

## پخش بار اقتصادی دینامیکی بهینه با استفاده از P-PSO پیشنهادی

فهمیه صیادی شهرکی<sup>۱\*</sup>، فرشید کی نیا<sup>۲</sup>، سعید اسماعیلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و تکنولوژی پیشرفته کرمان، کرمان، ایران

f.sayadi@kgut.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار پژوهشکده انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و تکنولوژی پیشرفته کرمان، کرمان، ایران

f.keynia@kgut.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار بخش مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

s\_esmaeili@uk.ac.ir

**چکیده:** هدف از حل مسئله پخش بار اقتصادی در سیستم قدرت، برنامه‌ریزی خروجی واحدهای تولید به نحوی است که تقاضای بار مورد نیاز را با کمترین هزینه ممکن تأمین می‌کند، ضمن اینکه قیود برابری یا نابرابری همه واحدها را ارضا می‌نماید. در این مقاله، روش بهینه‌سازی جدیدی تحت عنوان P-PSO<sup>۱</sup> برای افزایش قابلیت اکتشاف و استخراج پیشنهاد شده که دارای یک ماژول آشفستگی نیز برای جلوگیری از همگرایی محلی است. روش پیشنهادی برای پخش بار اقتصادی بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. برای واحدهای مختلف قیود موجود در سیستم شامل تلفات سیستم انتقال، تأثیر شیر ورودی بخار، محدودیت توان تولیدی هر واحد و توازن تولید و مصرف و نیز آلودگی نیروگاه‌ها به‌عنوان جزئی از تابع هدف در نظر گرفته شده است. عملکرد روش بهینه‌سازی پیشنهادی بر روی چهار سیستم قدرت مختلف ارزیابی شده که برای سیستم ۱۵ واحدی پخش بار اقتصادی به‌صورت دینامیکی با توجه به تقاضای بار ۲۴ ساعت صورت گرفته است. برای نشان دادن کارایی روش در سیستم‌های بزرگ، نتایج سیستم ۸۰ واحدی با روش‌های بهینه‌سازی که در مقالات اخیر پیشنهاد شده، مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش بهینه‌سازی حاصل عملکرد بسیار خوبی داشته و برای حل مسئله پخش بار اقتصادی بسیار کارا می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پخش بار اقتصادی، PSO، تلفات انتقال، قیود واحدهای حرارتی، ناحیه ممنوعه.

## ۱. مقدمه

با افزایش هزینه‌های سوخت و بازسازی شبکه‌های قدرت، مسئله پخش بار اقتصادی حائز اهمیت بیشتری شده است. پخش بار اقتصادی یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی است که تولید بهینه هر واحد به نحوی تعیین می‌شود که هزینه‌های کل کاهش یابد. این مسئله در معرض قیود بسیاری قرار می‌گیرد که شامل قیود مساوی برای تعادل توان و قیود نامساوی توان خروجی و نرخ تغییرات توان خروجی است. از نقطه نظر اپراتورهای سیستم، تابع هدف مینیمم کردن تابع هزینه سوخت با ارضای قیود مختلف مثل محدودیت‌های واحدهای تولیدی، نواحی ممنوعه، تأثیر شیر بخار و تلفات انتقال است [۴]. با افزودن ترم سینوسی به تابع هزینه درجه دوم و در نظر گرفتن تأثیر شیر ورودی، تابع هزینه واحدهای تولیدی مشخصه نامسطحی خواهد داشت. همچنین ژنراتورهای جدید با لحاظ کردن تأثیر شیر ورودی بخار، نواحی ممنوعه‌ای خواهند داشت. این موضوع باعث می‌شود که فضای جست‌وجوی مسئله نامحدوب و ناپیوسته باشد. در نظر گرفتن انواع مختلف واحدهای سوختی سبب پیچیدگی بیشتر تابع هدف می‌شود. با در نظر گرفتن این قیود، تعداد مینیمم محلی مسئله بسیار زیاد می‌شود. بنابراین روش بهینه‌سازی بسیار دقیق بهینه‌سازی برای حل مسئله مورد نیاز است. روشن است که برنامه‌ریزی مناسب واحدهای تولیدی موجود می‌تواند منجر به صرفه‌جویی بالایی در هزینه‌های تولید شود.

تاکنون روش‌های متعددی برای حل مسئله مورد استفاده قرار گرفته است. برخی از این روش‌ها بر پایه روش‌های کلاسیک مثل برنامه‌ریزی خطی یا غیرخطی هستند [۵ و ۶]. روش پخش لاند، روش گرادیان<sup>۲</sup> و روش نیوتن<sup>۳</sup> برای حل مسئله پخش بار اقتصادی استفاده شده‌اند [۷]. در سایر طرح‌ها از الگوریتم‌های هوش مصنوعی یا الگوریتم‌های ابداعی استفاده می‌شود. در طول سال‌های گذشته، روش‌های بهینه‌سازی مختلفی پیشنهاد شده است. روش‌هایی مثل تریید شبیه‌سازی شده (SA<sup>۴</sup>)، الگوریتم ژنتیک، روش بهینه‌سازی

جمعیت ذرات (PSO<sup>۵</sup>) و برنامه‌ریزی تکاملی (EP<sup>۶</sup>) از جمله آن‌ها هستند [۸-۱۰]. این روش‌ها دارای این مزیت نسبی هستند که فضای جست‌وجو را تقریباً به صورت کامل جست‌وجو می‌کنند و از همگرایی زودرس به مینیمم محلی جلوگیری می‌کنند. روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی مسائل همگرایی را در بر دارند که اغلب در الگوریتم‌های پیچیده، نتیجه مناسبی در بر دارند. الگوریتم نیوتن در مدیریت تعداد قیود بالا با مشکل مواجه است [۱۱]. در [۱] و [۲] الگوریتم جهش قورباغه برای پخش بار اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است. کاهش همزمان هزینه سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی به عنوان اهداف مسئله در [۲] در نظر گرفته شده‌اند.

الگوریتم جمعیتی PSO به عنوان الگوریتمی با پیشرفت سریع حل به دلیل سادگی برای مسئله پخش بار اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است. در [۱۲] مسئله چندهدفه پخش بار اقتصادی با استفاده از PSO تحلیل شده است. در [۱۳] یک PSO اصلاح‌شده استراتژی کاهش فضای جست‌وجوی دینامیکی را با تسریع بهینه‌سازی همراه ساخته است. پارک و همکاران در [۱۴] PSO آشوبی را برای تعادل توان اکتیو با در نظر گرفتن قیود تولید توان مورد استفاده قرار دادند. در نظر گرفتن اثر شیر بخار موجب عملی‌تر شدن جواب‌ها می‌شود. هر چند ماهیت غیرخطی مسئله و تعداد نقاط بهینه محلی را در فضای حل مسئله افزایش می‌دهد. استفاده از بی‌نظمی در PSO بر پایه تغییرات اینرسی وزنی در بهنگام کردن معادله سرعت از همگرایی زودرس PSO اجتناب کرده و از همگرایی به بهینه محلی اجتناب می‌کند.

