داده‌های مقداری صحیح باینری (نگاشت) با اندازه N×D، مسیرهای ترکیب الگوریتم LBSA را هدایت می‌کنند. استراتژی ترکیب LBSA در رابطه (۲۵) بیان شده است.

$$V_{i.j} = \begin{cases} P_{i.j} & if \quad map_{i.j} = 1 \\ M_{i.j} & otherwise \end{cases} \qquad (۲۵)$$

### ۳-۱-۵- گزینش ثانویه

در این مرحله، جمعیت نسل بعدی باتوجه به مکانیزم گزینش حریصانه تولید می‌شود. در روش پیشنهادی، برای مسائل کوچک، اگر برازش $v_i$ نسبت به $p_i$ کوچکتر باشد، $p_i$ جایگزین $v_i$ می‌شود. این فرآیند در رابطه (۲۶) نشان داده شده است. این پنج فرآیند تا رسیدن به شرایط مورد نظر تکرار می‌شوند.

$$P_i^{next} = \begin{cases} V_i & if \quad f(V_i) \le f(P_i) \\ P_i & otherwise \end{cases} \qquad (۲۶)$$

## ۳-۲- روش حل مسئله با استفاده از LBSA

حل مسئله پخش‌بار بهینه با استفاده از الگوریتم LBSA با توابع هدف هزینه، آلودگی و تلفات اکتیو در محیط نرم افزار متلب شامل مراحل زیر است:



[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

۱- تعیین پارامترهای اولیه شامل: تعداد افراد جمعیت (N)، ابعاد افراد که برابر تعداد متغییرهای کنترلی شبکه مورد مطالعه است (D)، تعداد تکرار، تابع هدف و حدود بالا و پایین متغیرها.
۲- تولید P و oldP طبق روابط.
۳- ارجاع P و oldP به مت پاور جهت حل PF و تعیین مقدار تابع هدف به ازاء هر فرد و انتخاب بهترین و بدترین فرد.
۴- تولید ماتریس صفر و یک map.
۵- تولید جمعیت آزمایشی newP با توجه به ماتریس map.
۶- کنترل درایه‌های ماتریس newP.
۷- ارجاع افراد جمعیت آزمایش newP به مت پاور و حل دوباره PF و تعیین مقادیر تابع هدف به ازاء هر فرد جمعیت
۸- انتخاب P ثانویه از بین P اولیه و newP با توجه به تابع هدف.
۹- تعیین بهترین و بدترین فرد از بین P ثانویه و بروز کردن بهترین و بدترین فرد.
۱۰- برگشت به مرحله ۴ تا پایان تعداد تکرار تعیین شده.
۱۱- انتخاب بهترین فرد به عنوان بهترین راه‌حل و بهترین جواب تابع هدف.

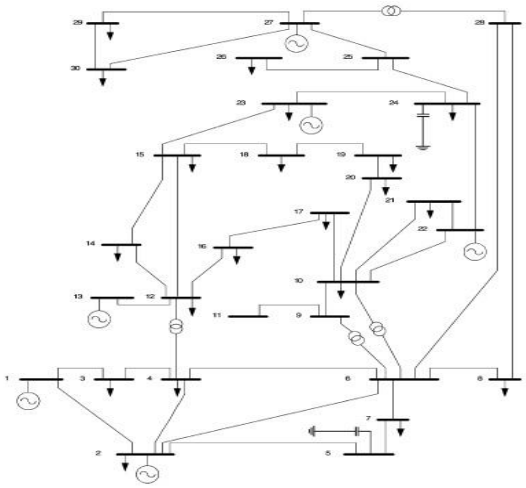
جدول (۱) پارامترهای کنترل کننده الگوریتم LBSA را نشان می‌دهد.

