پخش بار اقتصادی نیروگاه های حرارتی با در نظر گرفتن اثر شیر بخار و با استفاده از الگوریتم سینوس کسینوس

۱- افروز رأفت پور[۱]، ۲- افشین لشکرآرا[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، afrooz.rafatpour@gmail.com

۲- استادیار، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، lashkarara@alumni.iust.ac.ir

چکیده: تولید انرژی الکتریکی برای سیستم‌های قدرت با هدف کمینه سازی کل هزینه‌ی تولیدی برای واحدهای فعال موجود در شبکه قدرت، از مهم‌ترین مباحث برای سیستم‌های مدرن امروزی می‌باشد. به بیانی دیگر هدف از پخش بار اقتصادی، برنامه‌ریزی بهینه و مناسب برای واحدهای تولید با در نظر گرفتن عوامل و محدودیت‌های غیر خطی موجود در شبکه قدرت و واحدهای تولیدی می‌باشد. در این مقاله مسأله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های غیر خطی از جمله تلفات شبکه انتقال، اثر شیر بخار برتابع هزینه تولیدی، توازن تولید و مصرف در سیستم، مناطق عملیاتی ممنوع، حدود تولید و نرخ‌های افزایشی و کاهشی (ramp rate) به یک مسأله بهینه سازی تبدیل شده و در نهایت با استفاده از الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) و در محیط نرم افزاری MATLAB به حل آن پرداخته شده است. به منظور ارزیابی کارآیی روش پیشنهاد شده، سیستم‌های آزمایشی ۶ و ۱۳ واحده به عنوان مطالعات موردی با توابع هزینه سوخت افزایشی استفاده شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی بدست آمده توسط این الگوریتم پیشنهادی با نتایج بدست آمده توسط دیگر الگوریتم‌های موجود در مراجع مقایسه شده است. نتایج عددی، توانایی حل مسأله پخش بار اقتصادی با الگوریتم SCA را نسبت به سایر الگوریتم‌ها نشان می‌دهد .

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سینوس کسینوس، توزیع اقتصادی، اثر شیر بخار، استراتژی جستجوی اکتشافی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

۱-مقدمه

توزیع اقتصادی یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی در بهره‌برداری مهندسی برق می‌باشد. ED به برنامه‌ریزی مقدار تولید خروجی واحدهای حرارتی کمک می‌کند تا علاوه بر اینکه تقاضای بار مصرفی را برآورده کند هزینه‌ی عملیاتی را به حداقل برساند، در حالی که قیود سیستم را رعایت کند. این مقاله به دنبال کم کردن هزینه سوخت تولید نیروگاهای حرارتی با استفاده از مسأله توزیع اقتصادی می‌باشد. بدین معنی که برای مشخص شدن میزان سهم هرکدام از واحدها، با توجه به میزان هزینه و محدودیت‌های مختلف آن‌ها، مسأله توزیع اقتصادی، که به عنوان یکی از مسائل مهم در بهره-برداری اقتصادی از سیستم‌های قدرت می‌باشد، پیش می‌آید. پخش بار اقتصادی و یافتن بهترین توازن تولید بین واحدهای فعال یکی از مهمترین مباحث در سیستم‌های امروزی می‌باشد [۱]. امروزه این بحث که با کمترین هزینه بتوان کل تقاضای بار را تأمین نمود در حالی که بیشترین سود ممکن را به شرکت توزیع برساند از مهمترین مباحث می‌باشد[۴-۲]. در سال های اخیر، محققان زیادی از تکنیک های بهینه‌سازی ابتکاری و متعارف ریاضی برای حل مسئله‌ی ED در سیستم‌های قدرت استفاده کرده‌اند.که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) [۵]، الگوریتم بهینه-سازی هوش ازدحامی (PSO) [۶]، الگوریتم جستوی هارمونی (HAS) [۷]، جستجوی سیستم‌های شارژ شده (CSS) [۸]، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) [۹]، الگوریتم ژنتیک (GA) [۱۰]، پختن شبیه سازی شده (SA) [۱۱]، بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیا (BBO) [۱۲]، و الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) [۱۳] که یکی از جدیدترین آن‌ها می‌باشد و در این مقاله از این الگوریتم استفاده شده است، اشاره کرد. به طور کلی SCA چندین راه‌حل نمونه اولیه را به صورت تصادفی تولید می‌کند وآن‌ها را با استفاده از مدل ریاضی و توابع سینوسی و کسینوسی تا رسیدن به بهترین راه حل نوسان می‌دهد. هدف ما ارائه‌ی یک الگوریتم جدید به منظور حل مسائل بهینه سازی با بینش بیشتر می باشد، که این الگوریتم می تواند به یک راه حل با کمترین خطا، در مقایسه با راه حل های بهینه‌ی جهانی با حداقل تعداد تکرار ممکن دست یابد، بنابراین یک بهبود از لحاظ دقت و سرعت همگرایی و سادگی محاسبات در این الگوریتم مشاهده می شود.