در [۱۵] یک روش نوین PSO چندهدفه برای پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید و تعادل توان ارائه شده است. روش ارائه‌شده PSO یک‌هدفی را با ارائه تعاریف جدیدی از بهترین ذره محلی و سراسری در مسئله بهینه‌سازی چندهدفه توسعه داده است. در [۱۶] یک PSO آشفته برای حل مسئله ارائه شده است که نواحی ممنوعه، قیود نرخ تغییر تولید و تلفات انتقال را در نظر گرفته است. این روش بهینه‌سازی از تولید اعداد تصادفی با توالی گوسی یا آشوبی<sup>۷</sup> برای ضرایب معادله بهنگام‌سازی سرعت استفاده می‌کند که به تولید انواع نسخه‌های PSO منجر می‌شود. در [۱۷] یک PSO

1. Lambda Method
2. Gradient method
3. Newton Method
4. Simulated Annealing

5. Particle Swarm Optimization
6. Evolutionary Programming
7. Gaussian or chaotic sequences

سوختی هستند.  $P_{ik}^{min}$  مینیمم خروجی ژنراتور سوختی است. هزینه سوخت هر واحد مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2)$$

که  $a_i$ ،  $b_i$  و  $c_i$  ضرایب هزینه ژنراتور  $i$  است. ترم سینوسی هم که به منظور در نظر گرفتن تأثیر شیر ورودی بخار افزوده شده است. جزئیات بیشتر در این باره در [۲۲ و ۲۳] وجود دارد.

با توجه به اینکه عمده آلودگی نیروگاه‌ها ناشی از تولید گازهای  $SO_2$  و  $NO_x$  می‌باشد، ضروری است به منظور کاهش آلودگی نیروگاه‌ها میزان صدور این گازها حداقل گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در میزان صدور گازهای آلاینده مزبور از نیروگاه‌ها، توان اکتیو خروجی آن‌هاست. رابطه بین آلودگی یک نیروگاه و توان اکتیو خروجی آن، یک رابطه غیرخطی است که می‌توان آن را به صورت یک تابع درجه دوم از توان خروجی مدل‌سازی کرد [۲]. بنابراین تابع تولید آلودگی نیروگاه‌ها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_p = \sum_{i=1}^N F_{pi} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2) \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $N$  تعداد واحدهای فسیلی سیستم،  $\alpha_i$ ،  $\beta_i$  و  $\gamma_i$  ضرایب آلودگی ژنراتورها می‌باشد.

در نهایت تابع هدف مسئله که بایستی کمینه گردد، از ترکیب وزن‌دار توابع هزینه (۱) و (۲) به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$F_T = F_c + \sum_{i=1}^N P_i \cdot F_{pi} \quad (4)$$

$P_i$  ضریب تبدیلی است که میزان آلودگی را به معیار تابع هزینه تبدیل می‌کند و معمولاً توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود [۳]:

$$P_i = \frac{a_i + b_i P_{i,max} + c_i P_{i,max}^2}{\alpha_i + \beta_i P_{i,max} + \gamma_i P_{i,max}^2} \quad (5)$$

## ۲.۲. قیود مساوی و نامساوی

در اینجا علاوه بر تأثیر شیر ورودی بخار که در تابع هدف گنجانده شد، سایر قیود شامل نرخ تغییر تولید، نواحی ممنوعه، تعادل توان و تلفات خطوط انتقال در نظر گرفته شده است [۲۴]:

آشوبی خودتنظیم ارائه شده است که در حل مسئله پخش بار اقتصادی استفاده شده است. مسئله برای ماکزیم‌سازی سود تولید فرمول‌بندی می‌شود و تابع هدف در معرض معادله تعادل آب، حد آب تولیدی، نرخ دبی و حجم مخزن است. روش پیشنهادی عملکرد مناسب‌تری نسبت به PSO معمول دارد. در [۷ و ۱۸] کاربردی از کاهش خطی اینرسی وزنی PSO برای تحلیل مسئله ارائه شده است که در معرض تعادل توان، محدودیت تولید، قیود نرخ تغییر تولید، نواحی ممنوعه و قیود خطوط جریان قرار دارد. تابع برآزش مسئله تابعی دوجانبه از هزینه سوخت و تعادل بار است. اخیراً انواع توپولوژی PSO مختلف برای بهینه‌سازی مسئله پخش بار اقتصادی با قیود سنگین مورد استفاده قرار گرفته است [۴، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. در این مقاله، یک الگوریتم PSO جدید پیشنهاد شده که به منظور کنترل بهتر قابلیت‌های اکتشاف و استخراج، پارامتر  $\omega$  بستگی به برآزش ذره‌ها (و نه زمان) دارد. همچنین ماژول آشفستگی به گونه‌ای طراحی شده است که تنوع بیشتری برای جهش از بهینه محلی ایجاد کند الگوریتم جدید تحت عنوان P-PSO ارائه شده است. این روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی در شبکه ۱۳ واحدی با در نظر گرفتن پخش آلودگی نیروگاه‌ها، شبکه ۱۵ واحدی به صورت دینامیکی، شبکه ۲۰ و ۸۰ واحدی با در نظر گرفتن قیود موجود در آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته و نتایج با PSO معمول قیاس می‌شود.

## ۲. فرمول‌بندی مسئله

### ۱.۲. تابع هدف

تابع هدف مرسوم برای مسئله پخش بار اقتصادی، مینیمم کردن مجموع هزینه‌های سوخت ژنراتورهاست. تابع  $F_c$  شامل هزینه نیروگاه و تأثیر شیر ورودی بخار به صورت رابطه (۱) در نظر گرفته می‌شود:

$$F_c = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) + \sum_{i=1}^N e_{ik} * \sin(f_{ik} * (P_{ik}^{min} - P_i)) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $N$  تعداد ژنراتورهای سیستم،  $F_i(P_i)$  هزینه کل سوخت در  $i$ امین واحد تولیدی برحسب مگاوات و  $e_{ik}$  و  $f_{ik}$  ضرایب هزینه ژنراتورها برای انعکاس تأثیر شیر ورودی بخار نیروگاه‌های

$$P_i \in \begin{cases} P_i^{min} \leq P_i \leq P_{i,1}^l \\ P_{i,k-1}^u \leq P_i \leq P_{i,k}^l, \quad k = 1, \dots, z_{0i} \\ P_{i,z_i}^u \leq P_i \leq P_i^{max} \end{cases} \quad (10)$$

در این رابطه،  $P_{i,k}^u$  و  $P_{i,k}^l$  حدود مرزی پایین و بالا مربوط به  $k$  امین ناحیه ممنوعه ژنراتور است.

### ۳. الگوریتم PSO

PSO یک تکنیک بهینه‌سازی برای حل مسائل بهینه‌سازی است. ایده اصلی PSO تولید جمعیت به صورت تصادفی است که هر فرد در جمعیت ذرات، یک ذره نامیده می‌شود که یک حل بالقوه را نشان می‌دهد. هر ذره در فضای جست‌وجو، موقعیت خود را تغییر داده و سرعت خود را بر اساس تجربیات پرواز خود و اجزای همسایه بهنگام می‌کند که برای کسب موقعیت بهتر کمک می‌کند.

