

توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن اثر شیر ورودی بخار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی

حامد مسکنی^۱ محمد یزدانی اسرمی^۲ مهران تقی پور^۱ علی درزی^۱ علیرضا مرادی^۱ حمید فلقی^۱

۱- دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی، گروه قدرت- بیرجند
۲- دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده برق و کامپیوتر- بابل

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جستجوی گرانشی، توزیع اقتصادی بار، تاثیر قید شیر ورودی بخار، هزینه کلی سوخت.

چکیده

امروزه، توزیع بار بین واحدهای تولید کننده انرژی به نحوی که کمترین هزینه را به همراه داشته باشد، یکی از مهمترین مسائل در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت بشمار می‌آید. در این مقاله، از روشی جدید به نام الگوریتم جستجوی گرانشی که مبتنی بر هوش جمعی می‌باشد به منظور حل مسأله توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌ها استفاده شده است. این الگوریتم برای حل مسائل پیچیده که شامل توابع غیرخطی هزینه مانند قید شیر ورودی بخار^۱ می‌باشد روی سیستمی با ۱۳ نیروگاه با بار درخواستی سیستم ۱۸۰۰ و ۲۵۲۰ مگاوات مورد استفاده قرار گرفته است. یافته‌های حاصل از این مقاله در قیاس با نتایج بدست آمده در مقالات معتبر منتشر شده نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در حل انواع مسائل توزیع اقتصادی بار به کار گرفته شده و نتایج مناسبی را به دست دهد.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائل بهینه‌سازی که در سیستم‌های قدرت می‌توان متصور شد مسأله توزیع اقتصادی بار^۲ است. در توزیع اقتصادی بار هزینه کلی سوخت نیروگاه محاسبه می‌گردد. تاکنون برای این هزینه، بسته به پیچیدگی مسأله، توابع هزینه مختلفی ارائه شده است. بعضی از این توابع هزینه به شکل خطی هستند ولی در مسائل پیچیده، این توابع ممکن است غیرخطی گردند. از دید اقتصادی، هر چه هزینه کل کاهش یابد وضعیت سیستم بهتر است. بنابراین امروزه مهندسين تلاش می‌کنند تا این هزینه را با روش‌های مختلف کاهش دهند. روش‌های مرسوم، روش‌های محاسباتی ریاضی و تکنیک‌های بهینه‌سازی مانند روش مرحله‌ای لامبدا، روش نقطه بهینه، عامل مشترک و روش گرادیان برای حل مسائل ED را شامل می‌شود. این روش‌ها زمانی که توابع هزینه

1- valve-point

2- Economic Load Dispatch-ED

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

گرانشی (GSA) استفاده شده است. برای استفاده از این الگوریتم در حل مسئله ED، تعداد نیروگاه‌ها به عنوان ابعاد مسئله در نظر گرفته می‌شود، به طور مثال نامین بعد، بیانگر نامین نیروگاه می‌باشد. در هر تکرار قیود به تولید نیروگاه‌ها اعمال شده و یکی از آن‌ها به صورت تصادفی به عنوان نیروگاه شناور^۱ که مقدارش از تفاضل کل بار درخواستی سیستم و کل تولید، حاصل می‌شود که در هر تکرار این اختلاف به نیروگاه شناور اضافه شده است. با توجه به اینکه تابع هزینه به عنوان تابع برازندگی^۲ مسئله در نظر گرفته می‌شود، لذا GSA این تابع را بهینه کرده و کمترین تابع هزینه را محاسبه خواهد نمود.

۲- فرموله بندی توزیع اقتصادی بار

توزیع اقتصادی بار، از مهم‌ترین موضوعات در عملکرد سیستم‌های قدرت به شمار می‌رود. موضوع ED، تخصیص میزانی از تولید به هر نیروگاه به کار رفته در سیستم، به منظور تامین بار مورد نیاز و بهینه‌سازی هزینه کل می‌باشد. این موضوع برای نیروگاه‌های با سوخت فسیلی بسیار مهم‌تر است زیرا می‌توان با کمک ED، هزینه‌های گزاف تولید انرژی در آن‌ها را کاهش داد. بسیاری از قیود فیزیکی و عملیاتی از جمله قیود مساوی و نامساوی باید در ED در نظر گرفته شوند. ساده‌ترین شکل ED شامل توابع پیوسته بوده، که می‌تواند با استفاده از روش‌های ریاضی حل شود. برخی از این توابع عبارتند از:

• قیود همسان (بدون در نظر گرفتن تلفات):

$$\sum_{i=1}^n P_i = PD \quad (1)$$

• قیود ناهمسان:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (2)$$

در روابط فوق، P_i تولید نیروگاه نام بر حسب مگاوات، PD، توان کل مورد نیاز سیستم، P_i^{min} مینیمم تولید نیروگاه نام بر حسب مگاوات، P_i^{max} ماکزیمم تولید نیروگاه نام بر حسب مگاوات و n تعداد کل نیروگاه‌ها می‌باشد.

