

توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی در سیستم‌های قدرت چندناحیه‌ای با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

صابر ارمغانی^{۱*}، نیما امجدی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: توزیع بار اقتصادی، قید آلودگی، سیستم‌های چند ناحیه‌ای، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته.</p>	<p>در این تحقیق، برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته پیشنهاد شده است. در سال‌های اخیر، توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای، مورد توجه محققین واقع شده است، اما در هیچ‌یک از این تحقیقات، به معضل آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی توجه نشده است. مدل ارائه شده در این تحقیق، قید آلودگی را نیز اعمال نموده است و از این لحاظ مدلی جدید از مسأله مذکور به‌شمار می‌رود. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، یک الگوریتم جستجوی تکاملی است که در سال‌های اخیر توسط محققین پیشنهاد و در زمینه‌های مختلف مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. با این وجود، قابلیت این الگوریتم برای حل مسائل بهره‌برداری سیستم‌های قدرت بررسی نشده است. در این مقاله، توانایی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی (مدل جدید پیشنهادی) در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای بررسی شده است. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در مسائل مختلف توزیع بار اقتصادی در چند سیستم‌های تک‌ناحیه‌ای (۴۰ و ۶۰ واحدی) و توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی تحت قیود ایمنی در سیستم تک‌ناحیه‌ای (۶ واحدی، ۳۰ باسه) اعمال شده است. در نهایت قابلیت الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در حل مسئله توزیع بار اقتصادی در سیستم ۴ واحدی و دو ناحیه‌ای و مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم ۴۰ واحدی و دو ناحیه‌ای با قیود تکمیلی بررسی شده است. مقایسه عملکرد این الگوریتم با دیگر الگوریتم‌های جستجوی تصادفی، توانمندی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را نشان می‌دهد.</p>

۱- مقدمه

بار به واحدهای از قبل آرایش‌یافته صورت می‌گیرد. با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی که از احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های تولیدکننده توان الکتریکی در هوا منتشر می‌شوند، دیگر بهره‌برداری از سیستم قدرت به صورت اقتصادی صرف، تابع هدف نهایی مسئله توزیع بار اقتصادی نمی‌تواند باشد بلکه کاهش نشر آلاینده‌های گازی نیز باید در نظر گرفته شود. گازهای SO_x

توزیع بار اقتصادی یکی از وظایف مهم بهینه‌سازی در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و با هدف تخصیص

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: armaghani.saber@yahoo.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان.

۲. استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان.

گرفته می‌شوند اما واحدهای ژنراتوری می‌توانند به چندین ناحیه تولیدی تقسیم شوند که با خطوط ارتباطی با هم ارتباط دارند. توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای با این رویکرد انجام می‌گیرد که مقداری از توان اکتیو به صورت اقتصادی در ناحیه‌ای تولید شود و به ناحیه دیگر انتقال یابد به طوریکه واحدهای حرارتی کمترین جریمه را برای آلودگی هوا بپردازند و مقدار توان اکتیو عبوری از خطوط انتقال ارتباطی بین نواحی، در محدوده مجاز باشد. در [۹]، مسئله توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای، با برنامه‌ریزی پویا^۵ حل شده است. در [۱۰]، توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای، با استفاده از روش شبکه عصبی حل شده است. در [۱۱]، چند سوختی بودن واحدها در مسئله توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای در نظر گرفته شده است و برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار در سیستم‌های چند ناحیه‌ای عملکرد الگوریتم‌های تکاملی را بررسی کرده است. همچنین برای تشخیص صحت و سقم بهینگی الگوریتم تکاملی شرایط^۶ KKT را بررسی نموده است.

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی فاخته^۷ (COA) است. الگوریتم جستجوی پرنده فاخته^۸ توسط یانگ و دب [۱۲-۱۳] توسعه یافت و در سال ۲۰۱۱ الگوریتم بهینه‌سازی فاخته توسط رامین رجبیون ارائه گردید [۱۴]. ایده اصلی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، الهام از تخمگذاری فاخته‌ها می‌باشد که با پرواز لووی^۹ که نوعی گشت تصادفی است ترکیب شده است.

در این تحقیق الگوریتم بهینه‌سازی فاخته برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای پیشنهاد شده است. الگوریتم مذکور در مسئله توزیع بار اقتصادی با توابع هدف و قیود

و NO_x از مهمترین آلاینده‌های منتشر شده از واحدهای سوخت فسیلی می‌باشند. در حال حاضر در بسیاری از کشورهای جهان، واحدهای سوخت فسیلی به ازای مقدار گازی که از این آلاینده‌ها در هوا متساعد می‌کنند جریمه‌ای را می‌پردازند. بنابراین تابع هدف می‌تواند کاهش همزمان هزینه سوخت و جریمه آلاینده‌ها در نظر گرفته شود.

یکی از اولین رویکردها برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی بود که در [۱] توصیف شده است. در [۲]، ضمن ارائه ترکیب خطی از توابع هدف هزینه سوخت و جریمه نشر آلودگی، با وزن‌دهی مختلف مصالحه‌ای بین هزینه سوخت و هزینه نشر آلودگی به دست آورده شده است. در [۳]، از الگوریتم ژنتیک، برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی استفاده شده است که پارامترهای کنترلی این الگوریتم توسط منطق فازی تنظیم می‌شود. الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته برای بهبود بخشیدن به کیفیت جواب بدست آمده از حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در [۴]، پیشنهاد شده است. محققان در [۵]، الگوریتم PSO^۱ را برای حل توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی استفاده نموده‌اند. در [۶]، الگوریتم دسته مورچگان (ACO^۲) برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی پیشنهاد شده است. در [۷]، الگوریتم باکتری (BF^۳) ارتقاء یافته با استفاده از تئوری فازی پیشنهاد و این الگوریتم برای حل توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی پیشنهاد شده است. مساله مذکور در [۸] با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی (DE^۴) توسعه یافته حل شده است.

معمولاً سیستم مورد بررسی و مطالعه در مسائل توزیع بار اقتصادی (با در نظر گرفتن تابع آلودگی) یک ناحیه در نظر

⁵ Dynamic Programming

⁶ Karush-Kuhn-Tucker

⁷ Cuckoo Optimization Algorithm

⁸ Cuckoo Search

⁹ Lévy Flight

¹ Particle Swarm Optimization

² Ant Colony Optimization

³ Bacterial Foraging

⁴ Differential Evolution

یک بخش سیسنوسی به تابع درجه دو در مسائل توزیع بار اقتصادی مطرح شده‌اند. با در نظر گرفتن اثر شیرهای بخار در تابع هدف، فضای مسئله دارای نقاط کمینه محلی متعددی می‌شود که مسئله را از لحاظ حل پیچیده‌تر می‌کند. تابع هزینه سوخت با در نظر گرفتن تابع اثر شیرهای بخار در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \cdot \sin(f_i (P_i^{\min} - P_i))| \quad (1)$$

a_i, b_i, c_i و ثابت‌های هزینه چند جمله‌ای درجه دو واحد i ام می‌باشند و e_i و f_i ثابت‌هایی از ژنراتور i ام. برای بدست آوردن جواب دقیق و کاربردی از توزیع بار اقتصادی، مدل توزیع اقتصادی بار باید شامل هر دو تاثیر شیرهای بخار و چند سوختی بودن باشد [۱۵]. بنابراین تابع هدف مسئله توزیع اقتصادی در عمل به صورت (۲) می‌گردد.

$$F_i(P_i) = \begin{cases} a_{i1} + b_{i1} P_i + c_{i1} P_i^2 + |e_{i1} \cdot \sin(f_{i1} (P_{i1}^{\min} - P_i))|, & P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i1} \\ a_{i2} + b_{i2} P_i + c_{i2} P_i^2 + |e_{i2} \cdot \sin(f_{i2} (P_{i2}^{\min} - P_i))|, & P_{i1} < P_i < P_{i2} \\ \vdots \\ a_{ik} + b_{ik} P_i + c_{ik} P_i^2 + |e_{ik} \cdot \sin(f_{ik} (P_{ik}^{\min} - P_i))|, & P_{ik-1} < P_i \leq P_{ik}^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

$a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}, e_{ik}$ و f_{ik} ثابت‌های هزینه واحد i ام در k امین سطح از توان اکتیو خروجی آن واحد است.