جدول (۱) پارامترهای کنترل کننده الگوریتم LBSA

| پارامتر | مقدار تنظیم شده[1] |
|---|---|
| تعداد تکرار | ۳۰۰ |
| تعداد افراد (N) | ۱۰۰ |
| تعداد بعد فرد (D) | ۱۷ |
| DimRate | ۱[۲] |

## ۳-۳- شبکه مورد مطالعه

در این تحقیق از شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE بعنوان شبکه مورد مطالع استفاده شده است. این شبکه استاندارد ارائه شده در شکل شماره (۱) شامل شش ژنراتور، ۴۱ خط انتقال، ۴ عدد ترانسفورماتور دارای تنظیم کننده ولتاژ و ۲ دستگاه جبرانساز توان راکتیو می‌باشد که بر روی شینه‌های ۵ و ۲۴ قرار گرفته اند. مجموع بار سیستم ۱۸۹/۲ مگاوات و ۱۰۷/۲ مگاوار می‌باشد. اندازه ولتاژ روی باس‌های ژنراتور بین ۰/۹۵ تا ۱/۱ و باس‌های بار بین ۹/۰ تا ۱/۰۵ می‌باشد. اندازه ولتاژ روی ترانسفورماتورهای دارای تنظیم کننده ولتاژ بین ۰/۹ تا ۱/۰۵ می‌باشد، که این تغیرات باید با پله‌های ۰/۰۱ پریونیت انجام شود.
ظرفیت جبرانسازهای توان راکتیو باید بین ۰ تا ۴۰ مگاوار باشد و تغیرات ظرفیت جبرانسازها باید با پله‌های ۱ مگاواری انجام شود.



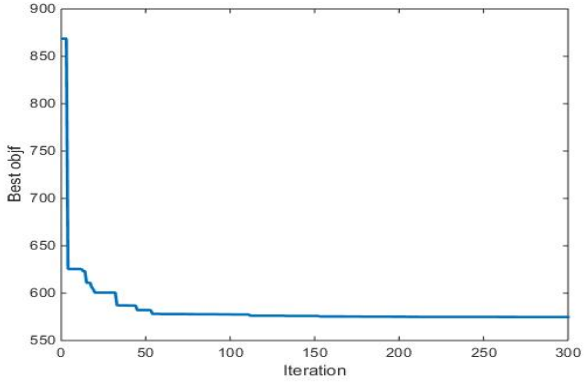
شکل (۱) شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE

## ۴- نتایج شبیه‌سازی

الگوریتم پیشنهادی LBSA با توابع هدف هزینه، هزینه با اثر موقعیت شیر بخار، آلودگی، تلفات و پروفیل ولتاژ بصورت تک هدفه روی شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE در محیط نرم افزار متلب اجرا و نتایج ارائه شده است.

### ۴-۱- نتایج شبیه سازی با تابع هدف هزینه

در این حالت، تابع هدف جهت بهینه‌سازی هزینه تولید واحدهای حرارتی تولید کننده انرژی الکتریکی شبکه مورد مطالعه می‌باشد که ضرایب هزینه و سایر مشخصات آنها در جدول (۳) آورده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی شامل مقادیر توابع هدف به همراه مقادیر متغییرهای کنترلی در جدول (۲) آورده شده است. نمودار همگرایی تابع هدف بدست آمده از شبیه‌سازی پخش‌بار بهینه با تابع هدف هزینه در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