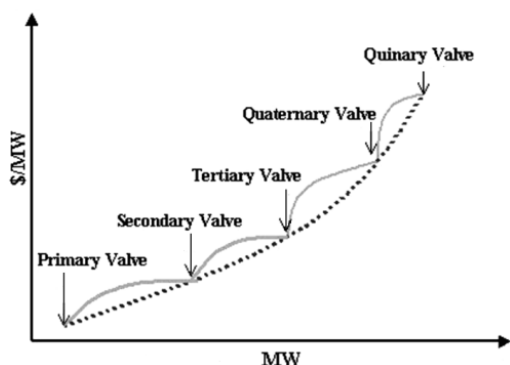
غیرخطی باشند، مناسب نیستند. بنابراین در برخی مسائل، دستیابی به جواب بهینه بسیار مشکل خواهد بود. یک راه حل برای غلبه بر این مشکل، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری می‌باشد. لذا در گذشته الگوریتم‌های هوشمند و ابتکاری متفاوتی برای این مورد پیشنهاد شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه‌سازی گروه ذرات (PSO)، الگوریتم جستجوی تابوی موازی، روش تاگوچی، الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی هیبرید، بهینه‌سازی بر اساس زیست-جغرافیا و غیره [۱]. برای مثال، در [۲] یک الگوریتم جستجوی تابوی موازی (PTS) برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن قید ramp rate استفاده شده است. در [۳] یک الگوریتم ژنتیک با به روزرسانی افزایشی برای حل مسئله توزیع اقتصادی با تاثیر قید شیر ورودی بخار و قید چندسوختی در نظر گرفته شده است. در [۴ و ۵]، انواع مختلفی از الگوریتم‌های ژنتیک بهبود یافته برای حل مسئله ED به کار برده شده است. در [۶] یک الگوریتم جدید بهبود یافته، همراه با روش تاگوچی بکار رفته که این روش شامل کاربرد آرایه‌های متعامد برای تخمین گرادیان تابع هزینه می‌باشد. در [۷] الگوریتم تکامل دیفرانسیلی (DE) با مولد تکنیک برنامه‌ریزی درجه دو ترتیبی و رشته‌ای ترکیب شده تا پاسخ‌های مسئله توزیع اقتصادی بار را بهینه کنند. همچنین در [۸-۱۰]، شیوه‌های بهینه‌سازی جمعیت ذرات اصلاح شده برای حل دقیق‌تر مسائل ED پیشنهاد شده است. در [۱۱]، یک روش بهینه‌سازی تصادفی جدید برای بدست آوردن بهینه‌ترین پاسخ برای مسئله ED با در نظر گرفتن قیود مختلف، ارائه گشته است. همچنین در [۱۲]، از یک الگوریتم بهینه‌سازی که بر پایه زیست-جغرافیا می‌باشد برای حل مسائل Convex و Non-Convex توزیع اقتصادی بار نیروگاه‌های حرارتی استفاده شده است.

در این مقاله، یک روش جدید مبتنی بر هوش جمعی برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار ارائه شده است. در روش پیشنهاد شده، یک الگوریتم جدید بهینه‌سازی بر اساس قانون گرانش و برهم کنش اجرام، به نام الگوریتم جستجوی

1- Slag

2- Fitness Function

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۱): نمونه ای از تابع هزینه با ۵ شیر ورودی بخار

سرانجام برای حل مسأله ED، کاهش هزینه کل بعنوان هدف مد نظر است. بنابراین:

$$\min f = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (۸)$$

۳- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی^۱ یک الگوریتم وابسته به هوش جمع و البته بدون حافظه است. این الگوریتم بهینه‌یابی با الگوبرداری از قوانین گرانش و حرکت عوامل در یک سیستم مصنوعی در زمان گسسته طراحی شده است که در آن، فضای سیستم همان محدوده تعریف مسأله می‌باشد. طبق قانون گرانش هر عامل (جرم)، محل و وضعیت سایر اجرام را از طریق قانون جاذبه گرانشی درک می‌کند بنابراین می‌توان از این نیرو به عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. برای مثال تمام نیروهایی که بر جرم M_1 از طرف سایر اجرام وارد می‌شود در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۳]. در این الگوریتم، جرم عامل‌ها با توجه به تابع هدف تعیین می‌شوند. در یک سیستم با n جرم، موقعیت هر جرم، نقطه ای از فضا است که جوابی از مسأله می‌باشد که موقعیت جرم i ام با X_i نشان داده می‌شود:

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad (۹)$$

رابطه (۱) بیان می‌دارد که کل تولید نیروگاه‌ها ($\sum_{i=1}^n P_i$) باید کل بار (PD) مورد نیاز را فراهم کند. همچنین، رابطه (۲) بیان می‌دارد که تولید هر واحد باید در بین کمینه و بیشینه خود مقید باشد.

در مسایل توزیع بار پیچیده‌تر، تلفات خط (P_L) نیز به رابطه (۱) اضافه می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (۳)$$

در [۱۱]، نحوه محاسبه ضرایب B توضیح داده شده است. بنابراین با افزودن معادله (۳) به (۱)، خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \quad (۴)$$

هزینه سوخت هر نیروگاه به صورت زیر بیان شده است:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (۵)$$

در رابطه فوق، F_i قیمت سوخت و a_i ، b_i و c_i ضرایب قیمت سوخت نیروگاه i ام می‌باشند.

تمامی توابع هزینه فوق، پیوسته بوده و با کمک روش‌های ریاضی کلاسیک حل می‌شوند. اما مدل‌های دقیق تری نیز از جمله مدل اثر قید شیر ورودی بخار برای محاسبه هزینه سوخت نیروگاه‌ها وجود دارد. این مدل ناهمواری‌هایی را در منحنی تابع هزینه یک نیروگاه نشان داده و همچنین، یک عبارت ناپیوسته و غیرخطی را به تابع هزینه اضافه می‌کند. در شکل (۱)، نمونه‌ای از تابع هزینه یک نیروگاه با ۵ دریچه نشان داده شده است.

بنابراین رابطه (۵) می‌تواند به صورت زیر تصحیح شود:

$$F_i(P_i) = F(P_i) + |e_i \sin(f_i (P_i^{\min} - P_i))| \quad (۶)$$

و یا:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + |e_i \sin(f_i (P_i^{\min} - P_i))| \quad (۷)$$

که در روابط فوق، e_i و f_i ثابت‌های اثر valve point (قید شیر ورودی بخار) بر ژنراتور i ام هستند.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (12)$$

همچنین، هر جرم دارای یک سرعت و یک شتاب می‌باشد که به ترتیب با $v_i(t)$ و $a_i(t)$ نشان داده می‌شوند. طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد d شتابی می‌گیرد که متناسب است با نیروی وارد بر جرم در آن بعد، بخش بر جرم اینرسی آن که در رابطه (۱۳) بیان شده است. از طرفی، سرعت هر عامل در زمان برابر است با مجموع ضربی از سرعت فعلی و شتاب عامل که طبق رابطه (۱۴) تعریف می‌شود:

$$v_i^d(t+1) = rand \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (13)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (14)$$

وقتی که شتاب و سرعت هر جرم محاسبه شد موقعیت جدید عامل i ام در بعد d طبق رابطه (۱۵) محاسبه می‌گردد:

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (15)$$

موقعیت‌های جدید به عنوان مکان اجرام جدید در فضای جستجو در نظر گرفته می‌شوند، که وزن اجرام جدید بوسیله معادلات زیر نرمالیزه می‌شوند:

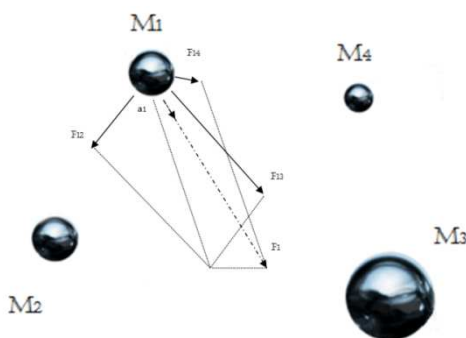
$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - Worst(t)} \quad (16)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (17)$$

در روابط بالا، $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جرم عامل i ام در زمان t ، $worst(t)$ و $best(t)$ به ترتیب بیانگر میزان شایستگی بدترین و بهترین عامل جمعیت در زمان t هستند که مقدار آن‌ها در مسایل کمینه‌یابی با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه‌اند:

$$worst(t) = \max \{fit_i(t)\} \quad (18)$$

$$best(t) = \min \{fit_i(t)\} \quad (19)$$



شکل (۲): نیروهای وارد شده به جرم M_1 از سوی سایر اجرام

که در آن n بعد مسأله و همچنین x_i^d بعد d از جرم i ام می‌باشد. در این سیستم، به جرم i از سوی جرم j در زمان t و در جهت بعد d نیرویی به اندازه $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{qj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (10)$$

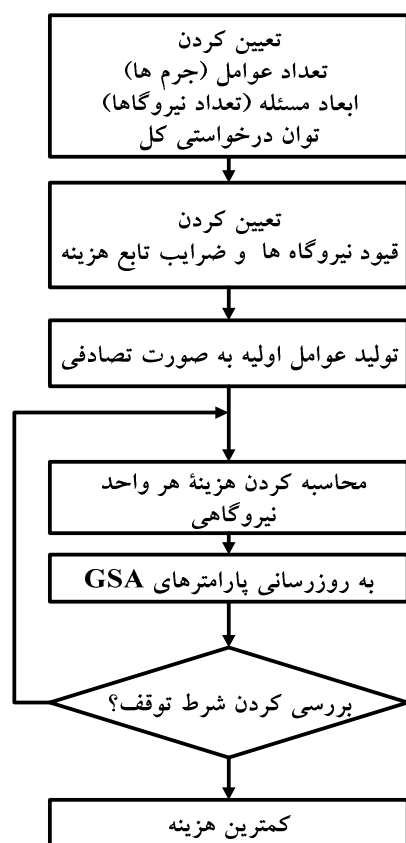
در رابطه (۱۰)، M_{qj} جرم گرانشی فعال جرم j ، M_{pi} جرم گرانشی غیرفعال جرم i می‌باشد که هر دوی آنها در الگوریتم مذکور یکسان و برابر M فرض شده‌اند. همچنین $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t ، R_{ij} فاصله بین دو جرم i ام و j ام و ϵ یک عدد بسیار کوچک می‌باشد.

ثابت گرانش، یک پارامتر مناسب برای کنترل توانایی‌های کاوش و بهره‌وری در این الگوریتم بشمار می‌آید که بصورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$G(t) = G_0 e^{\frac{-\alpha t}{T}} \quad (11)$$

که در آن α و G_0 ضرایب کنترلی الگوریتم و T بیانگر طول عمر سیستم و به عبارتی تعداد کل تکرارهای الگوریتم است. نیروی وارد بر جرم i ام در جهت بعد d در زمان t طبق رابطه زیر برابر است با مجموع تمام نیروهایی که سایر اجرام سیستم بر این جرم وارد می‌کنند. در این رابطه $rand_j$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه (۰،۱) بوده که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو در نظر گرفته شده است.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۳): فلوجارت نحوه استفاده GSA در مسأله ED

گام ۱) تعیین تعداد عوامل (اجرام)، ابعاد (تعداد نیروگاهها) و میزان کل بار درخواستی سیستم (PD): برای مرتبط نمودن مسأله توزیع بار اقتصادی با GSA، عوامل به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند:

$$mass_i = (m_i^1, \dots, m_i^d, \dots, m_i^n) \quad (20)$$

for $i=1, 2, \dots, N$

در رابطه فوق m_i ، نامین جرم بوده که از n مؤلفه تشکیل شده است. هر کدام از این مؤلفه‌ها معرف یک نیروگاه می‌باشند. همچنین، معرف ژنراتور اول از جرم اول بوده و N تعداد کل اجرام است.

در این گام باید میزان کل بار مورد نیاز (PD) را نیز در نظر گرفت طوریکه جمع تولیدات ژنراتورها باید برابر PD شود:

$$\sum_{j=1}^n m_{ij} = PD \quad (21)$$

۱-۳ کاربرد الگوریتم جستجوی گرانشی در حل مسأله توزیع اقتصادی بار بین نیروگاهها

در این مقاله برای بهینه کردن هزینه کل سوخت نیروگاهها، یک الگوریتم جدید بنام الگوریتم جستجوی گرانشی مورد استفاده قرار گرفته است. در ابتدا، مقادیر اولیه الگوریتم جستجوی گرانشی باید تعیین شوند. برای این منظور، تعداد عوامل (اجرام) در نظر گرفته شده و سپس، ابعاد فضای جستجو بر پایه تعداد نیروگاهها تعیین می‌گردد. همچنین، میزان کل بار درخواستی نیز باید مشخص شود. در گام دوم، قیود حل مسأله باید تعیین شوند. این قیود عبارتند از: تعداد تکرار، کمینه و بیشینه تولید هر نیروگاه و همچنین، ضرایب تابع هزینه. در مراحل بعدی، مقادیر تصادفی تولید هر نیروگاه با استفاده از یک تابع تصادفی در نظر گرفتن قیود مسأله، محاسبه می‌شوند. در هر تکرار الگوریتم، قیود اعمال شده و کل تولید مورد محاسبه قرار می‌گیرد. سپس، اختلاف بین کل تولید و کل بار سیستم، باید به یکی از نیروگاهها که به صورت تصادفی به عنوان ژنراتور شناور انتخاب شده، اضافه گردد. در گام بعدی باید هزینه نیروگاه متناظر با هر عامل مورد محاسبه قرار گیرد. سپس، الگوریتم جستجوی گرانشی به کمینه کردن این هزینه‌ها پرداخته و در هر تکرار بهترین هزینه از منظر کمینه‌سازی انتخاب می‌شود. سرانجام با توجه به شروط پایان، الگوریتم متوقف شده و کمینه‌ترین هزینه را ارائه می‌کند.