۲- مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه‌های حرارتی

مسئله‌ی ED یک مسئله ی بهینه سازی برای تعیین برنامه زمان بندی توان خروجی واقعی واحدهای تولید با در نظر گرفتن تعادل توان واقعی با بار مصرفی و همچنین محدودیت‌های خروجی‌های ژنراتورها می‌باشد .افزایش پیوسته قیمت های مواد سوختی و نیز تورم سالانه باعث شده است که همواره بهره برداری از سیستم های تولید انرژی الکتریکی مورد توجه و مطالعه قرار گرفته باشد.

۲-۱- تابع هدف

هدف اصلی توزیع اقتصادی بار، برنامه‌ریزی تولید واحدهای تولید انرژی الکتریکی است به نحوی که بار مورد نیاز شبکه تأمین و هزینه‌های اقتصادی این تولید نیز کمینه شود. روش‌های متداول برای حل توزیع اقتصادی بار واحدهای تولیدی حرارتی نیروگاه‌ها، اغلب روش‌های تکراری هستند که با اینکه جواب نسبتا دقیقی برای مسأله را بدست می‌دهند، اما محدودیت‌های بسیاری در کاربردهای عملی دارند، از جمله باید مشخصه نرخ افزایش حرارتی واحدها پیوسته باشد. روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی پویا با اینکه با این قبیل محدودیت‌ها مواجه نیستند، ولی با افزایش تعداد واحدها، زمان و حافظه مورد نیاز برای حل مسأله بطور قابل توجه افزایش می‌یابد. موارد می‌توان تابع هزینه ژنراتور i ام را به صورت زیر با تابع درجه دوم بر حسب توان حقیقی تولید شده آن ژنراتور نشان داد:

$$\min F=\sum_{i=1}^{N}F_i(P_i)=\sum_{i=1}^{N}\left(a_i\times P_i^2+b_i\times P_i+c_i\right) \qquad (۱)$$

که $F_i(P_i)$ تابع هزینه ژنراتور i ام، و a_i، b_i و c_i ضرائب سوخت ژنراتور i ام و P_i توان تولیدی حرارتی ژنراتور i ام است. برای در نظر گرفتن اثرات موقعیت شیر بخار، توابع سینوسی به شکل زیر وارد تابع هدف می‌شوند.

$$\min F=\sum_{i=1}^{N}\tilde{F}_i\left(P_i\right)=$$

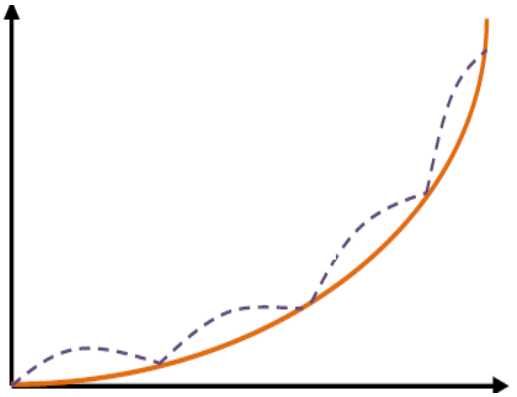
$$\sum_{i=1}^{N}\left(a_i\times P_i^2+b_i\times P_i+c_i+\left|e_i\times\sin(f_i\times(\mathrm{p}_i^{\min}-p_i))\right|\right) \qquad (۲)$$

که e_i و f_i ضرائب مربوط به اثر شیر بخار i امین ژنراتور هستند.در شکل (۱) تابع هزینه یک واحد حرارتی بدون در نظر گرفتن اثر شیر بخار و با در نظر گرفتن آن نشان داده شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]