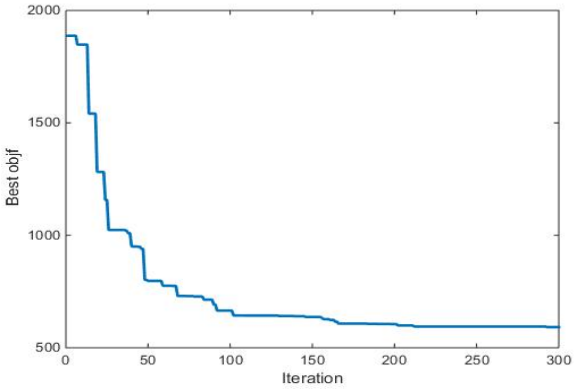



شکل (۲) نمودار همگرایی با تابع هدف هزینه

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

## ۴-۲- نتایج شبیه‌سازی با تابع هدف هزینه با اثر شیر بخار

در این حالت تابع هدف جهت بهینه‌سازی هزینه تولید با در نظر گرفتن اثر شیر بخار می‌باشد که باید از رابطه (۱۶) جهت بدست آوردن هزینه استفاده کرد. نتایج حاصل از شبیه سازی در جدول (۲) آورده شده است. مشاهده می‌شود که هزینه نسبت به حالتی که اثر شیر بخار در نظر گرفته نمی‌شود افزایش داشته است. در شکل (۳) نمودار همگرایی تابع هدف هزینه با در نظر گرفتن اثر شیر بخار را می‌توان مشاهده کرد.

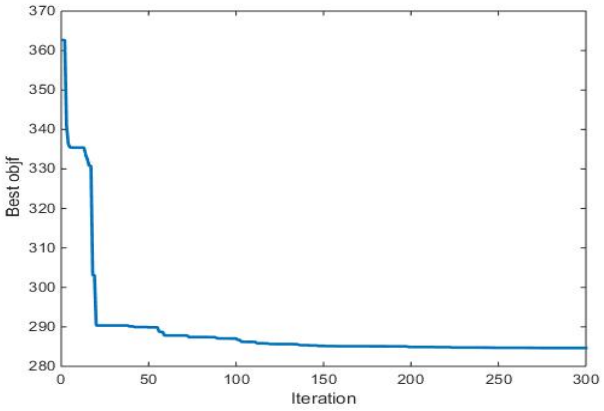



شکل (۳): نمودار همگرایی تابع هدف هزینه با اثر شیر بخار

## ۴-۳- نتایج شبیه‌سازی با تابع هدف آلایندگی

در این حالت آلودگی حاصل از واحدهای حرارتی تولید کننده انرژی الکتریکی شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE به عنوان تابع هدف جهت بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. ضرایب آلودگی واحدهای حرارتی را می‌توان در جدول (۳) مشاهده کرد.

در جدول (۲) نتایج حاصل از بهینه‌سازی با تابع هدف آلودگی را می‌توان مشاهده کرد. ملاحظه می‌شود که در این حالت آلودگی نسبت به سایر حالت‌ها کمتر می‌باشد در صورتی که مقدار هزینه و مقادیر سایر توابع هدف افزایش داشته است.

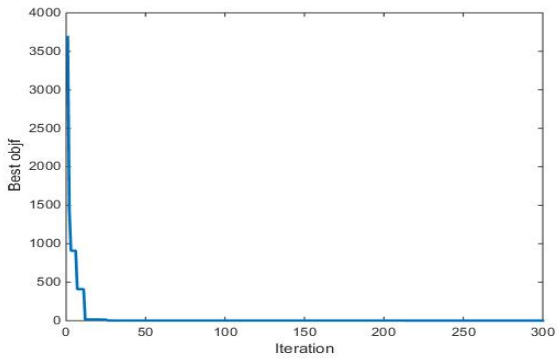



شکل(۴) نمودار همگرایی با تابع هدف آلودگی

در شکل (۴) می‌توان نمودار همگرایی با تابع هدف آلودگی را مشاهده کرد. همگرا شدن مقدار تابع هدف در تکرار های اول نشان از توانایی الگوریتم ارائه شده در همگرا شدن به سمت مقادیر بهینه متغییرهای کنترلی و تابع هدف دارد.