برای کمینه کردن تخریبات زیست محیطی یا نشر کل آلاینده‌های گازی که از سوزاندن سوخت‌های فسیلی درون واحدهای نیروگاهی در محیط متساعد می‌شود، باید مقدار آلاینده گازی نشر شده با توان تولید شده از آن واحد وابسته باشد. کل سطح آلودگی $E_i(P_i)$ به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$E_i(P_i) = 10^{-2} \left[(\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2) + \xi_i \exp(\lambda_i P_i) \right] \quad (3)$$

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \xi_i$ و λ_i ثابت‌ها و ضرایب آلودگی نشر شده از واحد i ام است. $E_i(P_i)$ کل آلودگی نشر شده بر حسب (ton/h) می‌باشد. فلوی عبوری از خطوط انتقال بین دو ناحیه نقش مهمی را در تعیین هزینه عملکرد در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای ایفا می‌کند. با شامل کردن هزینه انتقال برای هر انتقال در خطوط ارتباطی بین نواحی و ایجاد مصالحه بین توابع هزینه سوخت و تابع نشر

مختلف در سیستم‌های تک‌ناحیه‌ای و چند ناحیه‌ای اجرا شده و نتایج بدست آمده با دیگر روش‌ها مقایسه شد. در نهایت، توانایی الگوریتم فاخته، در مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای بررسی شده است.

این تحقیق به صورتی که نشان داده شده است بخش‌بندی می‌شود. در بخش ۲ توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای مدلسازی شده است. در این بخش قیود تکمیلی همچون حد نرخ شیب و نقاط ممنوعه کاری ژنراتورها و امنیت شبکه نیز بیان شده است و در انتهای این بخش روش حل مسأله توضیح داده شده است. در بخش ۳ الگوریتم بهینه سازی فاخته به عنوان الگوریتم پیشنهادی برای حل مسأله مذکور، به تفصیل شرح داده شده است. در بخش ۴ نتایج عددی و تحلیل حساسیت الگوریتم پیشنهادی بررسی شده است. در بخش ۵ این تحقیق نتیجه‌گیری شده است.

۲- توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای

هدف از توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای تخصیص بار محلی هر ناحیه به واحدهای موجود در آن ناحیه و انتقال توان از ناحیه‌ای با اضافه تولید به ناحیه مجاور با کمبود تولید است به طوری که مصالحه‌ای بین کمترین هزینه سوخت کل سیستم قدرت و کمترین آلودگی نشر شده برقرار شود و قیدهای توازن قدرت ناحیه‌ای، ظرفیت تولید و توان منتقله از خطوط ارتباطی برآورده شود. تابع هزینه درجه دو به دلیل صرف نظر کردن از تاثیر شیرهای بخار در مدلسازی، معمولترین و ساده‌ترین تابع هزینه سوختی است که در مسائل توزیع بار اقتصادی ارائه شده است. شیرهای بخار در منحنی حرارتی واحدها ایجاد اشکال گنبدی شکل می‌کند و در دهه‌های اخیر با در نظر گرفتن

آلودگی، تابع هدف مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های چند ناحیه‌ای با رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$T = \left[\begin{aligned} &\alpha \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N F_{im}(P_{im}) \\ &+ \omega \times (1-\alpha) \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N E_{im}(P_{im}) \end{aligned} \right] \quad (4)$$

$$+ \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N f_{jk} P_{T_k}$$

فلوی عبوری از خط ارتباطی از ناحیه J ام به ناحیه k ام، f_{jk} ضرایب هزینه انتقال که وابسته به P_{T_k} است N تعداد واحد در هر ناحیه است. T هزینه کل بر حسب $(\$/h)$ و $0 \leq \alpha \leq 1$ ثابت ω ضریبی است که در آلودگی (ton/h) ضرب می‌شود تا منحنی هزینه T بر حسب $(\$/h)$ بدست آید. زمانی که α برابر با عدد ۱ است تابع مصالحه، تبدیل به مسئله توزیع اقتصادی بار می‌شود و زمانی که α صفر است تابع مصالحه تبدیل به مسئله توزیع بار با هدف کاهش جریمه آلودگی صرف می‌شود.

۲-۱- محدودیت توازن قدرت ناحیه‌ای

قید توازن قدرت ناحیه‌ای با در نظر گرفتن تلفات به صورت نشان داده شده در (۵) تعریف می‌شود:

$$\sum_{i=1}^N P_{im} = P_{dm} + P_{Lm} + \sum_{k \neq m}^{k=1} P_{T_{mk}} \quad \text{for } m=1,2,\dots,M \quad (5)$$

P_{dm} مقدار بار مورد نیاز در ناحیه m ام، P_{Lm} بار کل مورد تقاضای سیستم قدرت در ناحیه‌ای m ام و $P_{T_{mk}}$ تلفات سیستم قدرت در ناحیه‌ای m ام است. M کل نواحی که در یک سیستم قدرت موجود است.

۲-۲- محدودیت ظرفیت تولید

توان خروجی از واحدها که تخصیص یافته شده باید در محدوده بالایی و پایینی از توان حقیقی تولیدکننده‌اش باشد و می‌تواند به صورت رابطه (۶) نشان داده شود.

$$P_{im}^{\min} \leq P_{im} \leq P_{im}^{\max} \quad i = 1,2,\dots,N \quad (6)$$

۲-۳- محدودیت حد نرخ شیب

با در نظر گرفتن قید نرخ شیب، بازه عملکرد واحدها در هر دوره زمانی به وسیله حد نرخ شیب محدود می‌شود و در نتیجه توان اکتیو خروجی از واحد باید قیود (۷)-(۸) را برآورده نماید.

$$P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad (7)$$

$$P_i^0 - P_i \leq DR_i \quad (8)$$

P_i^0 نقطه عملکرد واحد i ام در دوره قبل (معمولاً ساعت قبل) می‌باشد. UR_i و DR_i به ترتیب محدوده‌های نرخ افزایشی^۱ و نرخ کاهش^۲ از واحد i ام است. اگر تولید نسبت به نقطه کار قبل کاهش داشته باشد از رابطه (۸) برای در نظر گرفتن حد نرخ شیب استفاده می‌شود و اگر تولید نسبت به نقطه کار قبل افزایش داشته باشد از رابطه (۷) برای در نظر گرفتن حد نرخ شیب استفاده می‌شود. از ترکیب روابط (۵)-(۸)، محدوده توان خروجی به صورت نشان داده شده در (۹) بدست می‌آید:

$$\max(P_i^{\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (9)$$

۲-۴- محدودیت نقاط ممنوعه کاری واحدها

در عمل، محدودیت‌های عملکرد فیزیکی مانند نقص در توربین یا تجهیزات اضطراری وابسته از قبیل بویلر، پمپ‌های تغذیه و غیره، ژنراتورها می‌توانند نواحی ممنوعه کاری داشته باشند که بهره‌برداری در این نواحی امکان دارد نوسانات تکیه‌گاه شفت را تقویت نموده و صدمه جدی بر آن وارد نماید. یک واحد با نواحی ممنوعه کاری^۳ (POZ) دارای مشخصه ورودی-خروجی گسسته است [۱۶]. برای واحد i ام با نواحی ممنوعه کاری، نواحی بهره‌برداری به صورت (۱۰) می‌تواند توصیف شود.

¹ Ramp Up

² Ramp Down

³ Prohibited operating zone

می‌شوند. اگر فلوی عبوری از خطوط انتقال ارتباطی از ناحیه z ام به ناحیه k ام باشد، مقدار فلوی عبوری به صورت مثبت در نظر گرفته می‌شود و اگر فلوی عبوری از خطوط انتقال ارتباطی از ناحیه k ام به ناحیه z ام باشد، مقدار فلوی عبوری به صورت منفی در نظر گرفته می‌شود. تعداد عناصر در جمعیت اولیه برابر با N واحد ژنراتوری فعال در M ناحیه به اضافه تمام خطوط انتقال ارتباطی که بین M نواحی وجود دارد.

هر فرد از جمعیت بیانگر یک جواب محتمل در مسئله است که به صورت آرایه‌ای برداری به صورت رابطه (۱۳) بیان شود.

$$P_i = \left[\begin{array}{c} (P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1N_1}) \\ (P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2N_2}) \\ \dots \\ (P_{M1}, P_{M2}, \dots, P_{MN}) \end{array} \right] \quad (13)$$

$i = 1, 2, \dots, N_{pop}$

۳- الگوریتم بهینه سازی پرنده فاخته

در شکل (۱) فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی فاخته رسم شده است و با توجه به شکل (۱) می‌توان گام‌های اصلی الگوریتم COA را به صورت زیر دسته‌بندی کرد.

گام ۱: مشخص کردن مکان‌های سکونت فعلی فاخته‌ها به صورت تصادفی تعیین شود.

گام ۲: به هر فاخته تعدادی تخم تعلق یابد.

گام ۳: تعیین شدن شعاع تخمگذاری هر فاخته.

گام ۴: تخمگذاری فاخته‌ها در لانه پرندگان میزبان درون شعاع تخمگذاری.

گام ۵: از بین رفتن تخم‌های شناسایی شده توسط پرنده میزبان.

گام ۶: پرورش تخم‌های شناسایی نشد.

گام ۷: ارزیابی محل سکونت فاخته‌های جدید.