#### ۱.۳. الگوریتم PSO پایه

در الگوریتم PSO پایه  $i$  ذره  $i$  به صورت  $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$  نشان داده می‌شود. موقعیتی که به بهترین تابع برازش مربوط است، به عنوان بهترین موقعیت جاری مربوط به آن ثبت می‌شود. این موقعیت به صورت  $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iD})$  در نظر گرفته می‌شود و تابع برازش متناظر،  $Pbest_i$  نامیده و ثبت می‌شود. بهترین موقعیت سراسری در جمعیت مربوط به بهترین مقدار برازش با عنوان  $Gbest$  به صورت  $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$  ثبت می‌شود. سرعت یعنی نرخ تغییر وضعیت برای ذره  $i$  نام، به صورت  $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD})$  نشان داده می‌شود. در طول پروسه تکرار، سرعت و موقعیت ذره  $i$  مطابق رابطه زیر بهنگام می‌شود:

$$V_{id}(t+1) = V_{id}(t) + c_1 r_1 (P_{id}(t) - X_{id}(t)) + c_2 r_2 (P_{gd}(t) - X_{id}(t)) \quad (11)$$

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1) \quad (12)$$

که  $c_1$  و  $c_2$  ضرایب شتاب،  $r_1$  و  $r_2$  اعدادی تصادفی تولید شده از توزیع یکنواخت در رنج  $[0,1]$  هستند. ماکزیمم سرعت ذرات در مقدار  $V_{max}$  محدود می‌شود. درباره این مسئله، واحدهای خازنی یا بردار نشان‌دهنده وضعیت سویچ‌ها گسسته بوده و بنابراین هر ذره در

- معادله تعادل توان در سیستم قدرت: برای در نظر گرفتن تعادل توان بایستی یک قید مساوی در قیود سیستم گنجانده شود. توان تولیدی بایستی با مجموع توان مورد تقاضا و تلفات برابر باشد:

$$\sum_{i=1}^N P_i - P_L - P_D = 0 \quad (6)$$

در این رابطه،  $P_D$  کل توان مورد تقاضا بر حسب مگاوات بوده و  $P_L$  نشان‌دهنده تلفات در خطوط انتقال در سیستم است. در روش ضرایب  $B$  تلفات شبکه بر حسب یک تابع درجه دوم از توان خروجی به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{i0} P_i + B_{00} \quad (7)$$

که  $B_{ij}$  در این رابطه، نشان‌دهنده المان  $ij$  ام از ماتریس مربعی ضرایب،  $B_{i0}$  نشان‌دهنده المان از بردار ضرایب و  $B_{00}$  ضریب ثابت تلفات است.

- محدودیت ظرفیت ژنراتور: قید نابرابری مربوط به ظرفیت هر واحد تولید نیز به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (8)$$

- قیود نرخ تغییر تولید ژنراتورها: در عمل این قید، عملکرد برخط واحدها و تنظیم فوری توان خروجی را به صورت لحظه‌ای محدود می‌کند. به این ترتیب، ژنراتور ممکن است که تولید خود را بر اساس رنج متناظر افزایش یا کاهش دهد. این قید برای هر واحد به صورت رابطه زیر بیان می‌شود که  $UR_i$  و  $DR_i$  حد پلکان بالا و پایین و  $P_i^{t-1}$  تولید ژنراتور در خروجی گام قبل است:

$$\max(P_i^{min}, UR_i - P_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{max}, P_i^{t-1} - DR_i) \quad (9)$$

- محدودیت نواحی عملی ممنوعه: به دلیل عوامل متعددی از جمله محدودیت اجزای ماشین، شیر بخار، لرزش در محور یاتاقان و... می‌تواند عملکرد ژنراتورها در برخی از نواحی کار را ناممکن سازد. این قید می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

PERPSO Algorithm
1: Calculate $G_i$ and $\omega_i$ of particle $i$ using Equations (15) and (14) respectively; 2: Update $V_i$ and $X_i$ of particle $i$ using Equations (16) and (12) respectively; 3: Perform fitness evaluation on the updated $X_i$ ; 4: <b>if</b> $f(X_i) < f(P_i)$ <b>then</b> 5: $P_i = X_i$ ; $f(P_i) = f(X_i)$ ; 6: <b>if</b> $f(X_i) < f(P_g)$ <b>then</b> 7: $P_g = X_i$ ; $f(P_g) = f(X_i)$ ; 8: $f_c = 0$ 9: <b>else</b> 10: $f_c = f_c + 1$ 11: <b>end if</b> 12: <b>else</b> 13: $f_c = f_c + 1$ 14: <b>end if</b>
PER_module ( $P_g, f_c, m, R$ )
1: <b>if</b> $f_c \geq m$ <b>then</b> 2: $P_{gd}^{per} = P_g$ ; 3: Randomly select a dimension, $d$ to perform perturbation; 4: Calculate the range of perturbation, $R$ 5: Perform the perturbation on $P_{gd}$ using Equation (17); 6: Fitness evaluation is performed on the $P_{gd}^{per}$ particle; 7: <b>if</b> $f(P_{gd}^{per}) < f(P_g)$ <b>then</b> 8: $P_g = P_{gd}^{per}$ ; $f(P_g) = f(P_{gd}^{per})$ ; 9: <b>end if</b> 10: <b>end if</b>

شکل (۱): الگوریتم PSO با ماژول آشفستگی

### ۱.۲.۳. ماژول آشفستگی

برای جلوگیری از همگرایی زودهنگام این ماژول طوری طراحی شده است که تنوع بیشتری برای جهش از بهینه محلی ایجاد کند. برای این منظور، شمارنده  $f_c$  در نظر گرفته می شود که مطابق شکل (۱)، در صورت عدم بهینه شدن پاسخ در هر تکرار یک واحد افزایش می یابد.

جمعیت به ترتیب وجود یا عدم وجود واحدهای خازنی باس های کاندیدا و باز یا بسته بودن سویچ را نمایش می دهد. بنابراین از PSO گسسته استفاده می شود. زمانی که مینیمم کردن تابع برازش  $f$  در فضای جست و جوی  $D$  بعدی مد نظر باشد، موقعیت ذره  $i$  در تکرار  $t + 1$  به صورت زیر بهنگام می شود [۲۵-۲۸]:

$$P_i(t+1) = \begin{cases} X_i(t+1), & \text{if } f(X_i(t+1)) < f(P_i(t)) \\ P_i(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

### ۲.۳. الگوریتم PSO پیشنهادی

در اینجا به منظور کنترل بهتر قابلیت های اکتشاف<sup>۱</sup> و استخراج<sup>۲</sup> پارامتر  $\omega$  بستگی به برازش ذره ها و همچنین زمان دارد. بنابراین به ذرات با برازش کمتر سرعت کمتری تخصیص می شود تا به استخراج کمک کند. درحالی که ذرات با تابع برازش بزرگتر با مقادیر سرعت بالاتری مواجه می شود که این ذره را برای اکتشاف بیشتر هدایت می کند. ترم اول و دوم در رابطه<sup>۳</sup> زیر، به ترتیب بستگی سرعت به تابع برازش و زمان را نشان می دهند. سرعت ذره<sup>۴</sup>  $i$  ام به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\omega_i = c_1((\omega_{max} - \omega_{min}) * G_i + \omega_{min}) + c_2((\omega_{max} - \omega_{min}) * \frac{maxiter - iter}{maxiter} + \omega_{min}) \quad (14)$$