## ۴-۴- نتایج شبیه سازی با تابع هدف تلفات اکتیو

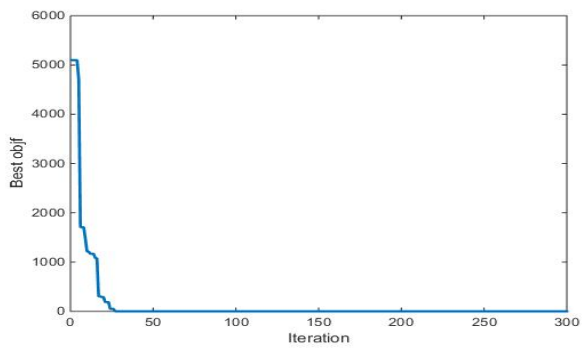
در این حالت مجموع تلفات اکتیو خطوط انتقال شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE به عنوان تابع هدف جهت پخش‌بار بهینه در نظر گرفته شده است. در جدول (۲) نتایج شبیه‌سازی حاصل از الگوریتم LBSA ارائه شده است. ملاحظه می‌شود مقدار تابع هدف در این حالت نسبت به سایر حالات مقدار کمتری دارد همچنین نمودار همگرایی تابع هدف در شکل (۵) ارائه شده است.




شکل (۵) نمودار همگرایی با تابع هدف تلفات اکتیو

## ۴-۵- نتایج شبیه‌سازی با تابع هدف پروفیل ولتاژ

در این حالت پروفیل ولتاژ بعنوان تابع هدف جهت بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با این تابع، در جدول شماره (۲) آورده شده است. در این حالت مشاهده می‌شود که ولتاژ باس‌های بار به سمت یک پریونیت بسیار نزدیک شده است، هر چند که هزینه و آلودگی افزایش داشته‌اند. نمودار همگرایی این تابع هدف در شکل (۶) و همچنین نمودار اندازه ولتاژ باسها در شکل (۷) قابل مشاهده می‌باشند.




شکل (۶) نمودار همگرایی با تابع هدف پرفیل ولتاژ

[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018

جدول (۲) نتایج حاصل ازالگوریتم LBSA با توابع هدف مختلف

| تابع هدف | هزینه | هزینه با اثر شیر بخار | آلودگی | پروفیل ولتاژ | تلفات |
|---|---|---|---|---|---|
| Pg1 | ۴۲/۲۴ | ۴۷/۱۲۵ | ۲۵/۴۳۲ | ۴۷/۴۱۸ | ۷/۴۱۴۱ |
| Pg2 | ۵۶/۸۴ | ۵۷/۱۰۳ | ۲۸/۹۴۱ | ۳۵/۰۶۳ | ۵۲/۷۹۴ |
| Pg3 | ۲۳/۴۴ | ۲۹/۹۱۳ | ۳۳/۵۳۳ | ۳۲/۸۷۲ | ۴۰/۴۷۵ |
| Pg4 | ۳۵/۸۳ | ۳۱/۳۷۰ | ۴۴/۱۵۳ | ۴۵/۳۵۱ | ۳۳/۷۶۸ |
| Pg5 | ۱۵/۲۰۶ | ۱۷/۹۵۶ | ۲۶/۴۲۸ | ۲۰/۱۷۷ | ۱۶/۳۴۷ |
| Pg6 | ۱۸/۰۲۵ | ۸/۹۸۸ | ۳۲/۷۷ | ۱۱/۰۱۴ | ۴۰ |
| V1 | ۱/۰۲۲ | ۱/۰۱۲۴ | ۱/۰۲۶۶ | ۱/۰۱۸ | ۱/۰۲۱۳ |
| V2 | ۱/۰۱۷ | ۰/۹۹۵۳ | ۱/۰۱۹۶ | ۱/۰۲ | ۱/۰۲۱۹ |
| V22 | ۱/۰۴۶ | ۱/۰۱۸۲ | ۱/۰۱۱۵ | ۱/۰۰۶ | ۱/۰۴۶۷ |
| V27 | ۱/۰۵۹ | ۱/۰۵۹۶ | ۱/۰۲۵۲ | ۱/۰۲۵ | ۱/۰۵۷۸ |
| V23 | ۱/۰۴۹ | ۱/۰۳۷۱ | ۱/۰۲۶۶ | ۱/۰۱۵ | ۱/۰۴۸۶ |
| V13 | ۱/۰۹ | ۱/۰۰۸۹ | ۱/۰۶۴۷ | ۱/۰۴۸ | ۱/۰۹۷۷ |
| Qc5 | ۶/۰ | ۱۷ | ۹/۰ | ۰/۹۹۲ | ۵/۰ |
| Qc24 | ۹/۰ | ۲۶ | ۱۳/۰ | ۰/۹۴۶ | ۸/۰ |
| T6-9 | ۰/۹۵ | ۰/۹۲۴ | ۰/۹۸ | ۱/۰۰۷ | ۰/۹۵ |
| T6-10 | ۰/۹۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۰ | ۱/۰۳۵ | ۰/۹۴ |
| T4-12 | ۱/۰۱ | ۰/۹ | ۱/۰۲ | ۰ | ۱/۰۲ |
| T27-2 | ۱/۰۴ | ۱/۰۴۶ | ۱/۰۴ | ۱ | ۱/۰۴ |
| هزینه | ۵۴۴/۷۶۶ | ۵۸۶/۳۱۱ | ۶۱۴/۵۶۸ | ۵۹۴/۴۲ | ۶۳۴/۹۳۴ |
| آلودگی | ۳۸۴/۱۶ | ۴۱۱/۳۵۹ | ۲۸۴/۶۶۱ | ۳۴۹/۸۲۲ | ۳۵۹/۳۹۶ |
| تلفات | ۲/۳۹۷ | ۳/۲۵۶ | ۲/۰۵۵۳ | ۲/۶۹۴ | ۱/۵۹۸ |
| VD | ۰/۶۹۵۶ | ۰/۴۰۶۵ | ۰/۳۹۴۹ | ۰/۱۳۵۵ | ۰/۶۲۴۲ |
| زمان | ۰/۷۴۲ | ۰/۷۵۹ | ۰/۷۱ | ۰/۷۳۹ | ۰/۶۹۶ |