گام ۸: مشخص نمودن بیشترین تعداد فاخته‌ای که امکان زندگی در هر مکان را دارند و از بین بردن آن دسته از فاخته‌ها که در مکان نامناسب زیست می‌کنند.

گام ۹: دسته‌بندی فاخته‌ها به روش k -means و مشخص نمودن بهترین گروه فاخته به عنوان مکان سکونت هدف.

$$\begin{cases} P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i,1}^{LB} \\ P_{i,j-1}^{LB} \leq P_i \leq P_{i,j}^{UB} & j = 1, 2, 3, \dots, NP_i \\ P_{i,j}^{UB} \leq P_i \leq P_i^{\max} & j = NP_i \end{cases} \quad (10)$$

$P_{i,j}^{UB}$ و $P_{i,j}^{LB}$ به ترتیب مرزهای پایین و بالایی از J امین ناحیه ممنوعه کاری واحد i ام می‌باشد. NP_i تعداد نواحی ممنوعه کاری واحد i ام می‌باشد.

۲-۵- محدودیت توان منتقله از خطوط ارتباطی بین نواحی

فلوی عبوری از خطوط ارتباطی از ناحیه z به ناحیه k باید در محدوده از ظرفیت پایینی و بالایی آن خط ارتباطی باشد.

$$P_{T_{jk}}^{\min} \leq P_{T_{jk}} \leq P_{T_{jk}}^{\max} \quad (11)$$

$P_{T_{jk}}^{\max}$ و $P_{T_{jk}}^{\min}$ کمترین و بیشترین فلوی عبوری از خطوط ارتباطی از ناحیه z به ناحیه k است.

۲-۶- محدودیت ایمنی شبکه

برای اطمینان از عملکرد ایمن سیستم‌های قدرت، قید توان عبوری از خطوط (S_{lv}) به صورت زیر اعمال می‌شود:

$$S_{lv} \leq S_{lv}^{\max} \quad v = 1, 2, \dots, NL \quad (12)$$

۲-۷- روش حل

برای حل مسئله مذکور با الگوریتم‌های جستجوی تصادفی، جمعیت اولیه شامل ترکیبی از کاندیدای توان اکتیو خروجی تخصیص یافته به مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی و فلوی عبوری از خطوط انتقال ارتباطی بین نواحی است که تمام قیود را برآورده می‌نماید. المان‌های جمعیت اولیه شامل توان خروجی از واحدهای تولید کننده قدرت است که به صورت تصادفی داخل بازه $[P_{im}^{\min}, P_{im}^{\max}]$ انتخاب می‌شوند و دسته دیگر فلوی عبوری از خطوط انتقال ارتباطی بین ناحیه z ام و k ام است که به طور تصادفی در بازه $[P_{T_{jk}}^{\min}, P_{T_{jk}}^{\max}]$ انتخاب

۳-۱- تولید محل‌های سکونت اولیه فاخته‌ها (جمعیت اولیه جواب‌های کاندید)

برای حل یک مسئله، باید مقادیر متغیرهای مسئله به شکل یک آرایه شکل گیرد و بعنوان هابیت^۱ یا محل سکونت شناخته شوند. در یک مسئله بهینه‌سازی N_{var} بُعدی یک هابیت به صورت نشان داده شده قابل تعریف است.

$$Habitat = [x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}] \quad (14)$$

میزان مناسب بودن (یا مقدار سود) در هابیتیت فعلی با ارزیابی تابع سود f_p در هابیتیت به دست می‌آید

$$profit = f_p(habitat) = f_p(x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}) \quad (15)$$

برای استفاده از COA در حل مسائل کمینه‌سازی کافی است یک علامت منفی در تابع هزینه ضرب شود. برای هر کدام از این هابیتیت‌ها تعدادی تخم تخصیص می‌یابد. در طبیعت هر فاخته بین ۵ تا ۲۰ عدد تخم در دامنه‌ای مشخص می‌گذارد. این اعداد به عنوان حد بالا و پایین تخصیص تخم به هر فاخته در تکرارهای مختلف استفاده می‌شود. حداکثر دامنه تخمگذاری (ELR) متناسب است با تعداد کل تخم‌ها، تعداد تخم‌های فعلی فاخته و همچنین حد بالا و پایین متغیرهای مسئله. بنابر این ELR به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود.

$$ELR = \sigma \times \frac{\text{Number of current cuckoos eggs}}{\text{Total number of eggs}} \quad (16)$$

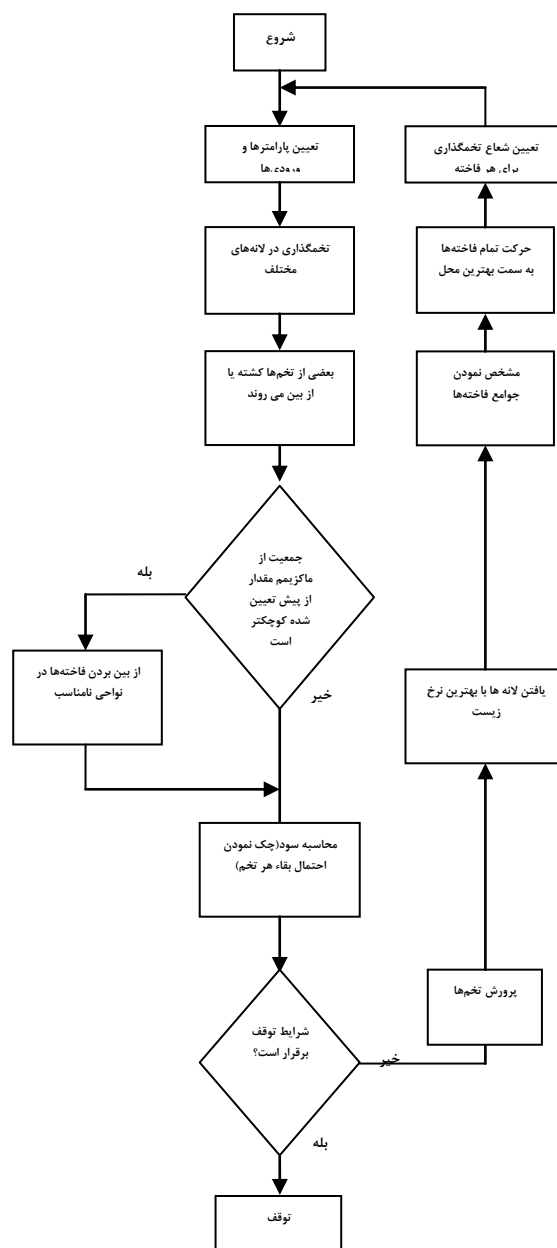
$$\times (\text{var}_{hi} - \text{var}_{low})$$

σ ضریب تنظیم حداکثر شعاع ELR است.

هر فاخته به صورت تصادفی تخم‌هایی را در لانه پرنده‌گان میزبان که در ELR خود قرار دارد، می‌گذارد. شکل (۲) شعاع تخمگذاری برای هر فاخته نشان می‌دهد. بعد از هر تخمگذاری $P\%$ از تمام تخم‌ها (معمولاً ۱۰٪) که مقدار تابع سود آنها کمتر است نابود می‌شوند.

گام ۱۰: حرکت کردن جمعیت جدید فاخته‌ها به سمت مکان هدف.

گام ۱۱: چک کردن شرایط توقف و در صورت عدم برقراری شرایط توقف رفتن به گام ۲



شکل (۱): فلوجارت الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

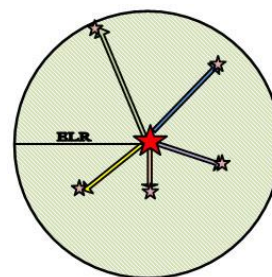
¹ Habitat

فرمول عملگر مهاجرت در الگوریتم بهینه‌سازی فاخته به صورت رابطه (۱۷) بیان شده است:

$$X_{NextHabitat} = X_{CurrentHabitat} + F \times (X_{GoalPoint} - X_{CurrentHabitat}) \quad (17)$$

F پارامتری است که باعث انحراف می‌شود.

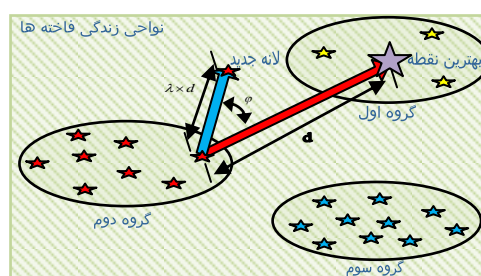
برای ایجاد تعادلی بین پرنده فاخته با دیگر پرندگان، آستانه N_{max} تعریف می‌شود تا هرگاه تعداد فاخته‌ها بیشتر از این آستانه شود، تعدادی از فاخته‌ها که در مناطق نامناسب زندگی می‌کنند نابود شوند.