که  $\omega_{min}$  و  $\omega_{max}$  مقادیر ماکزیمم و مینیمم سرعت بوده و به ترتیب برابر  $0.4$  و  $0.9$  هستند و برازش  $G_i$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$G_i = \frac{f(P_i) - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} \quad (15)$$

که  $f_{min}$  و  $f_{max}$  مقادیر برازش ماکزیمم و مینیمم تجربه شخصی هر ذره موجود در جمعیت است. طبق رابطه<sup>۵</sup> (۱۷) برای ذره با برازش کمتر  $G_i$  کمتر می شود و بالعکس. در نهایت، سرعت  $V_i$  ذره  $i$  ام به صورت زیر بهنگام می شود:

$$V_i = \omega_i V_i + \sum_{P_k \in N_i} c_k r_k (P_k - X_i) \quad (16)$$

که  $P_k$  نشان دهنده بهترین تجربه شخصی از ذرات همسایه موجود در همسایگی ذره<sup>۶</sup>  $i$  ام است.  $N_i$  تعداد ذرات موجود در همسایگی ذره،  $c_k$  ضریب شتاب است که به صورت یکنواخت  $(c_k = c/|N_i|)$  بین ذرات همسایگی تقسیم می شود و  $c = 4.1$  و  $r_k$  عدد تصادفی در محدوده  $[0, 1]$  است.

1. Exploration
2. Exploitation

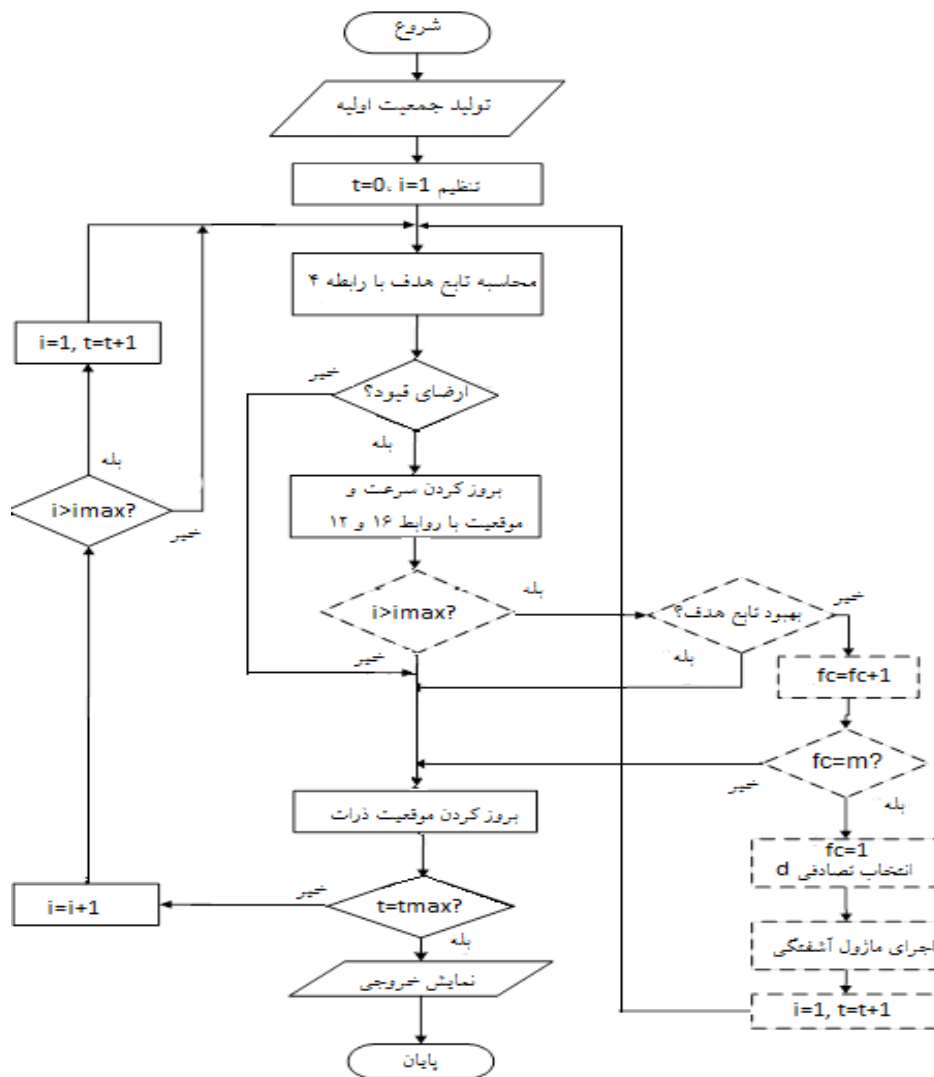
#### ۴. روش حل

برای حل مسئله همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، ابتدا جمعیت اولیه تشکیل شده و برای هر یک از ذرات، مقادیر تابع هدف و ارزشای قیود ارزیابی و در صورت ارضای قیود با استفاده از روابط پیشنهادی سرعت و موقعیت جدید ذرات محاسبه می‌شود. همچنین در شکل (۲)، بلوک‌هایی که توسط خط‌چین نمایش داده شدند، نشان‌دهنده ماژول آشفته‌گی هستند که در صورتی که طی چند تکرار متوالی بهبودی در تابع هدف و موقعیت ذرات ایجاد نشود، این بلوک اجرا می‌شود.

ماژول آشفته‌گی طوری طراحی شده است که اگر  $f_c > m$  شد عمل می‌کند. در این طرح،  $m = 5$  در نظر گرفته می‌شود. در ماژول آشفته‌گی از جمعیت  $P_g$  بین ۱۰ تا ۵۰ درصد از ابعاد آن ( $D$ ) به صورت تصادفی انتخاب شده و مطابق رابطه زیر تغییر می‌کند:

$$P_{gd}^{per} = \begin{cases} P_{gd} + r_4(X_{max,d} - X_{min,d}) & \text{if } r_3 > 0.5 \\ P_{gd} - r_4(X_{max,d} - X_{min,d}) & \text{if } r_3 \leq 0.5 \end{cases} \quad (17)$$

که  $r_3$  و  $r_4$  اعداد تصادفی در محدوده  $[0, 1]$  هستند که با استفاده از توزیع نرمال حاصل می‌شوند.  $P_{gd}^{per}$  در واقع  $d$ مین بعد از  $P_g$  است که آشفته‌گی در آن اعمال شده است.  $X_{min,d}$  و  $X_{max,d}$  به ترتیب بهترین و بدترین موقعیت ذره در این بعد را نشان می‌دهند.