شکل (۱) منحنی تابع هزینه یک نیروگاه حرارتی بدون اثر شیر بخار و با اثر شیر بخار

۲-۲- توازن تولید و مصرف در سیستم (قید مساوی)

مجموع توان تولید شده توسط کلیه واحدهای در مدار باید با مجموع مصرف سیستم برابر باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{N} P_i - P_D - P_{loss} = 0 \qquad (۳)$$

که P_D تقاضای بار سیستم و P_{loss} تلفات شبکه انتقال است و به ساختار فیزیکی شبکه و مقدار تولید بستگی دارد و از ضرایب تلفات β با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} P_i.\beta_{ij} + P_j + \sum_{i=1}^{N} \beta_{oi}.P_i + \beta_{oo} \qquad (۴)$$

که β_{ij}، β_{oj}، β_{oo} ضرائب تابع تلفات هستند.

۲-۳- محدودیت حدود تولید

قدرت خروجی هر ژنراتور باید در محدوده‌ی خودش باشد. بدین معنی که نباید بیشتر از مقدار نامی آن باشد و همچنین نباید کمتر از مقداری باشد که برای بهره‌برداری پایدار دیگ بخار ضروری است.

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max} \qquad \forall_i = 1,2,3,...,N \qquad (۵)$$

حدود فوق، علاوه بر اینکه ناشی از محدودیت‌های فنی هر واحد می‌باشند، باعث می‌شوند تا واحد با هزینه کمتر، بیش از حداکثر توان مجاز خود و واحد با هزینه بیشتر، کمتر از حد مجاز خود تولید نداشته باشد.

۳-الگوریتم سینوس کسینوس (SCA)

الگوریتم سینوس کسینوس (SCA) [۱۳] یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت برای حل مسائل بهینه‌سازی است که اولین بار توسط سیدعلی میرجلیلی در سال ۲۰۱۶ مطرح گردید.

معمولا تکنیک‌های بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت فرآیند بهینه سازی را با یک مجموعه از جواب‌های تصادفی آغاز می‌کند. این مجموعه تصادفی به صورت مکرر توسط تابع هدف ارزیابی شده و با استفاده از مجموعه قوانینی که هسته تکنیک‌های بهینه سازی محسوب می‌شوند، بهبود می‌یابد. از آنجایی که تکنیک‌هایی بهینه سازی مبتنی بر جمعیت، به دنبال یک نقطه بهینه در اثر بهینه سازی تصادفی مسائل است، تضمینی نیز برای یافتن یک راه حل در یک بار اجرا وجود ندارد. هرچند، با وجود تعداد کافی از راه حل‌های تصادفی و گام‌های بهینه سازی (تکرارها)، احتمال یافتن بهینه سراسری، افزایش می‌یابد.

علیرغم، تفاوت بین الگوریتم‌ها در حوزه بهینه سازی مبتنی بر جمعیت تصادفی، عمدتا فرآیند بهینه‌سازی به دو فاز تقسیم میشود: اکتشاف در مقابل استخراج [۱۴]. در فاز اول، یک الگوریتم بهینه-سازی راه حل‌های تصادفی را در مجموعه راه حل‌های ناگهانی با نرخ بالایی از تصادفی بودن برای یافتن نواحی مطلوب در فضای جستجو، ترکیب می‌کند. در فاز استخراج، تغییرات تدریجی در راه حل‌های تصادفی وجود دارد، و تغییرات تصادفی به نسبت، کمتر از فاز اکتشاف هستند.

معادلات به روز رسانی شده برای هردو فاز به صورت زیر می‌باشند:

$$X_i^{t+1} = X_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times \left| r_3 P_i^t - X_i^t \right| \qquad (۶)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times \left| r_3 P_i^t - X_i^t \right| \qquad (۷)$$

در این رابطه X_i^t وضعیت راه حل فعلی در i امین بعد و در تکرار t ام می‌باشد، r_1 و r_2 و r_3 اعداد تصادفی هستند، و P_i وضعیت نقطه مقصد در بعد i ام است.

معادلات (۶) و (۷) برای استفاده به صورت زیر با هم ترکیب می-شوند:

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} X_i^t + r_1 \times \sin(r_2) \times \left| r_3 P_i^t - X_{ii}^t \right| & r_4 < 0.5 \\ X_i^t + r_1 \times \cos(r_2) \times \left| r_3 P_i^t - X_{ii}^t \right| & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (۸)$$

شبه کد الگوریتم SCA به صورت زیر است:

ارزیابی هر یک از عوامل جستجو با استفاده از تابع هدف.