شکل (۲): شعاع تخمگذاری فاخته‌ها، ستاره قرمز در وسط دایره محل سکونت فعلی فاخته با ۵ تخم می‌باشد: ستاره‌های صورتی آشیانه‌های جدید تخم‌ها هستند.

۳-۲- تعیین نواحی زندگی برای مهاجرت فاخته‌ها

گروه‌بندی فاخته‌ها توسط روش کلاس‌بندی K -means انجام می‌شود (یک k بین ۳ تا ۵ معمولاً کفایت می‌کند). سود میانگین گروه محاسبه می‌شود تا بهینه‌گی نسبی محل زیست آن گروه به دست‌آید. سپس گروهی که دارای بیشترین مقدار متوسط سود (بهینه‌گی) می‌باشد، به عنوان گروه هدف انتخاب شده و گروه‌های دیگر به سمت آن مهاجرت می‌کنند. نحوه مهاجرت فاخته‌ها در شکل (۳) به وضوح مشاهده می‌شود. همانطور که از شکل معلوم است هر فاخته فقط $\delta\%$ از کل مسیر را به سمت هدف ایده‌آل فعلی طی می‌کند و یک انحراف φ نیز دارد.



شکل (۳): مهاجرت فاخته‌ها به سمت بهترین نقطه

۳-۳- همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته

پس از چند تکرار تمام جمعیت فاخته‌ها به یک نقطه بهینه با حداکثر شباهت تخم‌های پرندگان میزبان و همچنین به محل بیشترین منابع غذایی می‌رسند. این محل بیشترین سود کلی را خواهد داشت و در آن کمترین تعداد تخم‌ها از بین خواهد رفت.

۴- نتایج عددی

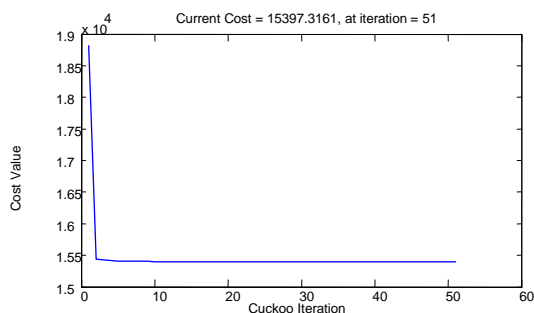
این بخش شامل دو قسمت است. قسمت اول شامل مسئله توزیع بار اقتصادی و مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی بدون قید ایمنی و مقید به قیود ایمنی در شبکه‌های تک ناحیه‌ای می‌شود و در قسمت دوم مسئله توزیع بار اقتصادی و مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های قدرت دو ناحیه‌ای به کمک الگوریتم بهینه‌سازی فاخته و در نرم افزار متلب^۱ ۷/۸ حل می‌شود.

۴-۱- سیستم‌های نمونه استاندارد و نتایج عددی در سیستم‌های قدرت تک ناحیه‌ای.

در این قسمت مسائل توزیع بار اقتصادی، توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی بدون قیود ایمنی و

این دو پارامتر به فاخته کمک می‌کند تا محیط بیشتری را جستجو کنند. δ عددی تصادفی بین بازه $[0,1]$ است و φ عددی در بازه $[-\pi/6, \pi/6]$ می‌باشد. وقتی تمام فاخته‌ها به سمت نقطه هدف مهاجرت کردند و نقاط سکونت جدید هر کدام مشخص شد، هر فاخته صاحب تعدادی تخم می‌شود. با توجه به تعداد تخم هر فاخته یک ELR برای آن مشخص می‌شود و سپس تخمگذاری شروع می‌گردد.

¹ Matlab 7.8.0(R2009a)



شکل(۴): منحنی جواب همگرایی سیستم نمونه مورد اول

ب) مورد دوم

یکی دیگر از مسئله توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های قدرت تک ناحیه‌ای که توانایی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را نشان می‌دهد سیستم نمونه ۱۰ واحده است. اطلاعات سیستم قدرت نمونه ۱۰ واحده با در نظر گرفتن اثر شیرهای بخار و چند سوختی بودن واحدها در تابع هدف سوخت در [۱۹] داده شده است. کل بار مورد تقاضای سیستم قدرت برابر ۲۷۰۰ مگاوات می‌باشد همچنین تلفات شبکه، حد نرخ شیب، نقاط ممنوعه کاری و تابع آلودگی در نظر گرفته نشده است. جدول (۲) بهترین هزینه بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را نشان می‌دهد. برای مقایسه نتایج چندین روشی را که اخیراً در این سیستم بدست آمده نیز در این جدول بیان شده است. نتایج عددی بیان می‌کند که الگوریتم بهینه‌سازی فاخته می‌تواند یک هزینه تولید بسیار بی نقصی را نسبت به دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی بدست آورد.

جدول(۲): نتایج عددی سیستم نمونه مورد دوم

Algorithm	Results
[۲۱]CGA-MU	۶۲۴/۷۱۹۳
[۳۳]IGA-MU	۶۲۴/۵۱۷۸
[۳۳]DE	۶۲۴/۵۱۴۶
[۳۳]RGA	۶۲۴/۵۰۸۱
[۳۲]PSO	۶۲۴/۵۰۷۴
[۳۱]PSO-LRS	۶۲۴/۲۲۹۷
[۳۱]NPSO	۶۲۴/۱۶۲۴
[۳۱]NIPSO-LRS	۶۲۴/۱۲۷۳
[۱۶]RCGA	۶۲۳/۸۲۸۱
COA	۶۲۳/۷۵۳۸

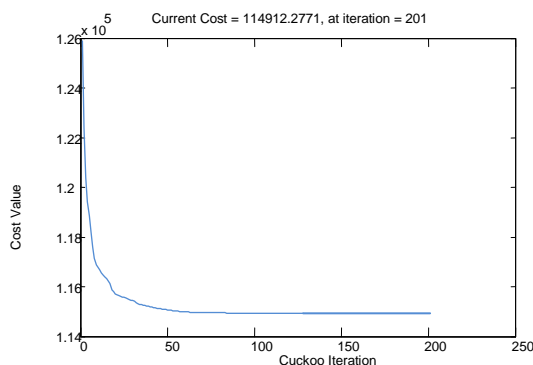
مقید به قیود ایمنی در سیستم‌های تک ناحیه‌ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

الف) مورد اول

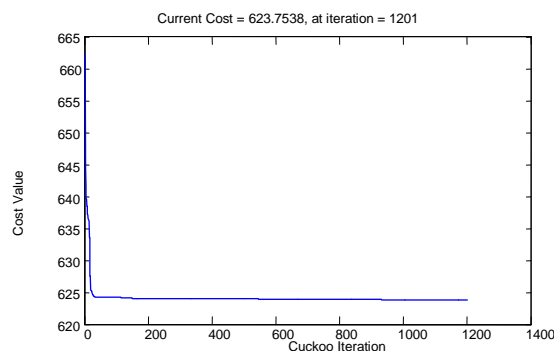
این سیستم شامل شش واحد حرارتی، بیست و شش باس و چهل و شش خط انتقال در قالب یک سیستم تک ناحیه‌ای است [۱۶]. بار مورد تقاضای سیستم ۱۲۶۳ مگاوات است. اطلاعات اصلی سیستم قدرت از قبیل ضرایب هزینه سوخت با در نظر گرفتن تابع آلودگی واحدها، محدوده بالایی و پایینی توان خروجی از واحدها، حدود نرخ شیب و توان خروجی واحدها در ساعت قبل و نواحی ممنوعه کاری واحدها در [۱۷] قابل دسترسی است. در این سیستم واحدها دو ناحیه ممنوعه کاری دارند و از تابع آلودگی صرف نظر شده است. B ثابت تلفات تابع کرون در [۱۸] بیان شده است. جدول (۱) مقایسه بین بهترین جواب الگوریتم بهینه‌سازی فاخته با دیگر الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۴) منحنی جواب همگرایی الگوریتم پیشنهادی را در رسیدن به جواب بهینه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهاد شده نسبت به دیگر الگوریتم‌ها در تولید کردن جواب بهینه‌ای با کیفیت بیشتر، توانمندتر است.

جدول(۱): نتایج عددی سیستم نمونه مورد اول

Algorithm	Results
[۲۵]EHM	۱۵۴۴۱/۵۹۷۴
[۲۶]NCS	۱۵۴۴۷/۰۰۰۰
[۲۷]BCO	۱۵۴۵۰/۰۳۱۰
[۲۸]GA	۱۴۵۹/۰۰۰۰
[۳۰]PSO	۱۵۴۵۰/۰۰۰۰
[۲۹]APSO	۱۵۴۴۲/۵۷۱۰
COA	۱۵۳۹۷/۳۱۶۱



شکل (۶): منحنی جواب همگرایی سیستم نمونه مورد سوم



شکل (۵): منحنی جواب همگرایی سیستم نمونه مورد دوم

پ) مورد سوم

سیستم دارای ۴۰ واحد ژنراتوری است این سیستم قدرت واقعی ابعاد بزرگ و تک ناحیه‌ای است که بار کل مورد تقاضای ۸۵۵۰ مگاوات را تعیین می‌کند. مشخصات و ثابت‌های هزینه سوخت چند جمله‌ای درجه دو و قیود تولید برای واحدهای تولیدی را می‌توان در [۲۰] یافت. اما از اثر شیرهای بخار، تلفات، حد نرخ شیب، نقاط ممنوعه کاری ژنراتورها و تابع آلودگی در این سیستم صرف نظر شده است.