شکل (۲): فلوجارت بخش بار اقتصادی بهینه با استفاده از P-PSO

شامل RDP-PSO<sup>۱</sup>، EGSSOA<sup>۲</sup>، CHP-PSO<sup>۳</sup> و HQMIPSO<sup>۴</sup> هستند که در به ترتیب در مراجع [۴، ۱۶، ۲۰ و ۲۱] معرفی شده‌اند و پارامترهای مربوط به این روش‌ها در همین مراجع ارائه شده است. تابع هدف به کاررفته شده برای بهینه‌سازی سیستم ۱۵، ۲۰ و ۸۰ واحدی به صورت زیر است:

$$\min f = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) + 100 * \sum_{i=1}^N (P_i - P_L - P_D) + \sum_{i=1}^N e_{ik} * \sin(f_{ik} * (P_{ik}^{min} - P_i)) \quad (12)$$

#### ۱.۴. سیستم ۱۳ واحدی با در نظر گرفتن پخش آلودگی

اطلاعات این سیستم شامل ضرایب هزینه سوخت و آلودگی و تلفات در مرجع [۳] وجود دارد. به منظور مقایسه نتایج با این مرجع، تقاضای بار برابر با ۲۵۲۰ مگاوات در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن همه قیود سیستم، نتایج حاصل از اجرای پخش بار اقتصادی بهینه با استفاده از الگوریتم P-PSO پیشنهادی و الگوریتم PSO مطابق جدول (۲) حاصل می‌شود.

پارامترهای PSO و P-PSO استفاده شده در بهینه‌سازی با استفاده از تجربه، مطابق جدول (۲) برای همه حالات در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۱): پارامترهای PSO و P-PSO مورد استفاده

P-PSO	PSO
تعداد اعضای جمعیت: P=30	تعداد اعضای جمعیت: P=30
$\omega_{max} = 0.9, \omega_{min} = 0.4$	$c_1 = c_2 = 2$
حداکثر تکرار t = 140	حداکثر تکرار t = 140
m = 5	$V_{max} = 0.9, V_{min} = 0.4$

#### ۵. نتایج عددی

مدل پیشنهادی برای سیستم ۱۳ واحدی با در نظر گرفتن کاهش آلودگی ناشی از نیروگاه‌ها و با تابع هدف رابطه (۴)، سیستم ۱۵ واحدی برای ۲۴ ساعت به صورت دینامیکی و سیستم ۲۰ واحدی به کار رفته است. در نهایت، برای نشان دادن کارایی روش در سیستم‌های بزرگ و نیز مقایسه عملکرد این روش با روش‌های مناسبی که در مقالات اخیر، برای حل مسئله به کار رفته‌اند. این روش در سیستم ۸۰ واحدی استفاده شده و نتایج با نتایج حاصل از PSO معمول و روش‌های به کاررفته در مقالات اخیر

جدول (۲): نتایج پخش بار اقتصادی سیستم ۱۳ واحدی با استفاده از PSO و P-PSO

	$P_1$ MW	$P_2$ MW	$P_3$ MW	$P_4$ MW	$P_5$ MW	$P_6$ MW	$P_7$ MW	$P_8$ MW	$P_9$ MW	$P_{10}$ MW	$P_{11}$ MW	$P_{12}$ MW	$P_{13}$ MW	تابع هدف	هزینه تولید $F_c$
P-PSO	۵۲۰	۳۵۹	۳۵۷.۲	۱۵۸.۸	۱۵۹.۷	۱۶۰	۱۵۹.۴	۱۵۷	۱۵۷.۵	۸۴.۲	۸۵.۳	۸۵.۳۶	۸۵	۴۱۷۷۱	۲۳۸۴۶
PSO	۴۹۹.۸	۳۱۹.۷	۳۳۴.۵	۱۶۰	۱۹۹.۷	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۱۹.۵	۱۱۵.۴	۱۱۹.۸	۱۱۹.۸	۴۴۷۵۸	۲۴۸۸۷

#### ۲.۴. سیستم ۱۵ واحدی دینامیکی

روش PSO برابر با ۲۴۸۸۷ و با استفاده از P-PSO برابر با ۲۳۸۴۶ دلار حاصل می‌شود.

سیستم اولیه که پخش بار اقتصادی به صورت دینامیکی برای ۲۴ ساعت در آن صورت می‌گیرد، ۱۵ واحد دارد و قیود ramp-rate و تأثیر شیر ورودی بخار نیز در تحلیل مد نظر گرفته شده است. اطلاعات این سیستم و قیود آن در [۱۸] موجود است. با استفاده از روش پیشنهادی برنامه برای ۲۴ ساعت اجرا شده و جدول نتایج مطابق جدول (۳) حاصل می‌شود.

مطابق جدول (۳) اجرای روش پیشنهادی برای پخش بار اقتصادی شبکه ۱۳ واحدی منجر به بهبود نتایج نسبت به PSO معمول شد، به طوری که تابع هدف از ۴۴۷۵۸ دلار با استفاده از روش پیشنهادی به ۴۱۷۷۱ دلار کاهش می‌یابد. همچنین تابع هزینه رابطه (۱) با استفاده از

1. Random Drift Particle Swarm Optimization
2. Enhanced Gradient-based Simplified Swarm Optimization
3. Chaotic Particle Swarm Optimization
4. Hybrid Quantum Mechanics Inspired Particle Swarm Optimization

جدول (۳): نتایج سیستم ۱۵ واحدی

توان	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	h
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
۱۲۲۷	۱۵	۱۵	۲۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۱۷۷	۱۳۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۵۵	۱
۱۳۱۵	۱۵	۱۵	۲۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۲۶۵	۱۳۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۲
۱۴۹۰	۱۵	۱۵	۲۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۴۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۵۵	۳
۱۶۶۷	۱۵	۱۵	۲۵	۲۹/۷۶	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۲۱۲/۹	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۲۱۴/۳	۴
۱۷۵۳	۱۵	۱۵	۲۵	۳۲	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۲۵۵/۶	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۲۵۵/۳	۵
۱۹۲۹	۱۵	۱۵	۲۵	۳۴/۷	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۰	۳۰۳/۳	۱۵۰	۱۳۰	۱۲۸	۲۵۵	۲۸۲/۹	۶
۲۰۳۴	۱۵	۱۵	۲۵	۳۶/۲	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۳۱/۶	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۲۷۲/۳	۳۳۳/۸	۷
۲۱۰۴	۱۵	۱۵	۲۵	۳۷/۲	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۲۰/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۰۳/۴	۳۵۲/۸	۸
۲۲۸۰	۱۵	۱۵	۲۵	۳۹/۸	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۴	۳۹۹	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۸۱/۵	۴۰۰/۶	۹
۲۴۵۴	۱۵	۱۵	۲۵	۴۲/۴	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۴۴۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۲۹	۴۵۵	۴۴۹	۱۰
۲۵۴۲	۱۵	۱۵	۲۵	۵۲/۴	۲۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۴۶۰	۱۹۰/۷	۱۳۰	۱۳۰	۴۵۵	۴۵۵	۱۱
۲۶۳۰	۱۵	۱۵	۲۵	۵۵/۴	۴۳/۳۶	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۴۶۰	۲۷۱/۲	۱۳۰	۱۳۰	۴۵۵	۴۵۵	۱۲
۲۴۵۵	۱۵	۱۵	۲۵	۴۲/۴۶	۲۳/۴۸	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۴۵۵/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۴۵۵	۴۳۸/۵	۱۳
۲۲۸۰	۱۵	۱۵	۲۵	۴۰/۹۶	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۹۸	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۸۱/۴	۳۹۹/۶	۱۴
۲۱۰۴	۱۵	۱۵	۲۵	۲۷/۲۷	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۴	۳۵۰/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۰۳/۳	۳۶۳/۸	۱۵
۱۸۴۱	۱۵	۱۵	۲۵	۲۹/۴	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۲۷۹/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۸۴/۶	۲۸۷/۴	۱۶
۱۷۵۳	۱۵	۱۵	۲۵	۲۹	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۲۵۶/۶	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۲۵۷/۳	۱۷
۱۹۲۹	۱۵	۱۵	۲۵	۲۹/۶۹	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۰۳/۳	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۲۵۵/۶	۲۸۰/۳	۱۸
۲۱۰۴	۱۵	۱۵	۲۵	۴۰/۲۷	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۵۰/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۰۳/۳	۳۴۹/۹	۱۹
۲۴۵۵	۱۵	۱۵	۲۵	۴۲/۴۶	۲۳/۴۵	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۴۴۵/۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۴۵۵	۴۴۸/۵	۲۰
۲۲۸۰	۱۵	۱۵	۲۵	۴۰/۸۷	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۹۸	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۸۱/۴	۳۹۹/۷	۲۱
۱۹۲۹	۱۵	۱۵	۲۵	۲۹/۷	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۳۰۳/۳	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۲۵۵/۶	۲۹۰/۴	۲۲
۱۵۷۸	۱۵	۱۵	۲۵	۲۷/۴	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۴۶۵	۱۶۹/۷	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰/۹	۲۳
۱۴۰۲	۱۵	۱۵	۲۵	۲۰	۲۰	۲۵	۲۵	۶۰	۳۵۲	۱۳۵	۱۵۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۴