جدول (۳): ضرائب هزینه وآلودگی واحدهای حرارتی

| Gen no | Pmin | Pmax | a | b | c | E | f | alfa | beta | Gama |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | 0 | 80 | ۰ | ۲ | ۰/۰۲ | ۳۰۰ | ۰/۲ | ۰/۰۴۰۹۱ | -۰/۰۵۵۵۴ | ۰/۰۶۴۹ |
| ۲ | 0 | 80 | ۰ | ۱/۷۵ | ۰/۰۱۷۵ | 200 | ۰/۲۲ | ۰/۰۲۵۴۳ | ۰/۰۶۰۴۷ | ۰/۰۵۶۳۸ |
| ۳ | 0 | 50 | ۰ | ۱ | ۰/۰۶۲۵ | 150 | ۰/۴۲ | ۰/۰۴۲۵۸ | -۰/۰۵۰۴۹ | ۰/۰۴۵۸۶ |
| ۴ | 0 | 55 | ۰ | ۳/۲۵ | ۰/۰۰۸۳۴ | 100 | ۰/۳ | ۰/۰۵۳۲۶ | -۰/۰۳۵۵ | ۰/۰۳۳۸ |
| ۵ | 0 | 30 | ۰ | ۳ | ۰/۰۲۵ | 200 | ۰/۳۵ | ۰/۰۴۲۵۸ | -۰/۰۵۰۹۴ | ۰/۰۴۵۸۶ |
| ۶ | 0 | 40 | ۰ | ۳ | ۰/۰۲۵ | 200 | ۰/۳۵ | ۰/۰۶۱۳۱ | -۰/۰۵۵۵۵ | ۰/۰۵۱۵۱ |

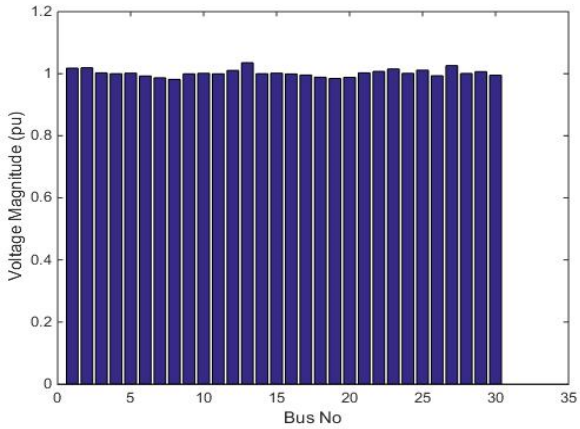
جدول (۴) مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم LBSA با سایر الگوریتم‌ها