به روز رسانی بهترین جواب بدست آمده تا کنون (P = X*).

به روز رسانی r_1، r_2، r_3 و r_4 .

به روز رسانی موقعیت عوامل جستجو با استفاده از معادله (۸) (تا زمای که t کوچکتر از حداکثر تعداد تکرارها باشد).

ثبت بهترین راه‌حل بدست آمده تا کنون به عنوان بهینه کلی.

۳-۱-نحوه‌ی حل مسأله پخش بار اقتصادی با الگوریتم SCA

برای حل مسأله دیسپاچینگ اقتصادی با در نظر گرفتن اثر شیر بخار، الگوریتم بهینه سازی SCA پیشنهاد می‌شود. متغیرهای بهینه‌سازی مسأله توان‌های تولیدی ژنراتورها هستند که هر کدام از ژنراتورها مینیمم و ماکزیمم توان تولیدی خود را دارند. در این محدوده توان‌های تولیدی ژنراتورها باید به گونه‌ای به کمک الگوریتم SCA تعیین شوند که تابع هدف که همان هزینه تولید توان هست مینیمم شود، ضمن اینکه قیدهای مسأله برآورده شوند

مسأله‌ی پخش بار اقتصادی یک مسأله‌ی بهینه‌سازی است که معادلات ریاضی آن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Minimize} \quad f(x)$$

$$\text{به طوری که} : \quad g(x) = 0 \quad (۹)$$

$$h(x) \leq 0$$

تابع هدف f(x) هزینه‌ی تولید کل واحدها است، محدودیت‌های برابری g(x) معادلات مربوط به تعادل توان هستند که تولید کل باید برابر با مجموع توان مصرفی و تلفات باشد. محدودیت‌های نابرابری h(x) محدوده‌ی متغیرهای مربوط به توان تولیدی واحدها را در بر می‌گیرند.

متغیرهای بهینه‌سازی همان توان تولیدی ژنراتورها هستند.

$$X = [\, P_{G1} \quad P_{G2} \quad P_{G3} \quad \dots \quad P_{Gn}] \quad (۱۰)$$

P_{Gi} توان تولیدی واحد i ام است. توان تولیدی ژنراتورها هر کدام در محدوده مینیمم و ماکزیمم خود هستند و باید در این فاصله مقدار بهینه آنها تعیین شود که این کار به کمک الگوریتم SCA انجام می‌شود. در ابتدا جهت حل مسأله بهینه سازی به کمک اگوریتم SCA باید سه پارامتر تعداد اعضای جمعیت ، ماکزیمم تعداد تکرار و تعداد متغیرهای بهینه‌سازی تعیین شوند.

تعداد متغیرهای بهینه‌سازی همان تعداد ژنراتورها یا واحدهاست.

الگوریتم SCA فرایند بهینه سازی را با استفاده از یک مجموعه از جواب‌های تصادفی آغاز می‌کند، یعنی با توجه به تعداد اعضای جمعیت جواب تصادفی تهیه می‌کند هر جواب به صورت یک بردار است که همان توان تولیدی ژنراتورهاست اگر تعداد ژنراتورهای سیستم N باشد، هر پاسخی که تولید می‌شود دارای N بعد به صورت یک بردار است. جواب‌های تصادفی تولید شده به وسیله الگوریتم همان متغیرهای بهینه سازی یا توان تولیدی ژنراتورها هستند و به گونه ای تولید می‌شوند که در محدوده مینیمم و ماکزیمم توان تولیدی ژنراتور باشند. سپس برای هر پاسخ تولیدی که به صورت بردار است، تابع هزینه محاسبه می‌شود. آنگاه الگوریتم بهترین جواب بدست آمده تا اینجا را ذخیره می‌کند که آن را به عنوان یک نقطهٔ مقصد (p) تعیین می‌کند. پس تا اینجا هر یک از اعضای جمعیت پاسخی دارد که هزینه مربوط به آن هم محاسبه شده است. در بین اعضای جمعیت یک ذره که بهترین مقدار (کمترین هزینه) را دارد به عنوان نقطه مقصد در نظر گرفته شده است. در تکرار اول، پاسخ هر یک از اعضای جمعیت به عنوان پاسخ قبلی (موقعیت قبلی) فرض می‌شود. اعضای جمعیت باید پاسخ‌های خود را تغییر دهند تا پاسخ جدید (موقعیت بعدی) آنها بدست آید. موقعیت بعدی هر یک از اعضای جمعیت به کمک موقعیت فعلی خود و بهترین موقعیت بدست آمده (نقطه مقصد) به کمک معادلات (۸) تعیین می‌شود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