کل تقاضای بار به اندازه  $P=2500\text{ MW}$  در نظر گرفته شده است.

مطابق نتایج جدول (۳) قیود سیستم در تمامی سطوح بار ارضا

شده است. جدول (۴) نتایج را به صورت توان تولیدی توسط هر واحد

شده است.

استفاده از الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد.

### ۳.۴ سیستم ۲۰ واحدی

سیستم به کاررفته دارای ۲۰ واحد بوده و اطلاعات آن در مرجع [۲۹]

موجود است.



جدول (۴): توان تولیدی توسط هر واحد در سیستم ۲۰ واحدی با استفاده از روش پیشنهادی

$P_1$ MW	$P_2$ MW	$P_3$ MW	$P_4$ MW	$P_5$ MW	$P_6$ MW	$P_7$ MW	$P_8$ MW	$P_9$ MW	$P_{10}$ MW
۵۹۹.۵۹۲	۱۰۸.۶۹	۵۰	۵۰	۸۹.۲۱۶	۲۰	۱۲۵	۵۰	۱۰۹.۲۸۶	۱۰۰.۷۸۶
$P_{11}$ MW	$P_{12}$ MW	$P_{13}$ MW	$P_{14}$ MW	$P_{15}$ MW	$P_{16}$ MW	$P_{17}$ MW	$P_{18}$ MW	$P_{19}$ MW	$P_{20}$ MW
۱۸۳.۶۸۳	۴۲۶.۱۳۳	۱۲۰.۹۱۲	۶۹.۷۶۷	۹۰.۲۰	۳۶.۵۰	۳۰.۰۰	۴۰.۲۳۵	۷۶.۱۹۹	۳۰.۰۰

#### ۴.۴. سیستم ۸۰ واحدی

برای نشان دادن قابلیت روش پیشنهادی برای پخش بار اقتصادی در سیستم‌های بزرگ، سیستم‌های قبلی به اندازه کافی بزرگ نیستند. به همین دلیل، با اتصال دو سیستم ۴۰ واحدی موجود در مرجع [۴] سیستم ۸۰ واحدی حاصل شده که تأثیر شیر ورودی بخار هم در بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. با استفاده از روش پیشنهادی و روش‌های ارائه‌شده در جدول (۶)، بهینه‌سازی صورت می‌گیرد که در این حالت، هزینه سوخت با استفاده از روش پیشنهادی برابر با ۲۳۹۸۹۶/۲۱ دلار حاصل می‌شود که نسبت به سایر روش‌های ارائه‌شده به‌اندازه نسبتاً قابل توجهی کوچک‌تر است. جدول زیر نتایج حاصل از توان تولیدی توسط هر واحد را با استفاده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

نتایج نهایی تابع هدف با استفاده از سایر روش‌ها در جدول (۷) ارائه شده است که نشان می‌دهد روش پیشنهادی با ارضای تمام قیود، تابع هدف را بیش از سایر روش‌ها بهینه می‌سازد.

شکل (۳)، مشخصه همگرایی روش‌های PSO مختلف را نشان می‌دهد که برای پخش بار اقتصادی بهینه در سیستم ۸۰ واحدی به‌کار رفته است. مقایسه شکل‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها هم از نظر سرعت همگرایی و هم از نقطه‌نظر کیفیت حل کارا تر است. این نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند در مسائلی که فضای جست‌وجوی بزرگ و پیچیده‌ای دارند، همانند سیستم‌های کوچک‌تر جست‌وجو را با سرعت و کیفیت بالایی انجام دهد.

با استفاده از این نتایج، بهینه تابع هدف رابطه ۱۲ برابر با ۶۰۱۲۵/۹۷ دلار حاصل می‌شود. همچنین برای نشان دادن کیفیت و سرعت همگرایی روش پیشنهادی نسبت به PSO معمول، نتایج جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): مقایسه نتایج پخش بار اقتصادی شبکه ۲۰ واحدی با PSO