| الگوریتم / تابع هدف | PSO[19] | BBO[21] | LBSA |
|---|---|---|---|
| هزینه | ۵۷۴/۱۴۳ | ۵۷۴/۱۱۴ | ۵۷۴/۷۶۶ |
| هزینه با اثر شیر بخار | ۶۱۵/۲۵ | ۵۸۶/۳۱ | ۵۸۶/۳۱۱ |
| آلودگی | ۲۸۲/۲۱۸ | ۲۸۲/۰۸۹ | ۲۸۴/۶۶۱ |
| پروفیل ولتاژ | - | - | ۰/۱۳۵۵ |
| تلفات | ۱/۵۴ | ۱/۵۲۸ | ۱/۵۹۸ |



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

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018




شکل (۷) نمودار اندازه ولتاژ با تابع پروفیل ولتاژ

با توجه به نتایج بدست آمده از پخش‌بار بهینه با الگوریتم LBSA با توابع هدف مختلف ارائه شده، در جدول (۴) ملاحظه می‌شود که نتایج با اختلاف جزئی نسبت به الگوریم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم بهینه‌سازی بیوگرافی (BBO) نزدیک می‌شوند و این نتایج در زمانی به مراتب کمتر از الگوریتم PSO بدست می‌آیند که این نشان دهنده توانایی الگوریتم LBSA در حل مسئله پخش‌بار بهینه می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از الگوریتم جدیدی به نام الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی (LBSA) جهت حل مسئله پخش‌بار بهینه استفاده شده است. وجود متغییرهای پیوسته مانند توان و اندازه ولتاژ و متغییرهای گسسته مانند تپ ترانسفورماتورها و ظرفیت جبرانسازهای توان راکتیو و همچنین استفاده از توابع هدف مختلف جهت حل مسئله پخش‌بار بهینه، بر پیچیدگی‌های مسئله می‌افزاید. با این وجود نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این الگوریتم از توانایی بسیار بالایی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها جهت حل مسئله و در زمانی کمتر برخوردار است. همچنین نمودارهای همگرایی نشان از توانایی این الگوریتم در همگرا شدن به سمت نقاط بهینه را دارد.

## مراجع

بهنام گلستانی، افشین لشکرآرا، "پخش‌بار اقتصادی نیروگاه‌های حرارتی با در نظر گرفتن اثر شیر بخار با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی"، مجله هوش محاسباتی در مهندسی برق، دوره ۸، شماره ۴، صفحه ۱۷-۳۰، زمستان ۱۳۹۶.

[2] J. Carpentier, *"Contribuition to the economic dispatch problem"*(in French), Bull. Soc. FranQ. Elect., vol. 8, pp. 431-;447,August 1962.

[3] Dommel H. W, Tinney W. F, *"Optimal Power Flow Solutions"*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,1968.

[4] Pandya KS, Joshi SK. Survey Opt Power Flow Methods ;2008;0:450–8.

[5] Frank S, Steponavice I.*" Optimal power flow?: a bibliographic survey I.Formulations and deterministic methods"*. p. 221–58. 2012.

[6] Ayan K, Kılıç U, Baraklı B.*" Chaotic artificial bee colony algorithm based solution of security and ransient stability constrained optimal power flow"*. Int J Electr Power Energy Syst;64:136–47, 2015.

[7] Bouchekara HREH, *"Optimal power flow using black-hole-based optimization approach"*. *Appl Soft Comput* J ;24:879–88 ;2014.

[8] Bouchekara HREH, Abido Ma, Boucherma M, *" Optimal power flow using teaching-learning-based optimization technique*". Electr Power Sys t Res;114:49 –--59, 2014.