همان گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است، مراحل بالا را می‌توان در ۶ گام طبقه بندی نمود:

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

به‌روزرسانی می‌شوند. ذکر این نکته ضروری است که در رابطه (۱۵)، x_i^d همان m_i^j است.

گام ۶) بررسی شرط توقف: در این گام، معیار توقف سنجیده شده و در صورت برآورده شدن این شرط، الگوریتم متوقف خواهد شد. در غیر این صورت به گام ۴ باز خواهد گشت. شروط توقف برای الگوریتم پیشنهادی، تعداد مراحل و فاصله بین *best* و *worst* می‌باشند.

۴- شبیه‌سازی و بحث پیرامون نتایج آن

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی برای حل مسأله توزیع اقتصادی بار بکار برده شده است. برای این منظور یک سیستم تست برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده و در هر قسمت نتایج به دست آمده، با نتایج دیگر مقالات منتشر شده نیز مقایسه شده است. برای شبیه‌سازی مسأله توزیع اقتصادی بار، کدنویسی الگوریتم جستجوی گرانشی، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 7.8 انجام شده است.

شایان توجه است که در زمینه مسأله توزیع اقتصادی بار سیستم‌های تست فراوانی تاکنون بکار گرفته شده‌اند اما سیستم سیزده واحدی بیش از بقیه مورد توجه می‌باشد. لذا، در این مقاله نیز این سیستم تست برای شبیه‌سازی به کار گرفته شده است. شرح مختصری از سیستم‌های تست شبیه‌سازی شده در این مقاله، در جدول (۱) آمده است.

گام ۲) تعیین قیود مربوط به نیروگاه‌ها و ضرایب تابع هزینه: نیروگاه‌ها در تولید توان الکتریکی محدودیت‌هایی دارند بنابراین در حل مسأله ED باید این قیود را در نظر گرفت. لذا در روش پیشنهاد شده در این مقاله، قیود غیرخطی برای هر نیروگاه در نظر گرفته شده است:

$$m^j (\min) \leq m_i^j \leq m^j (\max) \quad (22)$$

گام ۳) ایجاد جمعیت اولیه به صورت تصادفی: برای شروع به کار الگوریتم باید اجرام یا جمعیت، بصورت تصادفی با توجه به فضای جواب تولید شود. در این مقاله فضای جواب بین حداکثر و حداقل قیود نیروگاه‌ها در نظر گرفته شده است. گام ۴) محاسبه هزینه برای هر عامل:

در این گام هزینه هر عامل (نیروگاه) با بکار بردن الگوریتم پیشنهادی محاسبه می‌شود. علاوه بر این، قیود مسأله باید به صورت زیر اعمال شوند:

$$\text{If } m_i^j < m^j (\min); \text{ then } m_i^j = m^j (\min);$$

و

$$\text{If } m_i^j > m^j (\max); \text{ then } m_i^j = m^j (\max);$$

گام ۵) به‌روزرسانی پارامترهای GSA: در این گام پارامترهای الگوریتم جستجوی گرانشی شامل شتاب، سرعت و مکان اجرام، به ترتیب بوسیله روابط (۱۳)، (۱۴) و (۱۵)

جدول (۱): سیستم مورد مطالعه شبیه‌سازی شده در این مقاله

اطلاعات سیستم مورد مطالعه	توضیحات	بار سیستم
۱۳ نیروگاه	با در نظر گرفتن تأثیر شیر ورودی بخار	۱۸۰۰ مگا وات
		۲۵۲۰ مگا وات
	بدون در نظر گرفتن تأثیر قید شیر ورودی بخار	۱۸۰۰ مگا وات
		۲۵۲۰ مگا وات

سیستم و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۲): مشخصات واحدهای نیروگاهی سیستم مورد مطالعه

نیروگاه	توان مینیمم	توان ماکزیمم	a	b	c	e	f
۱	۰	۶۸۰	/۰۰۰۲۸	۸/۱	۵۵۰	۳۰۰	۰/۰۳۵
۲	۰	۶۸۰	/۰۰۰۵۶	۸/۱	۳۹۰	۲۰۰	۰/۰۴۲
۳	۰	۶۸۰	/۰۰۰۵۶	۸/۱	۳۰۷	۲۰۰	۰/۰۴۲
۴	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۵	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۶	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۷	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۸	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۹	۶۰	۱۸۰	/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۱۰	۴۰	۱۲۰	/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۱	۴۰	۱۲۰	/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۲	۵۵	۱۲۰	/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۳	۵۵	۱۲۰	/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴

۱-۴ شبیه‌سازی برای سیستم ۱۳ نیروگاهی

در این قسمت، یک مسأله توزیع اقتصادی بار پیچیده با ۱۳ واحد نیروگاهی مطالعه شده است. دو حالت تابع هزینه، یکی با در نظر گرفتن تابع خطی و دیگری با تابع غیرخطی ناشی از در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که افزایش تعداد نیروگاه‌ها، کمینه محلی را افزایش می‌دهد. بنابراین، برخلاف سیستم‌های ساده با تعداد نیروگاه کمتر، برای این سیستم هنوز نتیجه قطعی بدست نیامده و در مقالات منتشر شده نیز گزارش نشده است. لذا، پارامترهای الگوریتم پیشنهادی باید بگونه‌ای تغییر کنند که الگوریتم، از کمینه محلی گذشته و به کمینه قطعی دست یابد. بدین منظور سرعت باید کاهش یافته و دقت، افزایش یابد. شایان توجه است که ضرایب و قیود این سیستم مورد مطالعه در جدول (۲) نشان داده شده است.