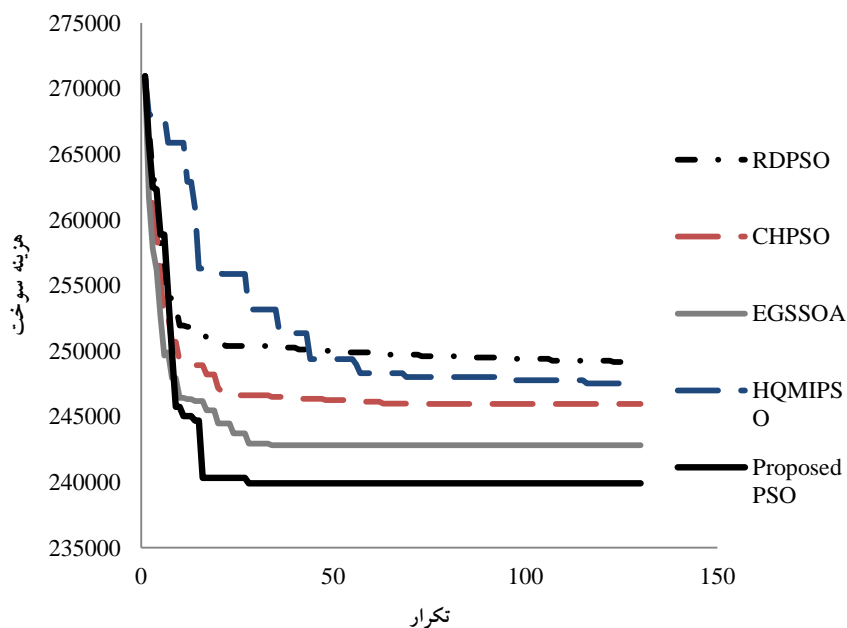
معمول و-PSOP پیشنهادی		
Unit power (MW)	روش پیشنهادی	PSO معمول
$P_1$	۵۹۹/۶۹۲	۴۵۸/۹۴۲
$P_2$	۱۰۸/۶۹	۵۰/۰۰
$P_3$	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
$P_4$	۵۰/۰۰	۱۰۶/۹۴۶
$P_5$	۸۹/۲۱۶	۱۳۸/۳۱۷
$P_6$	۲۰/۰۰	۸۹/۵۸۶
$P_7$	۱۲۵/۰۰	۱۰۳/۵۸۳
$P_8$	۵۰/۰۰	۱۴۸/۴۰۶
$P_9$	۱۰۹/۲۸۶	۵۰/۰۰
$P_{10}$	۱۰۰/۷۸۶	۱۸۶/۶۳۲
$P_{11}$	۱۸۳/۶۸۳	۲۱۶/۴۲۱
$P_{12}$	۴۲۶/۱۳۳	۳۲۳/۵۹۷
$P_{13}$	۱۲۰/۹۱۲	۱۲۵/۵۳۶
$P_{14}$	۶۹/۷۶۷	۴۲/۸۱۳
$P_{15}$	۹۰/۲۰۰	۲۵/۰۰
$P_{16}$	۳۶/۵۰۰	۴۸/۹۷۰
$P_{17}$	۳۰/۰۰	۷۶/۲۱۹
$P_{18}$	۴۰/۲۳۵	۱۱۹/۷۶۱
$P_{19}$	۷۰/۱۹۹	۱۱۶/۶۵۱
$P_{20}$	۳۰/۰۰	۷۲/۵۲۲
Total cost(\$/h)	۶۰۱۲۵/۹۷	۶۰۷۰۳/۷
Iterations	۵۳	۷۵

جدول (۶): نتایج سیستم ۸۰ واحدی با استفاده از روش پیشنهادی

$P_1$ MW	$P_2$ MW	$P_3$ MW	$P_4$ MW	$P_5$ MW	$P_6$ MW	$P_7$ MW	$P_8$ MW	$P_9$ MW	$P_{10}$ MW
۱۱۴/۱۲	۱۱۳/۹۹۸	۱۲۰	۱۹۷/۹۸	۹۷	۱۴۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۳۰/۲۸۶	۹۴/۰۲
$P_{11}$ MW	$P_{12}$ MW	$P_{13}$ MW	$P_{14}$ MW	$P_{15}$ MW	$P_{16}$ MW	$P_{17}$ MW	$P_{18}$ MW	$P_{19}$ MW	$P_{20}$ MW
۹۴/۰۲	۱۲۵	۲۷۱/۶۵۲۷	۲۶۶/۶۶۳	۲۶۶/۶۶۳	۵۰۰	۵۰۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰
$P_{21}$ MW	$P_{22}$ MW	$P_{23}$ MW	$P_{24}$ MW	$P_{25}$ MW	$P_{26}$ MW	$P_{27}$ MW	$P_{28}$ MW	$P_{29}$ MW	$P_{30}$ MW
۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹۷	۱۹۰/۰۸۶
$P_{31}$ MW	$P_{32}$ MW	$P_{33}$ MW	$P_{34}$ MW	$P_{35}$ MW	$P_{36}$ MW	$P_{37}$ MW	$P_{38}$ MW	$P_{39}$ MW	$P_{40}$ MW
۱۹۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۵۵۰	۱۱۴
$P_{41}$ MW	$P_{42}$ MW	$P_{43}$ MW	$P_{44}$ MW	$P_{45}$ MW	$P_{46}$ MW	$P_{47}$ MW	$P_{48}$ MW	$P_{49}$ MW	$P_{50}$ MW
۱۱۴	۱۲۰	۱۹۰	۹۷	۱۴۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۳۰	۹۴
$P_{51}$ MW	$P_{52}$ MW	$P_{53}$ MW	$P_{54}$ MW	$P_{55}$ MW	$P_{56}$ MW	$P_{57}$ MW	$P_{58}$ MW	$P_{59}$ MW	$P_{60}$ MW
۹۴/۰۲	۱۲۵	۲۷۱/۶۵۲۷	۲۶۶/۶۶۳	۲۶۶/۶۶۳	۵۰۰	۵۰۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰
$P_{61}$ MW	$P_{62}$ MW	$P_{63}$ MW	$P_{64}$ MW	$P_{65}$ MW	$P_{66}$ MW	$P_{67}$ MW	$P_{68}$ MW	$P_{69}$ MW	$P_{70}$ MW
۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹۷	۱۹۰/۰۸۶
$P_{71}$ MW	$P_{72}$ MW	$P_{73}$ MW	$P_{74}$ MW	$P_{75}$ MW	$P_{76}$ MW	$P_{77}$ MW	$P_{78}$ MW	$P_{79}$ MW	$P_{80}$ MW
۱۹۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۵۵۰	۱۱۴

جدول (۷): نتایج تابع هزینه روش‌های مختلف برای شبکه ۸۰ واحدی

	[21] · RDPSO	[4] · EGSSOA	[16] · CHPSO	[22] · HQMIPSO	P-PSO پیشنهادی
Total cost(\$/h)	۲۴۹۱۵۱/۲	۲۴۲۷۹۵/۳	۲۴۵۹۴۲/۷	۲۴۷۵۲۱	۲۳۹۸۹۶/۲۱



شکل (۳): مشخصه همگرایی با برخی انواع روش‌های PSO برای سیستم ۸۰ واحدی

## ۶. نتیجه گیری

گرفته و بهینه‌سازی صورت گرفته و نتایج با الگوریتم‌های نوین PSO که در مقالات اخیر پیشنهاد شده است، مقایسه شد. مقایسه نتایج با روش‌های کارای اخیر نشان می‌دهد که روش پیشنهادی علی‌رغم سادگی، از دقت و سرعت خوبی در قیاس با سایر نتایج برخوردار است. مزیت مهم این روش پیشنهادی هر چه بیشتر تصادفی شدن الگوریتم و در نتیجه، عدم وابستگی به پارامترهای متعدد است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در حل مسئله پخش بار اقتصادی کارایی بسیاری دارد.

## سیاسگزاری

این مقاله با حمایت پژوهشکده انرژی- مرکز بین‌المللی علوم، تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی- دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و تکنولوژی پیشرفته، کرمان- ایران، تحت شماره قرارداد ۳۴۸۹ تهیه شده است.