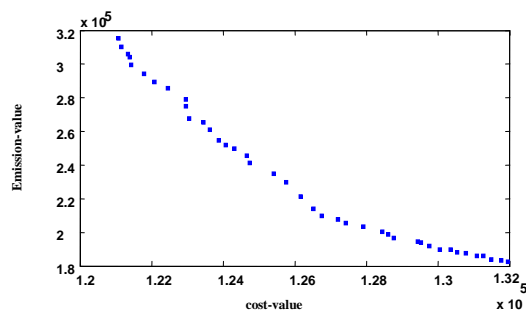
نتایج الگوریتم COA به همراه نتایج دیگر الگوریتم‌ها در جدول (۳) ذکر شده است. این جدول یک مقایسه‌ای از مقادیر هزینه بدست آمده از الگوریتم پیشنهاد شده با دیگر الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد و ارتقاء کیفیت جواب‌های بدست آمده که پیدا کردن جواب بهینه بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های آزمایش شده بر روی این سیستم در مسئله توزیع بار اقتصادی است را به اثبات می‌رساند.

جدول (۳): نتایج عددی سیستم نمونه مورد سوم

Algorithm	Results
[۳۰]IPSO	۱۱۶۹۴۳/۰۰۰۰
[۳۵,۳۶]PSO	۱۲۱۴۳/۰۰۰۰
[۳۵,۳۷]GA	۱۳۵۰۷۰/۰۰۰۰
COA	۱۱۴۹۱/۲۷۷۱

ت) مورد چهارم

مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم نمونه ۴۰ واحده که شامل اثر شیرهای بخار در تابع هزینه سوخت با قید محدوده توان اکتیو خروجی آزمایش شد. اطلاعات ورودی برای ۴۰ واحد ژنراتوری در [۲۱] داده شده است و ثابت‌های نشر آلودگی در [۲۲] بیان شده‌اند. کل بار مورد تقاضای سیستم ۱۰۵۰۰ مگاوات در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن دو نقطه نهایی در منحنی مصالحه، تابع هدف شامل هزینه سوخت صرف و جریمه آلودگی صرف می‌شود که با ضرایب وزنی به ترتیب $\alpha=1$ و $\alpha=0$ بدست می‌آیند. بهترین هزینه سوخت و کمترین نشر آلودگی برای سیستم قدرت ۴۰ واحده بدون تلفات سیستم با به کارگیری الگوریتم پیشنهادی به ترتیب $121015/98/h$ و $t o/h$ می‌باشند که دو نقطه نهایی منحنی مصالحه‌ای که در شکل (۹) نشان داده شده را تشکیل می‌دهند. با تغییرات ضریب وزنی α منحنی مصالحه بدست می‌آید. در این تحقیق ضریب وزنی α با گام‌های $0/025$ به تعداد ۴۱ نقطه تغییر داده شده است و منحنی مصالحه متناظر با این ضرایب وزنی بین توابع هزینه سوخت و تابع جریمه آلودگی در شکل (۹) نشان داده شده است. جدول (۴) مقایسه‌ای از الگوریتم پیشنهاد شده را با دیگر الگوریتم‌ها نشان می‌دهد که حاکی از توانمندی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در پیدا کردن جواب بهینه نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد.



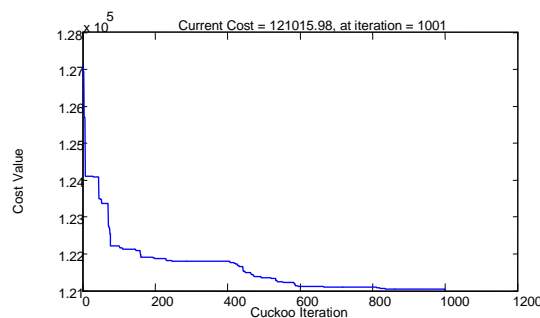
شکل (۹): منحنی مصالحه بین هزینه سوخت و تابع جریمه آلودگی در سیستم نمونه مورد چهارم

ث) مورد پنجم

سیستم نمونه استاندارد دارای ۶ ژنراتور و ۳۰ باس با ۴۱ خط انتقال، سیستم قدرتی است که برای حل توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی تحت قیود ایمنی با الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در این قسمت در نظر گرفته شده است. مقادیر ضرایب هزینه سوخت و نشر آلودگی در [۲۳] و اطلاعات مربوط به خطوط انتقال و باس های سیستم در [۲۴]، داده شده اند. بار مورد تقاضای سیستم برابر ۲۸۳/۴ مگاوات است. در این سیستم علاوه بر در نظر گرفتن فلوی عبوری از خطوط به عنوان قید ایمنی در مسئله قیودی چون دامنه ولتاژ واحد ها و توان راکتیو تزریقی واحد ها نیز در نظر گرفته شده است. همچنین برای حل قید توازن قدرت با در نظر گرفتن تلفات شبکه از حل معادلات توازن قدرت گرهی با روش نیوتن-رافسون استفاده شده است. برای بدست آوردن دو نقطه نهایی در منحنی مصالحه، تابع هدف شامل مسئله توزیع بار اقتصادی و همچنین مسئله توزیع بار با هدف کاهش جریمه آلودگی صرف می‌شود که از ضرایب وزنی به ترتیب $\alpha=0$ و $\alpha=1$ حاصل می‌شود. بهترین هزینه سوخت و کمترین جریمه نشر آلودگی برای سیستم قدرت ۶ واحدی بدون تلفات سیستم با به کارگیری الگوریتم پیشنهادی به ترتیب $605/3 \$/h$ و $0.1942 ton/h$ می‌باشند که دو نقطه نهایی منحنی مصالحه‌ای را در شکل (۱۰) تشکیل می‌دهند.

جدول (۴): نتایج عددی سیستم نمونه مورد چهارم: کمینه کردن

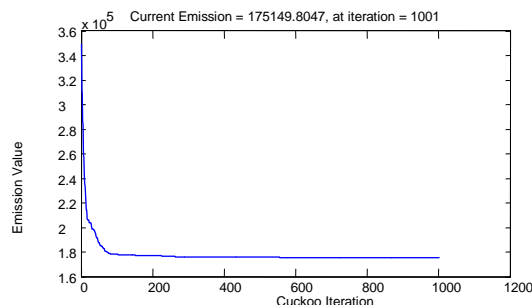
هزینه سوخت	
Algorithm	Results
[۳۷]HDE	۱۲۱۸۱۳/۲۶۰۰
[۳۸]DEC(2)-SQP	۱۲۱۷۷۱/۹۷۰۰
[۳۹]PSO	۱۲۱۷۳۵/۴۷
[۲۹]APSO(1)	۱۲۱۷۰۴/۷۳۰۰
[۳۷]ST-HDE	۱۲۱۶۹۸/۵۱۰۰
[۱۵]NPSO-LRS	۱۲۱۶۶۴/۴۳۰۰
[۳۹]APSO(2)	۱۲۱۶۶۱/۵۲۰۰
[۴۰]SOHPSO	۱۲۱۵۰۱/۱۴۰۰
[۴۱]BF	۱۲۱۴۲۳/۶۳۰۰
[۴۲]MDE	۱۲۱۴۱۴/۷۹۰۰
COA	۱۲۱۰۱۵/۹۸۰۰



شکل (۷): منحنی جواب همگرایی سیستم نمونه مورد چهارم، کمینه کردن هزینه سوخت

جدول (۵): نتایج عددی سیستم نمونه مورد چهارم: کمینه کردن

جریمه آلودگی	
Algorithm	Results
[۷]MBFA	۱۷۶۶۸۲/۲۶۹
COA	۱۷۵۱۴۹/۸۰۴۷



شکل (۸): منحنی جواب همگرایی سیستم نمونه مورد چهارم، کمینه کردن جریمه آلودگی

۴-۲- سیستم‌های نمونه استاندارد و نتایج عددی در سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای.

در این قسمت مسائل توزیع اقتصادی بار و توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های دو ناحیه‌ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این بخش از هزینه انتقال توان اکتیو در خطوط ارتباطی بین نواحی صرفه نظر شده‌است.