۱-۱-۴ توزیع اقتصادی بار برای سیستم تست مورد

مطالعه بدون در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار:

در این حالت، مسأله توزیع اقتصادی بار برای سیستم مورد مطالعه بدون در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار، با الگوریتم پیشنهادی حل شده است. نتایج شبیه‌سازی برای مقادیر کل بار درخواستی سیستم (PD)، ۱۸۰۰ و ۲۵۲۰ مگاوات به ترتیب در جداول (۳) و (۴) نشان داده شده است. همچنین، مقایسه بین جواب‌های الگوریتم جستجوی گرانشی با سایر روش‌های موجود در گذشته نیز در جداول مذکور انجام شده است. شایان توجه است برای حل مسأله توزیع اقتصادی بار برای این سیستم تست، الگوریتم جستجوی گرانشی ۵۰ بار اجرا شده است. نتایج نشان می‌دهند که زمان لازم برای توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌ها در حالتی که کل بار درخواستی سیستم مگاوات ۱۸۰۰ است برابر ۲/۹۸ ثانیه می‌باشد و حالتی که کل بار درخواستی سیستم ۲۵۲۰ مگاوات است برابر ۲/۵۴ می‌باشد. همچنین، پارامترهای کنترلی الگوریتم در این ۵۰ بار اجرا عبارتند از:

$$G_0 = 260, \alpha = 7 \text{ و تعداد اجرام برابر } 10 \text{ می‌باشد}$$

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۵): نتایج توزیع اقتصادی بار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی در مقایسه با سایر روش‌های موجود برای سیستم مورد مطالعه ۱۳ نیروگاهی با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار و با مقدار بار درخواستی ۱۸۰۰ مگاوات

روش	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)
CEP [۱۵]	۱۸۴۰۴/۰۴	۱۸۱۹۰/۳۲	۱۸۰۴۸/۲۱
FEP [۱۵]	۱۸۴۵۳/۸۲	۱۸۲۰۰/۷۹	۱۸۰۱۸/۰۰
MFEP [۱۵]	۱۸۴۱۶/۸۹	۱۸۱۹۲/۰۰	۱۸۰۲۸/۰۹
IFEP [۱۵]	۱۸۲۶۷/۴۲	۱۸۱۲۷/۰۶	۱۷۹۹۴/۰۷
MSL [۱۷]	-	-	۱۸۱۵۸/۶۸
روش ارائه شده	۱۸۲۲۱/۲۸	۱۸۰۸۱/۴۵	۱۷۹۶۹/۴۷

جدول (۶): نتایج توزیع اقتصادی بار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی در مقایسه با سایر روش‌های موجود برای سیستم مورد مطالعه ۱۳ نیروگاهی با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار و با مقدار بار درخواستی ۲۵۲۰ مگاوات

روش	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)
SGA [۱۴]	۲۴۹۸۹/۹۳	۲۴۸۲۹/۵۱	۲۴۶۶۰/۴۰
SGA + Atavism [۱۴]	۲۴۹۰۳/۰۵	۲۴۷۳۲/۱۶	۲۴۵۹۸/۳۴
SGA + Generation-apart [۱۴] elitism	۲۴۹۱۲/۸۱	۲۴۶۸۵/۲۴	۲۴۵۳۹/۹۹
SGA + Atavism + Generation-apart [۱۴] elitism	۲۴۷۷۳/۱۵	۲۴۶۵۶/۰۵	۲۴۴۸۸/۲۲
GA [۱۶]	-	-	۲۴۴۱۶/۲۶
EP [۱۶]	-	-	۲۴۳۹۵/۵۰
SABED [۵]	-	-	۲۴۹۷۰/۹۱
HSS [۵]	-	-	۲۴۲۷۵/۷۱
GA-MU [۵]	-	-	۲۴۱۷۰/۷۵
IGAMU [۵]	-	-	۲۴۱۶۹/۹۷
RQEA	-	-	۲۴۲۵۲/۹۵
روش ارائه شده	۲۴۲۵۸/۰۸	۲۴۱۹۰/۴۶	۲۴۱۶۹/۹۱

جدول (۳): نتایج توزیع اقتصادی بار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی برای سیستم مورد مطالعه ۱۳ نیروگاهی بدون در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار و با مقدار بار درخواستی ۱۸۰۰ مگاوات

روش	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)
روش ارائه شده	۲۴۰۵۰/۱۴	۲۴۰۵۰/۱۳	۲۴۰۵۰/۱۱

جدول (۴): نتایج توزیع اقتصادی بار با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی در مقایسه با سایر روش‌های موجود برای سیستم مورد مطالعه ۱۳ نیروگاهی بدون در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار و با مقدار بار درخواستی ۲۵۲۰ مگاوات

روش	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)
ضرب کننده لاگرانژ	۲۴۰۵۰/۱۴	۲۴۰۵۰/۱۴	۲۴۰۵۰/۱۴
SGA [۱۴]	۲۴۰۹۲/۸۷	۲۴۰۶۸/۶۱	۲۴۰۶۱/۰۴
SGA + Atavism [۱۴]	۲۴۱۱۳/۵۲	۲۴۰۶۸/۶۱	۲۴۰۵۸/۸۰
SGA + Generation-apart [۱۴] elitism	۲۴۱۲۰/۱۶	۲۴۰۷۴/۸۳	۲۴۰۵۸/۸۰
SGA + Atavism + Generation-apart [۱۴] elitism	۲۴۰۹۰/۳۴	۲۴۰۶۵/۴۱	۲۴۰۵۲/۳۴
روش ارائه شده	۲۴۰۵۰/۱۴	۲۴۰۵۰/۱۳	۲۴۰۵۰/۱۱

۴-۱-۲ توزیع اقتصادی بار برای سیستم تست مورد مطالعه با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار:

در این قسمت، تاثیر قید شیر ورودی بخار بر تابع هزینه در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از کاربرد الگوریتم پیشنهادی در حل این مسأله غیرخطی با در نظر گرفتن کل بار درخواستی ۱۸۰۰ و ۲۵۲۰ مگاوات بترتیب در جدول‌های (۵) و (۶) آورده شده است. برای حصول نتایج، الگوریتم پیشنهاد شده ۵۰ بار اجرا شده که پارامترهای کنترلی آن بصورت زیر تنظیم شده‌اند: $\alpha = 7$, $G_0 = 260$ و تعداد اجرام برابر ۱۰ می‌باشد.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

برای بررسی ارتباط بین پارامترهای کنترلی با نتایج و زمان حل مسأله در الگوریتم جستجوی گرانشی، تاثیر تغییر مقادیر G_0 و α بر نتایج حاصل از الگوریتم، ارزیابی گشته است. برای انجام آنالیز حساسیت روی نتایج مسأله توزیع اقتصادی بار مربوط به ۱۳ واحد نیروگاهی با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار، پارامترهای کنترلی الگوریتم پیشنهادی تغییر داده و برنامه مذکور ۳۰ بار اجرا شده است.