[9] Bouchekara HREH, Abido Ma, Chaib aE, Mehasni R,*"Optimal power flow using the league championship algorithm: a case study of the Algerian power system"* Energy Convers Manag;87:58–70,2014.

[10] Bouchekara HRE-H, Abido MA, *," Optimal power flow using differential search algorithm"*, Electr Power Components Syst ;42:1683–99,2014.

[11] Duman S, Güvenç U, *". Optimal power flow using gravitational search algorithm"*,Energy Convers Manag ;59:86–95,2012.

[12] Ghasemi M, Ghavidel S, Ghanbarian MM, assrur HR, Gharibzadeh M., *"Application of imperialist competitive algorithm with its modifiedtechniques for multi-objective optimal power flow problem: a omparative study"*. Inf Sci (Ny) ;281:225–47, 2014.

[13] Daryani N, Hagh MT, Teimourzadeh S, *". Adaptive group search optimization algorithm for multi-objective optimal power flow problem"*, Appl Soft Comput 38:1012-24 ;2016.

[14] P. Civicioglu, *"Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems"*,Appl. Math. Comput, Vol. 219(15), pp. ;8121–8144, ;2013.

[15] Mandal S, Sinha RK, Mittal K, *" omparative analysis of backtrack search optimization algorithm (BSA) with other evolutionary algorithms for global continuous optimization*", Int J Comput Sci Inf Technol ;6:3237–41, 2015.

[16] Civicioglu P, *" Circular antenna array design by using evolutionary search Algorithms"*. Prog Electromagn Res B;54:265–84, 2013.

[17] Shafiullah M, Abido MA, Coelho LS, *" Design of robust PSS in multimachine power systems using backtracking search algorithm"* , 2015.

[18] El-Fergany A, *" Multi-objective allocation of multi-type distributed generators along distribution networks using backtracking search algorithm and fuzzy expert rules*", Electr Power Components Syst ;5008:1–16,2015.

[19] AlRashidi, M. R., & El-Hawary, M. E.*" Hybrid particle swarm optimization approach for solving the discrete OPF problem considering the valve point effect"*. IEEE Transactions on Power Systems, 22(4), ;2030–2038. 2007.

[20] Debao Chen a, Feng Zou, Renquan Lu, Peng Wang, *"Learning backtracking search optimisation algorithm and its application"*, Information Sciences, Vol. 376, pp. 71–94, 2017.

[21] P.K. Roy, S.P. Ghoshal, S.S. Thakur," *Biogeography based optimization for multi-constraint optimal power flow with emission and non-smooth cost function "*, Expert Systems with Applications , Vol . 37 ,PP. 8221–8228,2010.

[22] Ray D. Zimmerman CEM-S& D (David) G. MATPOWER. <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/#docsn.d>.

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]

## رزومه

**عبدالعظیم گل پیچی** در دزفول متولد شده است (۱۳۵۹). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد واحد دزفول (۱۳۸۱) و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد واحد دزفول (۱۳۹۶) سپری کرده است. فعالیتهای پژوهشی و علاقه مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، و بهره برداری از سیستم های قدرت است.

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]

# Optimal Power Flow using Learning Backtracking Search Algorithm

**Abdol-Azim Gol-Pichi[1]***

*1- Senior Electrical Engineer, Khuzestan Power Transmission Maintenance and Repairs Company, Ahwaz, Iran, Gol_azim@yahoo.com

**Abstract:** This paper presents a learning backtracking search algorithm (LBSA) that combines the ideas of TLBO and BSA to solve optimal power flow problem that has both discrete and continuous optimization variables. The proposed method is an evolutionary technique of optimization with simple structure and single control parameter to solve numerical optimization problem. The objective functions are considered as the system real power losses, fuel cost and the gaseous emissions of the generating units and voltage profile. The proposed algorithm is applied on modified IEEE 30 bus test power system in Matlab software and the results obtained are compared with results of other algorithm.

**Keywords:** LBSA optimization algorithm, optimal power flow, fuel cost, valve point.

[ DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.2.5.4 ]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 2- Autumn 2017 & Winter 2018
[ Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13 ]