الف) مورد اول

سیستم قدرتی با ۴ ژنراتور در دو ناحیه در [۲۵] بیان شده است. مقدار باری که در ناحیه اول قرار گرفته است برابر با ۷۰٪ از کل بار مورد تقاضای کل است و کل بار مصرفی ناحیه دوم برابر با ۳۰٪ کل بار سیستم می‌باشد. کل بار مصرفی و ظرفیت توان منتقله از خط انتقال ارتباطی به ترتیب برابر با ۱۱۲۰ مگاوات و ۲۰۰ مگاوات می‌باشد. ضرایب هزینه سوخت بدون در نظر گرفتن اثر شیرهای بخار و محدوده توان اکتیو قابل تولید در [۲۶]، بیان شده‌اند. مرجع [۱۱]، کمترین هزینه سوخت بدست آمده از سیستم را $1.0574 \text{ \$/h}$ گزارش کرده است در صورتی که نتایج توان اکتیو خروج تخصیص یافته در این مرجع قید توازن قدرت ناحیه‌ای را نقض می‌کند.

جدول (۸): نتایج عددی مورد اول، سیستم نمونه ۴ واحدی و

دو ناحیه‌ای

Algorithm	Results
[۱۱]CMAES	۱.۰۵۷۴/۰.۰۰۰
[۲۳]HNN	۱.۰۶۰۵/۰.۰۰۰
[۴۴]DSM	۱.۰۶۰۵/۰.۰۰۰
[۴۵]All DE variants	۱.۰۶۰۴/۶۷۴۰
[۴۵] PSO-TVAC	۱.۰۶۰۴/۶۷۸۱
COA	۱.۰۶۰۳/۹۵۹۶

توانمندی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته پیشنهاد شده برای حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های تکاملی در جدول (۶-۷) نشان داده شده‌است. همچنین منحنی مصالحه بین هزینه و نشر آلودگی در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۶): نتایج عددی سیستم نمونه مورد پنجم: کمینه‌کردن

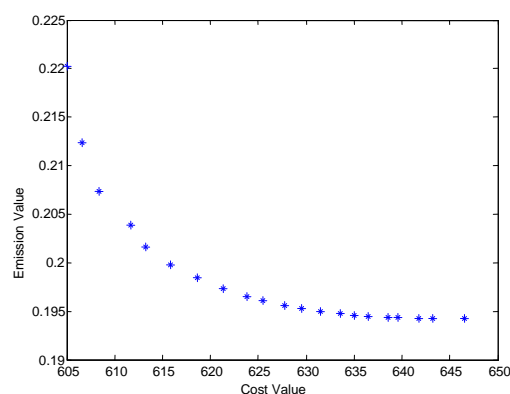
هزینه سوخت

Algorithm	Cost	Emission
[۴۳]SPEA	۶۰۷/۸۶۰۰	۰/۲۱۷۶
[۴۴]NPGA	۶۰۸/۰۶۰۰	۰/۲۲۰۷
[۲۲]NSGA	۶۰۷/۹۸۰۰	۰/۲۱۹۱
[۴۵]MOPSO	۶۰۷/۷۹۰۰	۰/۲۱۹۳
[۲۲]MOICA	۶۰۶/۸۱۷	۰/۲۱۹۵
COA	۶۰۵/۳۰۰۰	۰/۲۱۴۳

جدول (۷): نتایج عددی سیستم نمونه مورد پنجم: کمینه‌کردن

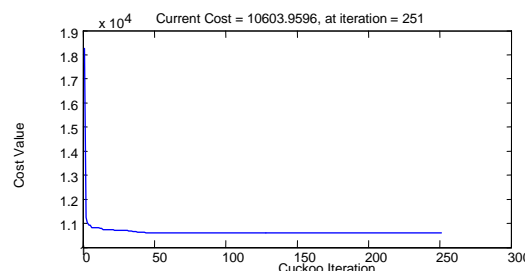
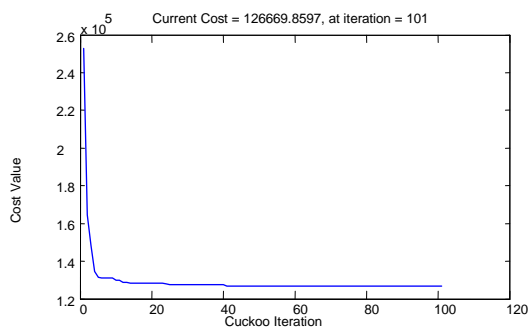
جریمه آلودگی

Algorithm	Cost	Emission
[۴۳]SPEA	۶۴۴/۷۷۰۰	۰/۱۹۴۳
[۴۴]NPGA	۶۴۴/۲۳۰۰	۰/۱۹۴۳
[۲۲]NSGA	۶۳۸/۹۸۰۰	۰/۱۹۴۷
[۴۵]MOPSO	۶۴۴/۷۴۰۰	۰/۱۹۴۲
[۲۲]MOICA	۶۴۲/۸۷۸۰	۰/۱۹۴۲
COA	۶۴۶/۲۰۰۰	۰/۱۹۴۲



شکل (۱۰): منحنی مصالحه بین هزینه سوخت و تابع جریمه

آلودگی در سیستم نمونه مورد پنجم



شکل (۱۱): منحنی جواب همگرایی از سیستم دو ناحیه‌ای

نمونه اول، سیستم ۴ واحدی و دو ناحیه‌ای

ب) مورد دوم

برای نشان دادن توانمندی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم قدرت با ابعاد بزرگ با قیود حد نرخ شیب، نقاط ممنوعه کاری، اثرشیرهای بخار و دو ناحیه‌ای با قید خط انتقال ارتباطی آزمایش شد. فرض شده‌است که سیستم به دو ناحیه تقسیم شده‌است. بیست واحد ژنراتوری اول در ناحیه اول قرار گرفته‌اند و بیست واحد باقی مانده در ناحیه دیگر قرار دارند. کل بار مورد تقاضای سیستم قدرت برابر با ۱۰۵۰۰ مگاوات می‌باشد که ۷۵۰۰ مگاوات از کل بار در ناحیه اول مصرف می‌شود و بار ناحیه دوم ۳۰۰۰ مگاوات می‌باشد. همچنین ظرفیت فلوی عبوری از خط ارتباطی برابر ۲۰۰۰ مگاوات می‌باشد. اطلاعات مربوط به ضرایب هزینه سوخت و نشر آلودگی در [۲۲، ۲۱] و در [۳۸] نقاط ممنوعه کاری و توان‌های اکتیو تخصیص یافته در ساعت قبل به واحدهای ژنراتوری سیستم بیان شده‌است.

جدول (۹): نتایج عددی کمینه هزینه سوخت در سیستم نمونه مورد دوم، سیستم نمونه ۴۰ واحدی و دو ناحیه‌ای

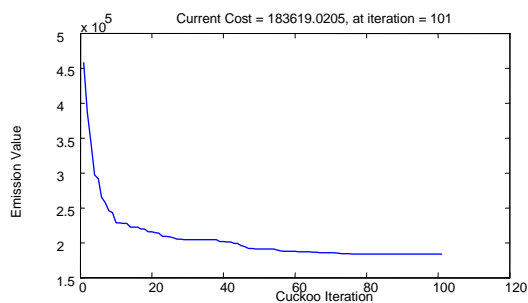
Algorithm	Results
[۴۶]DEC1	۱۲۷۸۱۵/۱۳۴۱
[۴۶]DEC2	۱۲۷۷۴۵/۵۲۴۱
[۴۶]DEC3	۱۲۷۸۱۵/۲۰۵۸
[۴۶]TVM-DE	۱۲۷۹۶۴/۲۴۰۸
[۴۶]DE	۱۲۷۸۸۱/۰۹۸۹
[۴۶]TVCR1	۱۲۷۸۲۵/۲۰۵۸
[۴۶]TVCR2	۱۲۷۹۶۹/۱۱۹۹
[۴۶]TVCR3	۱۲۷۷۴۴/۶۴۳۳
[۴۶]TVDE	۱۲۷۷۴۶/۱۵۴۵
[۴۶]PSO-TVAC	۱۲۷۷۴۴/۵۶۰۹
[۴۶]PSO	۱۲۹۰۴۵/۱۰۴۹
COA	۱۲۶۶۶۹/۸۵۹۷

شکل (۱۲): منحنی جواب همگرایی از سیستم دو ناحیه‌ای نمونه دوم، سیستم بزرگ ۴۰ واحدی با هدف کاهش هزینه سوخت

جواب بدست آمده از اعمال الگوریتم پیشنهادی در حل مسئله توزیع بار با هدف کاهش آلودگی صرف در جدول (۱۰) با دیگر الگوریتم‌ها مقایسه شده و توانمندی الگوریتم پیشنهادی در یافتن جواب بهینه به اثبات رسیده است.