۴-۲-۱ تاثیر تغییر G_0 بر نتایج مسأله و زمان

برای بررسی تاثیر G_0 ، مقادیر مختلفی به صورت تصادفی برای آن انتخاب شده است. برای یک تحلیل دقیق، G_0 باید پیوسته تغییر کند اما از آنجاییکه، این مقاله فقط در زمینه هوش مصنوعی نبوده بلکه یک مقاله در حوزه قدرت نیز به شمار می‌آید، این نوع از ارزیابی، انتخاب مقادیر نوعی برای G_0 کمک می‌کند تا بهترین مقدار را برای آن انتخاب کنیم.

نتایج نشان می‌دهند که زمان لازم برای توزیع اقتصادی بار بین نیروگاه‌ها در حالتی که کل بار درخواستی سیستم مگاوات ۱۸۰۰ است برابر ۰/۱۲ ثانیه می‌باشد و حالتی که کل بار درخواستی سیستم ۲۵۲۰ مگاوات است برابر ۲/۰۴ می‌باشد. همانطور که در جدول (۷) نشان داده شده، نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی در مقابل الگوریتم‌های قبلی، هزینه کلی بهتری را نشان می‌دهد. چنانچه عامل زمان را نیز در نظر بگیریم این الگوریتم می‌تواند در یک زمان سریعتر به پاسخ دست یابد.

۴-۲ آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای کنترلی

الگوریتم جستجوی گرانشی

در هر الگوریتم هوشمندی عوامل و ضرایبی وجود دارند که روند همگرایی الگوریتم را کنترل می‌کنند که تنظیم دقیق آن‌ها منجر به رسیدن به بهترین جواب خواهد شد. برای مثال در GA، تعداد کروموزوم‌های اولیه [۵]، در PSO تعداد ذرات اولیه و C1 و C2 جزو این عوامل و ضرایب می‌باشند [۱۰].

جدول (۷): مقایسه نتایج توان خروجی واحدهای نیروگاهی حاصل از الگوریتم پیشنهادی با نتایج سایر مقالات منتشر شده

بار درخواستی سیستم: ۲۵۲۰ مگا وات					بار درخواستی سیستم: ۱۸۰۰ مگا وات		نیروگاه
[۵] HSS	[۵] SABED	[۱۶] EP	[۱۶] GA	GSA	[۱۷] MSL	GSA	
۶۲۸/۲۳	۶۶۸/۴۰	۵۹۹/۸۸	۶۳۸/۶۰	۶۲۸/۳۱	۶۲۸/۳۰	۵۳۸/۶۲	۱
۲۹۹/۲۲	۳۵۹/۷۸	۳۶۰/۰۰	۳۵۷/۲۹	۲۹۹/۱۹	۳۱۰/۸۵	۲۲۴/۵۳	۲
۲۹۹/۱۷	۳۵۸/۲۰	۳۶۰/۰۰	۳۵۷/۱۵	۲۹۹/۱۹	۳۱۰/۸۵	۱۴۹/۷۲	۳
۱۵۹/۱۲	۱۰۴/۲۸	۱۶۷/۵۴	۱۱۰/۸۸	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۸۸	۴
۱۵۹/۹۵	۶۰/۳۶	۱۶۵/۶۴	۱۵۲/۵۱	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۸۸	۵
۱۵۸/۸۵	۱۱۰/۶۴	۱۶۷/۰۱	۱۶۰/۰۶	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۸۹	۶
۱۵۷/۲۶	۱۶۲/۱۲	۱۶۴/۴۰	۱۶۱/۴۵	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۹۲	۷
۱۵۹/۹۳	۱۶۳/۰۳	۱۶۵/۲۳	۱۶۱/۲۱	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۸۹	۸
۱۵۹/۸۶	۱۶۱/۵۲	۱۶۷/۶۳	۱۱۶/۰۹	۱۵۹/۷۳	۶۰/۰۰	۱۰۹/۹۲	۹
۱۱۰/۷۸	۱۱۷/۰۹	۴۳/۱۱	۷۶/۶۳	۷۷/۳۹	۴۰/۰۰	۷۷/۴۷	۱۰
۷۵/۰۰	۷۵/۰۰	۴۸/۲۲	۷۵/۰۰	۷۷/۳۹	۴۰/۰۰	۴۰/۱۳	۱۱
۶۰/۰۰	۶۰/۰۰	۵۵/۸۶	۶۰/۰۰	۸۷/۶۸	۵۰/۰۰	۵۵/۱۱	۱۲
۹۲/۶۲	۱۱۹/۵۸	۵۵/۴۳	۹۳/۱۳	۹۲/۳۹	۵۰/۰۰	۵۵/۰۴	۱۳
/۷۱ ۲۴۲۷۵	۲۴۳۹۸/۲۳	/۵۰ ۲۴۳۹۵	/۲۶ ۲۴۴۱۶	/۹۱ * ۲۴۱۶۹	۱۸۱۵۸/۶۸	/۴۷ ۱۷۹۶۹	هزینه کل (\$/h)

* - : $G_0 = 260$, $\alpha = 15$ و تعداد اجرام برابر ۱۰ می‌باشد

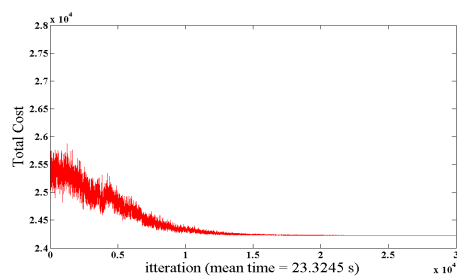
بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

جدول (۸): نتایج آنالیز حساسیت روی مقادیر مختلف G_0 با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار

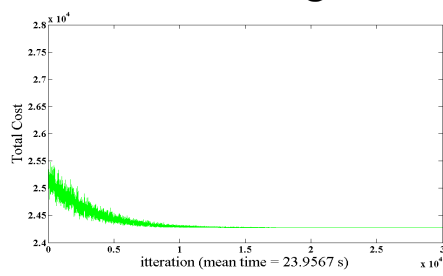
مقدار G_0	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)	زمان میانگین توزیع بار (s)	کمترین زمان توزیع بار (s)
۸۰	۲۴۷۳۶/۸۷	۲۴۳۴۷/۱۳	۲۴۱۷۴/۱۰	۲۳/۹۵	۱۴/۱۸
۱۴۰	۲۴۵۰۰/۵۷	۲۴۲۹۹/۳۹	۲۴۱۷۴/۱۳	۲۳/۵۵	۱۵/۹۹
۲۰۰	۲۴۴۳۳/۷۶	۲۴۲۵۳/۰۰	۲۴۱۷۴/۷۶	۲۳/۳۲	۱۵/۶۹
۲۶۰	۲۴۴۲/۹۶	۲۴۲۵۷/۱۴	۲۴۱۷۱/۵۳	۲۳/۴۳	۱۵/۷۵
۳۲۰	۲۴۳۶۲/۹۸	۲۴۲۳۸/۲۶	۲۴۱۷۰/۱۰	۲۳/۴۱	۱۵/۶۶