در معادله (۸) پارامترهای r_1 ، r_2 ، r_3 ، r_4 اعداد تصادفی هستند. اگر عدد r_4 که تصادفی تولید شده است کمتر از ۰/۵ باشد موقعیت جدید به کمک تابع سینوس و در غیر این صورت اگر r_4 بزرگتر از ۰/۵ تولید شود، موقعیت جدید به کمک تابع کسینوس بدست می‌آید. در تکرارهای ابتدایی عدد r_1 باید بزرگ باشد که در این صورت موقعیت جدید بدست آمده خیلی به موقعیت قبلی نزدیک نیست و در فضای جستجو (مینیمم و ماکزیمم توان تولیدی ژنراتورها) به استخراج پاسخ جدید پرداخته شده است چون باید کل فضا جستجو شود و ممکن است نقطه بهینه در قسمت دیگر فضای جستجو باشد که خیلی از نقطه فعلی فاصله دارد. اما در در تکرارهای نهایی الگوریتم باید عدد r_1 خیلی کوچک باشد تا موقعیت جدید بدست آمده نزدیک به موقعیت قبلی باشد چون ممکن است که پاسخ بهینه در اطراف نقطه قبلی باشد و باید فضای اطراف آن به خوبی جستجو شود. این کار به کمک رابطه ۳-۴ انجام می‌شود یعنی مقدار r_1 در هر تکرار به کمک رابطه ۳-۴ بدست می‌آید.

پس در تکرار اول موقعیت جدید، اولین عضو جمعیت بدست می‌آید، و تابع هزینه آن تعیین می‌شود اگر هزینه بدست آمده بهتر از نقطه مقصد باشد (کمتر باشد) این مقدار به عنوان نقطه مقصد در نظر گرفته می‌شود. سپس برای دومین عضو جمعیت، موقعیت جدید به کمک موقعیت قبلی خود و نقطه مقصد تعیین شده بدست می‌آید. به همین ترتیب برای کل اعضای جمعیت موقعیت جدید تعیین می‌شود. مهم آن است که پس از تعیین هزینه (هزینه سوخت کل ژنراتورها) هر یک از اعضای جمعیت (توان تولیدی ژنراتورها) نقطه مقصد بروزرسانی می‌شود. پس از تعیین موقعیت جدید همه واحدها تکرار اول خاتمه می‌یابد و تکرار دوم انجام می‌شود. در نهایت وقتی که الگوریتم به ماکزیمم تعداد تکرار در نظر گرفته شده رسید، الگوریتم خاتمه می‌یابد.

۴- شبیه سازی کامپیوتری

به منظور بررسی امکان پذیری و کارایی الگوریتم پیشنهاد شده، الگوریتم SCA روی یک مجموعه شامل دو سیستم آزمایشی(یعنی ۶ و ۱۳ واحده)، برای حل مسأله ED با در نظر گرفتن محدودیت های مختلف اجرا شده است. در این مطالعات، الگوریتم SCA در برنامه متلب و با استفاده از کامپیوتر شخصی با رم GB ۴، cpu core i5 و ویندوز ۱۷ اجرا شد.

۴-۱- سیستم اول

این سیستم آزمایشی، یک سیستم ۶ واحده(سیستم ۳۰ شینه ی IEEE) با اثرات شیربخار و تلفات شبکه انتقال میباشد .بار مصرفی مورد نیاز برای همه ی واحدهای تولید ۲۸۳.۴ MW است. اطلاعات این سیستم در [۱۵]، تهیه شده است که در جدول (۱) آورده شده است.