جدول (۱۰): نتایج عددی کمینه جریمه آلودگی در سیستم نمونه مورد دوم، سیستم ۴۰ واحدی و دو ناحیه‌ای

Algorithm	Results
[۴۷]GA	۲۰۴۱۸۳/۸۰۹۶
[۱۸]PSO	۱۹۱۱۲۲/۳۷۸۶
[۴۸]DE	۱۸۷۲۵۷/۱۰۸۰
COA	۱۸۳۶۱۹/۹۷۴۵



شکل (۱۳): منحنی جواب همگرایی کمینه جریمه آلودگی از سیستم دو ناحیه‌ای نمونه مورد دوم، سیستم ۴۰ واحدی و دو ناحیه‌ای

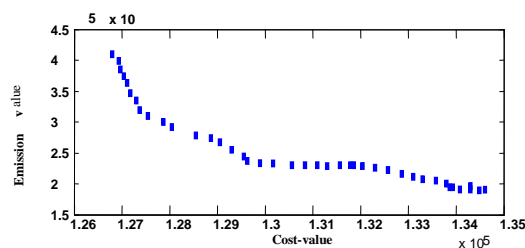
شکل (۱۴) نمودار مصالحه را بین دو بین دو اهداف هزینه سوخت و جریمه آلودگی را نشان می‌دهد. نمودار مصالحه از تعداد ۴۱ ضرایب وزنی که از بازه [0,1] انتخاب شده‌اند به دست آمده است.

parameter	Best
Number Cuckoos=11	۱۵۳۹۷/۳۱۶۳
Min Number of Eggs=6	۱۵۳۹۷/۳۱۶۱
Max Number of Eggs=25	۱۵۳۹۷/۳۱۶۱
Max Iteration=60	۱۵۳۹۷/۳۱۶۱
K-cluster Number=4	۱۵۳۹۷/۳۱۶۵
Motion Coeff=3	۱۵۳۹۷/۳۲۸۳
Max Number of Cuckoos=80	۱۵۳۹۷/۳۱۶۲
Radius Coeff=3	۱۵۳۹۷,۳۱۶۱

Number Cuckoos: تعداد جمعیت اولیه از پرنده‌های
 ساخته. Min Number of Eggs: کمترین حد تعداد
 تخم‌گذاری برای هر پرنده ساخته. Max Number of
 Eggs: بیشترین حد تعداد تخم‌گذاری برای هر پرنده
 ساخته. Max Iteration: بیشترین حد تکرار الگوریتم
 بهینه‌سازی ساخته. K-cluster Number: تعداد گروه‌هایی
 که پرنده ساخته دسته بندی می‌شوند. Motion
 Coeff: متغیر لاندرا در الگوریتم COA.
 Max Number of Cuckoos: بیشترین تعداد پرنده
 ساخته‌ایی که در زمان خاص می‌توانند زنده بمانند.
 Radius Coeff: پارامتر کنترلی که محدوده تخم‌گذاری را
 برای هر پرنده ساخته مشخص می‌کند.
 الگوریتم COA پیشنهادی از حساسیت کمی نسبت به
 پارامترهای قابل تنظیم آن دارد و این امر در جدول‌های
 (۱۱-۱۲) نشان داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی ساخته برای حل مسئله
 توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در
 سیستم‌های قدرت دو ناحیه‌ای با قیود مختلف پیشنهاد
 پیشنهاد شد. الگوریتم بهینه‌سازی ساخته از نوع
 تخم‌گذاری و مهاجرت دسته خاصی از پرندگان با نام
 ساخته الهام گرفته شده است و هر فرد در این الگوریتم
 لانه‌ای را در فضای جستجو دارد که می‌تواند تخم‌گذاری
 کند. در مواردی که تخم‌ها زنده می‌مانند، آنها رشد



شکل (۱۴): منحنی مصالحه بین هزینه سوخت و تابع جریمه
 آلودگی در سیستم دو ناحیه‌ای نمونه مورد دوم

۴-۳- تحلیل حساسیت

یکی از معایب اصلی الگوریتم‌های جستجوی تصادفی که
 در تحقیقات مختلف پیشنهاد می‌شود وابستگی بالای این
 الگوریتم‌ها به شمار زیاد پارامترهایی است که در این
 روش‌ها استفاده می‌شوند. از آنجا که انتخاب مناسب این
 پارامترها فرآیندی وقت‌گیر و مشکل است پایداری این
 الگوریتم‌ها در مقابل تغییرات این پارامترها از اهمیت
 ویژه‌ای برخوردار است. در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا این
 پارامترها اندکی با سعی و خطا تنظیم شده‌اند و برای
 بررسی پایداری الگوریتم COA پیشنهادی، پارامترهای
 الگوریتم حول مقادیر تنظیم شده اولیه شان تغییرات
 کوچکی داده شده‌اند و الگوریتم برای سیستم نمونه اول
 اجرا شد. نتایج برای سیستم نمونه اول در جدول‌های (۱۱-
 ۱۲) آمده است.

جدول (۱۱): نتایج تحلیل حساسیت برای سیستم نمونه اول به
 ازای کاهش ۱۰٪ پارامترهای کنترلی الگوریتم پیشنهادی

parameter	Best
Number Cuckoos=9	۱۵۳۹۷/۳۱۶۲
Min Number of Eggs=4	۱۵۳۹۷/۳۱۶۲
Max Number of Eggs=5	۱۵۳۹۷/۳۳۱۸
Max Iteration=40	۱۵۳۹۷/۳۴۵۲
K-cluster Number=2	۱۵۳۹۷/۳۱۷۲
Motion Coeff=1	۱۵۳۹۷/۳۲۶۲
Max Number of Cuckoos=60	۱۵۳۹۷/۳۵۵۸
Radius Coeff=1	۱۵۴۰۰/۱۴۸۹

جدول (۱۱): نتایج تحلیل حساسیت برای سیستم نمونه اول به
 ازای افزایش ۱۰٪ پارامترهای کنترلی الگوریتم پیشنهادی

استفاده شد و با دیگر الگوریتم‌های جستجوی تصادفی مقایسه شد. مقایسه انجام شده، توانمندی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را در پیدا کردن جواب بهینه بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. در نهایت الگوریتم پیشنهاد شده در حل مسئله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی با مشخصه غیر خطی، غیر صاف و گسسته در سیستم قدرت با ابعاد بزرگ و دو ناحیه‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

می‌کنند و تبدیل به فاخته بالغ می‌شوند. فاخته‌های بالغ به سمت بهترین لانه با انحرافی در مسیر مستقیم از بهترین لانه مهاجرت می‌کنند. این انحراف در مسیر، نسبت به الگوریتم‌هایی که به طور مستقیم به سمت بهترین فرد حرکت می‌کنند باعث جستجوی فضای بیشتری می‌شود. بعد از عمل مهاجرت، جمعیت فاخته‌ها در بهترین محیط جمع می‌شوند. این الگوریتم در حل مسائل توزیع بار اقتصادی و توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم‌های قدرت با قیود مختلف

مراجع

- [1] J., Nanda D.P., Khotari K.S. Lingamurthy, (1988). "Economic-Emission Load Dispatch Through Goal Programming Techniques", IEEE Transaction on Energy Conversion, vol.3, pp.26-32..
- [2] C.S, Chang A.C., Liew J.X., Xu X.W., Wang B., Fan (1996). "Dynamic Security-Constrained Multi-Objective Generation Dispatch of Longitudinally Interconnected Power Systems Using Bicriterion Global Optimization". IEEE Transaction on Power Systems vol.11, pp.1009-1016.
- [3] Y.H., Song G.S., Wang P.Y., Wang A.T., Johns, (1997). "Environmental/Economic Dispatch Using Fuzzy Logic Controlled Genetic Algorithms". IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution vol.144, pp. 377-382
- [4] T., Yalcinoz H., Altun, (2002). "Environmentally Constrained Economic Dispatch Via a Genetic Algorithm with Arithmetic Crossover". IEEE African Conference, vol. 2, , pp. 928-938.
- [5] T., Thakur K., Sem S., Saini S., Sharma, (2006). "Particle Swarm Optimization Solution to NO2 and SO2 Emissions For Environmentally Constrained Economic Dispatch Problem". IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, TDC'06, Caracas, 15-18 Au, pp. 1-5.
- [6] J., Cai X., Ma Q., Li L., Li H., Peng, (2010). "A Multi-Objective Chaotic Ant Swarm Optimization for Environmental/Economic Dispatch". International Journal of Electrical Power and Energy Systems vol.32, pp.337-344.
- [7] P.K., Hota A.K., Barisal R., Chakrabart, (2010). "Economic Emission Load Dispatch Through Fuzzy Based Bacterial Foraging Algorithm". International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol.32, pp.794-803.
- [8] A., Bhattacharya P. K., (2011). "Chattopadhyay .Solving Economic Emission Load Dispatch Problems Using Hybrid Differential Evolution". Soft Computing, vol.11, pp.2526-2537
- [9] K.W, McEntire PL, (1982). "An Analysis of Electric Power Brokerage Systems". IEEE Trans Power Apparatus Syst, vol.101(2), pp.96-389.
- [10] T., Yalcinoz MJ, Short, (1998). "Neural Networks Approach for Solving Economic Dispatch Problem with Transmission Capacity Constraints", IEEE Trans Power Syst, vol.13, pp.13-307.
- [11] P.S., Manoharan P.S., Kannan S., Baskar M., Willjuice Iruthayarajan, (2009). "Evolutionary Algorithm Solution And KKT Based Optimality Verification To Multi-Area Economic Dispatch"., Electrical Power and Energy System, vol.31, pp.365-373.
- [12] X.S., Yang S., Deb, (2009). "Cuckoo Search Via Lévy Flights", Proceedings of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, India, vol.3, pp 210-214.
- [13] X.S., Yang S., Deb, (2010). "Engineering Optimization by Cuckoo Search"., Int. J. Mathematical Modeling and Numerical Optimization., Vol. 1, pp 330-343.