همگرایی را افزایش خواهد داد و این مورد برای این نوع الگوریتم‌ها مناسب نیست. نکته جالب اینکه با تغییر G_0 ، زمان رسیدن به پاسخ تغییر چندانی نخواهد داشت

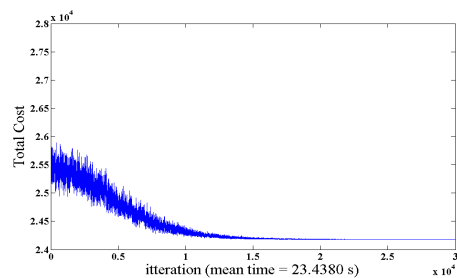
نتایج آزمایش مقادیر مختلف G_0 در جدول (۸) نشان داده شده است. در این حالت، پارامترهای کنترلی GSA به صورت زیر است: $\alpha = 9$ ، m (تعداد اجرام) = ۴ همانطور که در جدول (۸) و در شکل (۴) (الف تا ث) به ترتیب برای G_0 برابر با ۸۰، ۱۴۰، ۲۰۰، ۲۶۰ و ۳۲۰ مشاهده می‌شود افزایش G_0 ، نتایج بهتری به دست می‌دهد ولی زمان



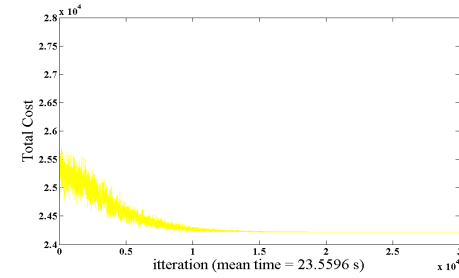
(ب)



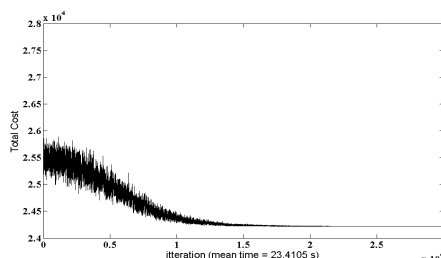
(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل (۴) مشخصه همگرایی GSA

(الف) برای مقدار " $G_0 = 80$ " (ب) برای مقدار " $G_0 = 140$ "

(پ) برای مقدار " $G_0 = 200$ " (ت) برای مقدار " $G_0 = 260$ "

(ث) برای مقدار " $G_0 = 320$ "

بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

۲-۲-۴ تاثیر تغییر α بر نتایج و زمان

به واسطه دلایلی که در بخش قبلی بیان شد، ارزیابی برای مقادیر مختلف α انجام شد. نتایج بررسی برای مقادیر مختلف

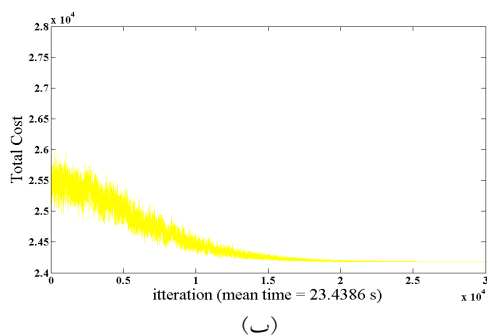
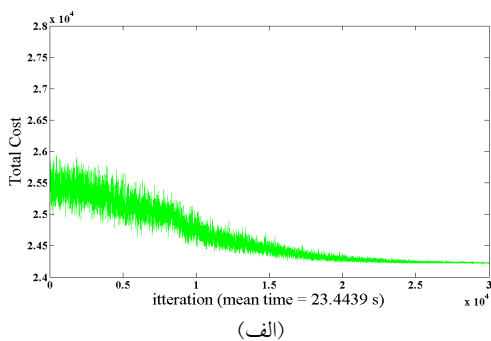
α در جدول (۹) نشان داده شده است. برای انجام این آزمون، پارامترهای کنترلی GSA به صورت زیر بوده است:
 $G_0 = 260$, m (تعداد اجرام) = 4

جدول (۹): نتایج آنالیز حساسیت روی مقادیر مختلف α با در نظر گرفتن اثر قید شیر ورودی بخار

مقدار α	ماکزیمم (بیشینه) هزینه (\$/h)	میانگین هزینه (\$/h)	مینیمم (کمینه) هزینه (\$/h)	زمان میانگین توزیع بار (s)	کمترین زمان توزیع بار (s)
۵	۲۴۴۵۷/۷۳	۲۴۲۵۵/۶۷	۲۴۱۷۴/۰۵	۲۳/۴۴	۱۵/۷۴
۷	۲۴۳۳۵/۹۵	۲۴۲۴۰/۵۹	۲۴۱۷۱/۲۳	۲۳/۴۳	۱۵/۷۵
۹	۲۴۳۸۹/۴۷	۲۴۲۴۰/۱۳	۲۴۱۷۰/۰۵	۲۸/۲۸	۱۵/۸۸
۱۵	۲۴۴۰۵/۷۹	۲۴۲۵۶/۱۱	۲۴۱۶۹/۹۱	۲۹/۶۳	۱۶/۷۹
۲۰	۲۴۴۹۴/۹۷	۲۴۲۸۶/۴۸	۲۴۱۷۰/۵۹	۲۹/۵۶	۱۶/۰۵

با توجه به جدول (۹)، به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار α می‌توان به نتایج بهتر دست یافت اما این می‌تواند به معنای افزایش زمان باشد که گاهی خوب نبوده و گاهی بی اهمیت است. این نکته شایان توجه است که همانطور که در تصاویر شکل (۵) (الف تا ث) به ترتیب برای α برابر ۵، ۷، ۹، ۱۵ و ۲۰ دیده می‌شود با افزایش α ، همگرایی الگوریتم بهتر خواهد شد.