جدول(۱): اطلاعات ژنراتور سیستم آزمایشی اول [۱۵]

واحدها	P^i_{min}	P^i_{max}	a	b	c	e	f
۱	۱۵۰	۲۰۰	۰/۰۰۳۷۵	۲	۰	۵۰	۰/۰۶۳
۲	۲۰	۸۰	۰/۰۰۱۷۵۰	۱/۷۵	۰	۴۰	۰/۰۹۸
۳	۱۵	۵۰	۰/۰۶۲۵۰	۱	۰	۰	۰
۴	۱۰	۳۵	۰/۰۰۸۳۴	۳/۲۵	۰	۰	۰
۵	۱۰	۳۰	۰/۰۲۵۰۰	۳	۰	۰	۰
۶	۱۲	۴۰	۰/۰۲۵۰۰	۳	۰	۰	۰

در این سیستم آزمایش، تلفات انتقال در نظر گرفته شده و ماتریس های ضرائب تلفات β به صورت زیر می باشند. تعداد تولید ۵۰ تکرار است اندازه جمعیت ۱۰۰ کاندید می باشد .جدول (۲) نتایج بدست آمده برای این سیستم را نشان می‌دهد.

$$\beta = \begin{bmatrix} 0.0224 & 0.0103 & 0.0016 & -0.0053 & 0.0009 & -0.0013 \\ 00103 & 0.0158 & 0.001 & -0.0074 & 0.0007 & 0.0024 \\ 00016 & 0.001 & 0.0474 & -0.0687 & -0.006 & -0.035 \\ -0.0053 & -0.0074 & -0.0687 & 0.3464 & 0.0105 & 0.0534 \\ 0.0009 & 0.0007 & -0.006 & 0.0105 & 0.0119 & 0.0007 \\ -0.0013 & 0.0024 & -0.035 & 0.5340 & 0.0007 & 0.2353 \end{bmatrix}$$

$$\beta_o = \begin{bmatrix} -0.0005 & 0.0016 & -0.0029 & 0.006 & 0.0014 & 0.0015 \end{bmatrix}$$

$$\beta_{oo} = 0.0011$$

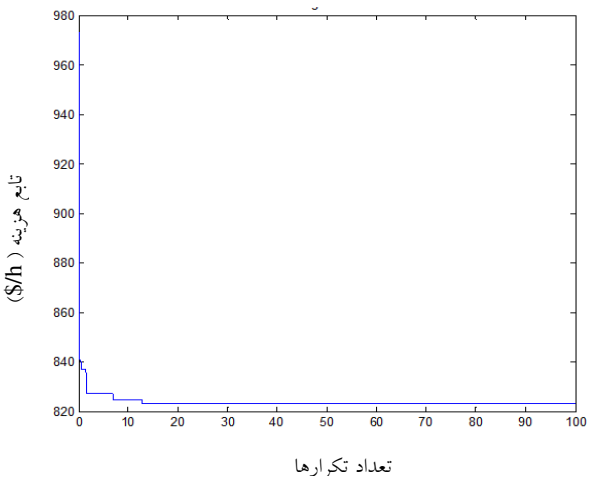
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

جدول (۲): نتایج به دست آمده توسط الگوریتم SCA برای سیستم آزمایشی اول

	SCA
$P_{G,1}$	۲۰۰/۰۰۰
$P_{G,2}$	۴۸/۹۱۵۰
$P_{G,3}$	۲۸/۰۱۹
$P_{G,4}$	۲۳/۶۳۸۴
$P_{G,5}$	۲۸/۱۴۸
$P_{G,6}$	۱۳/۷۵۳۶
$P_{G,Total}\ (MW)$	۲۹۴/۴۳
$F_{Total}\ (R/h)$	۸۲۶/۰۸۸
P_{loss}	۱۰/۵۴۲۹
Time (S)	۰/۴۳۲۱



شکل ۴-۲- نمودار همگرایی الگوریتم SCA برای یافتن تابع هزینه‌ی سیستم ۶ واحده

شکل (۲)، نمودار همگرایی الگوریتم SCA را برای یافتن تابع هزینه با در نظر گرفتن اثر شیر بخار و تلفات انتقال برای سیستم ۶ واحده نشان می‌دهد. تعداد تکرار ۵۰ می باشد، ولی ولی همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، الگوریتم SCA به طور تقریبی بعد از ۱۲ تکرار همگرا شده و مقدار بهینه را می‌یابد. الگوریتم پیشنهاد شده مقادیر راه حل بهینه را برای سیستم آزمایش با کامل کردن ۵۰ تکرار در ۰/۴۳۸۰ ثانیه پیدا می‌کند. جدول (۳)، حداقل هزینه، متوسط هزینه و حداکثر هزینه در ۵۰ اجرای برنامه را با نتایج حاصل از الگوریتم PSO و الگوریتم ریشه ی درخت (RTO) [۱۶]، مقایسه می کند .همانطور که در جدول (۳) نشان داده می‌شود، الگوریتم SCA به مقادیر راه‌حل بهینه ی خیلی بهتری در مقایسه با دیگر نتایج موجود در این مقاله دست پیدا می‌کند.