- [14] R., Rajabioun, (2011). "Cuckoo Optimization Algorithm", *Soft Computing*, vol.11, pp.5508-5518.
- [15] KT., Chaturvedi Pandit M., Srivastava, (2008). "Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimization for Non-Convex Economic Dispatch", *IEEE Trans Power Syst*, vol.23, pp.1078-1087.
- [16] N., Amjady H., Nasiri-Rad, (2009). "Non-Convex Economic Dispatch With AC Constraints by a New Real Coded Genetic Algorithm", *IEEE Trans Power Syst*, vol. 24, pp.345-352
- [17] CC., Kuo, (2008). "A Novel Coding Scheme for Practical Economic Dispatch by Modified Particle Swarm Approach", *IEEE Trans Power Syst*, vol.21, pp.25-35.
- [18] ZL., Gaing, (2003). "Particle Swarm Optimization To Solving The Economic Dispatch Considering The Generator Constraints", *IEEE Trans Power Syst*, vol.18, pp.78-95.
- [19] AY., Saber S., Chakraborty SM., Abdur-Razzak T., Senju, (2009). "Optimization of Economic Load Dispatch of Higher Order General Cost Polynomials and Its Sensitivity Using Modified Particle Swarm Optimization", *Electra Power Syst*, vol.79, pp.98-106.
- [20] Ch.L., Chiang, (2005). "Improved Genetic Algorithm for Power Economic Dispatch of Units with Valve-Point Effects and Multiple Fuels", *IEEE Trans Power Syst*, vol. 20, pp.1690-1699.
- [21] R., Rahmani M.F, Othma R., Yusof M., Khalid, (2012). "Solving Economic Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization by An Evolutionary Technique for Initializing Particles", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol.46, pp 2005 – 2012.
- [22] N., Sinha R., Chakrabarti P.K., Chattopadhyay, (2003). "Evolutionary Programming Techniques for Economic Load Dispatch", *IEEE Trans power syst.*, vol.7, pp.83-94.
- [23] O., Abedinia N., Amjady K., Kiani H.A., Shayanfar A. Ghasemi, (2012). "Multi-objective Environmental Economic Dispatch Using Imperialist Competitive Algorithm", *IJTPE*, vol.4, pp.63-70
- [24] M.A., Abido, (2003). "Environmental/Economic Power Dispatch Using Multi-objective Evolutionary Algorithms", *IEEE. Trans. Power Syst*, Vol.18, pp. 1529-1537.
- [25] Ch CL, Ch.N, (2001). "Direct Search Method for Solving Economic Dispatch Problem Considering Transmission Capacity Constraints", *IEEE Trans Power Syst*, vol16, pp.764-769.
- [26] T., Niknam H., Doagou Mojarrad H., Zeinoddini Meymand, (2011). "Non-Smooth Economic Dispatch Computation by Fuzzy and Self Adaptive Particle Swarm Optimization". *Soft Computing*, vol.11, pp.2805-2817.
- [27] M., Pourakbari-Kasmaei M., Rashidi-Nejad, (2011). "An Effortless Hybrid Method to Solve Economic Load Dispatch Problem in Power Systems". *Energy Conversion and Management*, vol.52, pp.2854-2860.
- [28] CC, Kuo, (2008). "A Novel Coding Scheme for Practical Economic Dispatch by Modified Particle Swarm approach", *IEEE Trans Power Syst*, vol.21, pp.25-35.
- [29] C., Chokpanyasuwan S., Anantasate S., Pothiya W., Pattaraprakom P., Bhasaputra, (2009). "Honey Bee Colony Optimization to Solve Economic Dispatch Problem with Generator Constraints", *IEEE ECTI-Con*; vol.1, pp.200-203.
- [30] ZL., Gaing, (2003). "Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints", *IEEE Trans Power Syst*, vol.18, pp.1187-1195.
- [31] B.K., Panigrahi V.R., Pandi S., Das, (2008). "Adaptive Particle Swarm Optimization Approach for Static and Dynamic Economic Load Dispatch", *Energy Convers Manage*; vol.49, pp.1407-1415.
- [32] A. I., Selvakumar K., Thanushkodi, (2007). "A new Particle Swarm Optimization Solution to Non-convex Economic Dispatch Problems", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.22, pp.42-51.
- [33] P. S. Manoharan, P. S. Kannan, S. Baskar, and M. W. Iruthayarajan, (2008). "Penalty Parameter-less Constraint Handling Scheme based Evolutionary Algorithm Solutions to Economic Dispatch". *IET Gen., Transm., Distrib.*, vol. 2, no. 4, pp. 478-490..

- [34] C.-L., Chiang,(2005). "Improved Genetic Algorithm for Power Economic Dispatch of Units with Valve-point effects and Multiple fuels., IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, pp. 1690–1699.
- [35] P., Chen H.,Chang, (1995). "Large-scale Economic Dispatch by Genetic Algorithm". IEEE Trans Power Syst, vol.10, pp.1919-1926.
- [36] S.K., Wang J.P., Chiou C.W., Liu. (2007). "Non-smooth/Non-convex Economic Dispatch by a Novel Hybrid Differential Evolution Algorithm", IET Gener Transm Distrib; vol.1, pp.793–803.
- [37] L.D.S., Coelho VC., Mariani, (2006). "Combining of Chaotic Differential Evolution and Quadratic Programming for Economic Dispatch Optimization with Valve-Point Effect", IEEE Trans Power Syst vol.21, pp.989–996.
- [38] A.I., Selvakumar K., Thanushkodi, (2008). "Anti-Predatory Particle Swarm Optimization: Solution to Non-Convex Economic Dispatch Problems", Electric Power Syst Res., vol 78, pp.2–10.
- [39] A.I., Selvakumar K., Thanushkodi, (2007). "A New Particle Swarm Optimization Solution to Non-Convex Economic Dispatch Problems", IEEE Trans Power Syst , vol.22, 42–51.
- [40] BK., Panigrahi V.R., Pandi, (2008). "Bacterial foraging Optimization Nelder–Mead Hybrid Algorithm for Economic Load Dispatch", IET Gen Transm Distrib, vol.2, pp.556–665.
- [41] N., Amjady H.Sharifzadeh, (2010). "Solution of Non-Convex Economic Dispatch Problem Considering Valve Loading Effect by a New Modified Differential Evolution Algorithm". Electrical Power and Energy Systems, vol.32, pp.893-903.
- [42] M.A., Abido, (2006). "Multi-objective Evolutionary Algorithms for Electric Power Dispatch Problem", IEEE Trans. Evol. Comput., Vol.10, pp.315-329.
- [43] M.A., Abido, (2003). "A Niche Pareto Genetic Algorithm for Multi-objective Environmental/Economic Dispatch", Electr Power Energy Syst., Vol.25, pp.97-105.
- [44] M.A., Abido, (2009). "Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Environmental/Economic Dispatch Problem", Electr Power Syst. Vol.79, pp.1105-1113.
- [45] T., Jayabarathi G., Sadasiva V., Ramachandran, (2000). "Evolutionary Programming Based Multi-Area Economic Dispatch With Tie Line Constraints", Electr Mach Power Syst, vol.28, pp.1165-1176.
- [46] M., Sharma, M., Pandit L.,Srivastava, (2011). "Reserve Constrained Multi-Area Economic Dispatch Employing Differential Evolution with Time-Varying Mutation", Electrical Power and Energy Systems vol.33, pp.753-766.
- [47] D.C., Walters G.B., Sheble, (1993). "Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Valve Point Loading", IEEE Trans Power Syst, Vol.8, pp.1324-1332.
- [48] S.k., Soni V., Bhuria, (2012). "Multi-objective Emission Constrained Economic Power Dispatch Using Differential Evaluation Algorithm", Int.J.of Eng.Inn. Tech, Vol.2, pp.120-125.