نتایج حاصله در قیاس با نتایج ارائه شده در مقالات معتبر منتشر شده، نشان می‌دهند که این الگوریتم به خوبی قادر به حل اینگونه مسائل در کمترین زمان ممکن می‌باشد.



۵- نتیجه گیری

در این مقاله، از یک الگوریتم ابتکاری به نام "GSA" که مبتنی بر هوش جمعی می‌باشد برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار استفاده شده است. از آنجائیکه این الگوریتم بر مبنای جاذبه گرانشی بین عامل‌ها کار می‌کند، بنابراین از عامل‌های کمتری برای یافتن جواب بهینه استفاده می‌کند، از طرفی معادلات این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های دیگر ساده تر است. این مزایا کمک می‌کند تا الگوریتم پیشنهادی مسائل را با حفظ دقت، سریع تر حل کند. لذا به منظور نمایش توانایی الگوریتم پیشنهاد شده در حل مسائل غیر خطی از سیستم ۱۳ نیروگاهی که قید شیر ورودی بخار در آن لحاظ گردیده، استفاده شده است.

بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق

[5] C.-L. Chiang, "Genetic-based algorithm for power economic load dispatch," IET Gener. Transm. Distrib. 1, (2), 2007, pp. 261–269.

[6] D. Liu, Y. Cai, "Taguchi Method for Solving the Economic Dispatch Problem With Nonsmooth Cost Functions," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 20, NO. 4, NOV. 2005.

[7] L. D. S. Coelho and V. C. Mariani, "Combining of Chaotic Differential Evolution and Quadratic Programming for Economic Dispatch Optimization With Valve-Point Effect," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 21, NO. 2, MAY 2006.

[8] A. Immanuel Selvakumar, K. Thanushkodi, "A New Particle Swarm Optimization Solution to Nonconvex Economic Dispatch Problems," IEEE Transaction On Power Systems, VOL. 22, NO. 1, FEB. 2007.

[9] Z.-L. Gaing, "Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 18, NO. 3, AUG. 2003.

[10] J.-B. Park, K.-S. Lee, J.-R. Shin, K. Y. Lee, "A Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch With Nonsmooth Cost Functions," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 20, NO. 1, FEB. 2005.

[11] S.-K. Wang, J.-P. Chiou and C.-W. Liu, "Non-smooth/non-convex economic dispatch by a novel hybrid differential evolution algorithm," IET Gener. Transm. Distrib. 1, (5), 2007, pp. 793–803.

[12] A. Bhattacharya, P. K. Chattopadhyay, "Biogeography Based Optimization for Different Economic Load Dispatch Problems," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 25, NO. 2, MAY 2010.

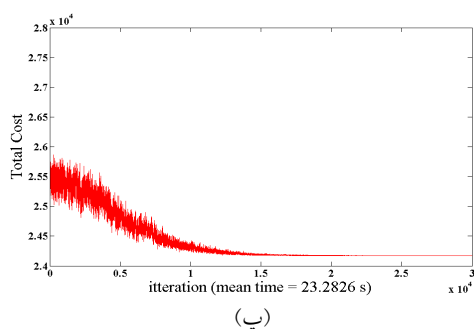
[13] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm," Information Sciences 179, 2009, pp. 2232–2248.

[14] J. O. Kim, D.-J. Shin, J.-N. Park, C. Singh, "Atavistic genetic algorithm for economic dispatch with valve point effect," Electric Power System Research 62, 2002, pp. 201–207.

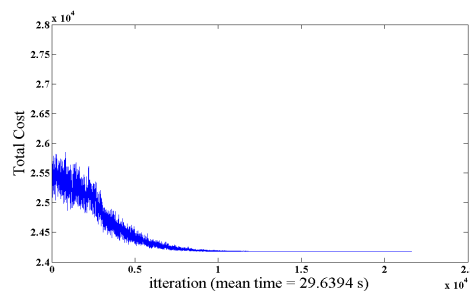
[15] N. Sinha, R. Chakrabarti, and P. K. Chattopadhyay, "Evolutionary Programming Techniques for Economic Load Dispatch," IEEE Transaction on Evolutionary Computation, VOL. 7, NO. 1, FEB. 2003.

[16] P. Venkatesh, R. Gnanadass, and N. P. Padhy, "Comparison and Application of Evolutionary Programming Techniques to Combined Economic Emission Dispatch With Line Flow Constraints," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 18, NO. 2, MAY 2003.

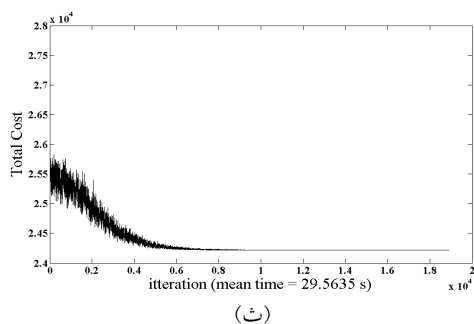
[17] S. Hemamalini, S. P. Simon, "Maclaurin series-based Lagrangian method for Economic dispatch with valve-point effect," IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 3, Iss. 9, 2009, pp. 859–871



(ب)



(ت)



(ث)

شکل (۵). مشخصه همگرایی GSA

(الف) برای مقدار " $\alpha=5$ " (ب) برای مقدار " $\alpha=7$ "

(پ) برای مقدار " $\alpha=9$ " (ت) برای مقدار " $\alpha=15$ "

(ث) برای مقدار " $\alpha=20$ "

۶- مراجع

[1] B. H. Chowdhury and S. Rahman, "A review of recent advances in economic dispatch," IEEE Transaction on Power Systems, vol. 5, no. 4, Nov. 1990, pp. 1248–1259.

[2] W. Ongsakul, S. Dechanupaprittha and I. Ngamroo, "Parallel tabu search algorithm for constrained economic dispatch," IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib, Sep. 2005, Vol. 152, No. 5.

[3] C.-L. Chiang, "Improved Genetic Algorithm for Power Economic Dispatch of Units With Valve-Point Effects and Multiple Fuels," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 20, NO. 4, NOV. 2005.

[4] N. Amjady and H. Nasiri-Rad, "Nonconvex Economic Dispatch With AC Constraints by a New Real Coded Genetic Algorithm," IEEE Transaction on Power Systems, VOL. 24, NO. 3, AUG. 2009.