در این مقاله، پخش بار اقتصادی در سیستم قدرت با در نظر گرفتن قیود متعدد مساوی و نامساوی تحلیل شده است. قیود مسئله شامل نرخ تغییر تولید، نواحی ممنوعه، تأثیر شیر ورودی بخار و همچنین تلفات انتقال در نظر گرفته شده است که مسئله نامحدب و ناپیوسته‌ای ایجاد کرده است. برای بهینه‌سازی این مسئله پیچیده الگوریتم P-PSO جدیدی شامل مازول آشفته‌گی جهت ایجاد تنوع هر چه بیشتر و فرار از همگرایی محلی ارائه و برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است. این روش در شبکه ۱۳ واحدی با در نظر گرفتن آلودگی ناشی از واحدها، شبکه ۱۵ واحدی به صورت دینامیکی در ۲۴ ساعت به کار گرفته شد. با توجه به نتایج شبکه ۲۰ واحدی این الگوریتم در قیاس با الگوریتم PSO عملکرد بهتری هم از نقطه نظر سرعت و هم دقت همگرایی نشان می‌دهد. برای نشان دادن قابلیت روش پیشنهادی در مسائل بزرگ‌تر، شبکه ۸۰ واحدی را در نظر

## مراجع

- [1] فلقی، حمید، امینی، امیر. و نجفی، ارسلان، «توزیع بهینه اقتصادی بار با در نظر گرفتن محدودیت‌های عملی نیروگاه‌ها با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه بهبودیافته»، مجله مدیریت انرژی، شماره اول، سال اول، صفحه ۳۸-۴۸، پاییز ۱۳۹۰.
- [2] امینی، امیر، فلقی، حمید. و رضائی مریم، «توزیع بار بین نیروگاه‌ها به منظور کاهش همزمان هزینه سوخت و آلایندگی‌های زیست‌محیطی»، مجله مدیریت انرژی، شماره اول، سال سوم، صفحه ۲-۱۵، بهار ۱۳۹۲.
- [3] هوشمند، رحمت‌الله و پرستگاری، معین، کاربرد الگوریتم PSO در پخش بار اقتصادی و پخش آلودگی برای توابع هزینه ناصاف با وجود تلفات خطوط انتقال و محدودیت‌های عملی سیستم، نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران، سال ۶، شماره ۳، ۱۳۸۷.
- [4] Azizipanah, R., et al, "Robust, Fast and Optimal Solution of Practical Economic Dispatch by a New Enhanced Gradient-Based Simplified Swarm Optimisation Algorithm", IET Gener. Transm. Distrib, Vol. 7, pp. 620-635, 2013.
- [5] Adler, R.B., Fischl, R. "Security Constrained Economic Dispatch with Participation Factors based on Worst Case Bus Load Variations", Power Apparatus Syst IEEE Trans, 96, pp.347-56, 1977.
- [6] Bui, R.T., Ghaderpanah, S., "Real Power Rescheduling and Security Assessment", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.101, No.8, pp.2906-2915, 2007.
- [7] Wood, A. J., Wollenberg, B. F., "Power Generation Operation and Control", 2nd ed., Wiley, New York, 1996.
- [8] Wong, K. P., Fung, C. C., "Simulated Annealing based Economic Dispatch Algorithm", IEE Proc.-C, Vol. 140, No. 6, pp. 509-515, 1993.
- [9] Walters, D. C., Sheble, G. B., "Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Valve Point Loading", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-8, No. 3, pp. 1325-1332, 1993.
- [10] Yang, H. T., Yang, P. C., and Huang, C. L., "Evolutionary Programming based Economic Dispatch for Units with Non-Smooth Fuel Cost Functions", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 1, pp. 112-118, 1993.
- [11] Pancholi, RK, Swarup, K.S., "Particle Swarm Optimization for Security Constrained Economic Dispatch. In: International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing", (IEEE Cat. No. 04EX783), Chennai, India, pp. 7-12, 2004.
- [12] Selvakumar, I., Dhanushkodi, K., Jaya Kumar. J., Kmar Charlie Paul, C., "Particle Swarm Optimization Solution to Emission and Economic Dispatch Problem", IEEE 2003.
- [13] Park, JB., Lee, K.S., Shin, JR., Lee, KY., "A Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch with Non-Smooth Cost Functions", IEEE Transaction of Power System, pp. 34-42, 2005.
- [14] Park, J. B., Jeong, Y. W., Kim, H. H., and Shin, J. R., "An

- Improved Particle Swarm Optimization for Economic Load Dispatch with Valve Point Effect*", International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, Vol. 1, No. 1, 2006.
- [15] Abido, M. A., "Multiobjective Particle Swarm Optimization for Environmental/ Economic Dispatch Problem", In: Proceedings of the 8th international power engineering conference, pp. 1385–90, 2007.
- [16] Cohelo, SL, Lee, SC., "Solving Economic Load Dispatch Problems in Power System Using Chaotic and Gaussian Particle Swarm Optimization Approaches", Electrical Power and Energy Systems 30, pp. 297–307, 2008.
- [17] Chuanwen, J., Etorre. B., "A Self-Adaptive Chaotic Particle Swarm Algorithm for Short Term Hydroelectric System Scheduling in Deregulated Environment", Energy Conversion & Management, pp.2689–2696, 2011.
- [18] Giang, Z.L., "Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints", IEEE Transaction on Power System, pp.1187–95, 2003.
- [19] Bae Park, J., et al, "An Improved Particle Swarm Optimization for Nonconvex Economic Dispatch Problems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 25, No. 1, pp.754-762, 2010.
- [20] Jun, S., et al, "Solving the Power Economic Dispatch Problem with Generator Constraints by Random Drift Particle Swarm Optimization", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 10, No. 1, pp. 222-232, 2014.
- [21] Chakraborty, S., et al, "Solving Economic Load Dispatch Problem with Valve-Point Effects Using a Hybrid Quantum Mechanics Inspired Particle Swarm Optimization", IET Gener. Transm. Distrib, Vol. 5, Iss. 10, pp. 1042–1052, 2011.
- [22] Mahor, A., Prasad, V., Rangnekar, S., "Economic Dispatch Using Particle Swarm Optimization", A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, pp. 2134–2141, 2009.
- [23] Sadaat H., "Power system analysis", WCB/McGraw-Hill; 1999.
- [24] Pereira-Neto, A., Unsuhay, C., Saavedra, O.R., "Efficient Evolutionary Strategy Optimization Procedure to Solve the Nonconvex Economic Dispatch Problem with Generator Constraints", IEEE Proc Gener Transm Distrib, 152(5), pp. 653–60, 2005.
- [25] Nasir, M., Das, S., Maity, D., Sengupta, S., Halder, U., Suganthan, P.N., "A Dynamic Neighborhood Learning based Particle Swarm Optimizer for Global Numerical Optimization", Information Sciences, pp.16-36, 2012.
- [26] Kennedy, J., Eberhart, R., "Particle Swarm Optimization", in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, Piscataway, NJ, pp. 1942–1948, 1995.
- [27] R. Eberhart and J. Kennedy, "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory", in Proc. 6th Int. Symp. Micro Machine and Human Science, pp. 39–43, 1995.
- [28] X. Hu, Y. Shi, and R. Eberhart, "Recent Advances in Particle Swarm", in Proc. Congr. Evolutionary Computation, Vol. 1, pp. 90–97, 2004.
- [29] Su, C.T., Lin, C.T., "New Approach with a Hopfield Modeling Framework to Economic Dispatch", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp. 541–545, 2000.