جدول (۳): مقایسه نتایج برای سیستم ۶ واحده

		SCA	RTO [۱۶]	PSO [۶]
حداقل	$F_{total}(R/h)$	۸۲۲/۹۴۶۵	۹۲۴/۹۷۲۴	۹۲۵/۷۵۸
	Time(s)	۰/۴۳۸۰	۰/۳۷۷۱	۰/۳۵۲۹۰
حداکثر	$F_{tatal}(R/h)$	۸۳۰/۷۲۸۹	۹۴۳/۸۷۱۲	۹۲۸/۴۲۷
	Time(s)	۰/۴۴۵۶	۰/۳۸۲۷	۰/۳۵۵۹۱
متوسط	$F_{totl}(R/h)$	۸۲۵/۲۶۹۶	۹۳۰/۱۷۸۱۴	۹۲۶/۳۸۸
	Time(s)	۰/۴۴۱۲	۰/۳۷۸۵	۰/۳۵۷۴۹

۴-۲- سیستم دوم

این مورد مطالعه آزمایشی سیستم ۱۳ واحده با اثر به کارگیری شیربخار را در نظر می‌گیرد .ضرائب توابع هزینه سوخت در [۱۷] که در جدول (۴) نشان داده می‌شوند.. بار مصرفی مورد نیاز برای همه واحدهای تولیدیMW ۱۸۰۰ است. اندازه جمعیت و ماکزیمم تعداد تکرار ثابت هستند و به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ می‌باشند. جدول (۵) نتایج به دست آمده برای این سیستم را نشان می‌دهد.

شکل (۳) نمودار همگرایی الگوریتم SCA را برای یافتن تابع هزینه با در نظر گرفتن اثر شیر بخار برای این سیستم نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود الگوریتم SCA پیش از ۱۰۰ تکرار تقریبا در تکرار ۵۷ ام، همگرا می‌شود.

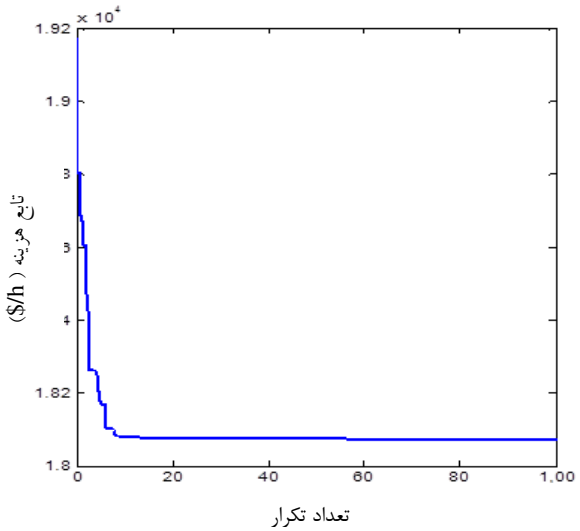
نتایج حاصل از این سیستم آزمایشی با نتایج حاصل از الگوریتم های دیفرانسیل تکاملی (DE) [۱۸]، و ریشه درخت (RTO)، از نظر حداقل هزینه، متوسط هزینه و حداکثر هزینه در جدول (۶) مقایسه می‌شوند. همان طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، الگوریتم

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

SCA به مقدار بهینه‌تری در مقایسه با دیگر نتایج موجود در این مقاله دست می‌یابد.



شکل ۴-۳- نمودار همگرایی الگوریتم SCA برای یافتن تابع هزینه‌ی سیستم ۱۳ واحده با بار MW ۱۸۰۰

جدول(۴): اطلاعات ژنراتور سیستم آزمایشی دوم [۱۷]

واحدها	P^i_{min}	P^i_{max}	a	b	c	e	f
۱	۰	۶۸۰	۰/۰۰۰۲۸	۸/۱	۵۵۰	۳۰۰	۰/۰۳۵
۲	۰	۳۶۰	۰/۰۰۰۵۶	۸/۱	۳۰۹	۲۰۰	۰/۰۴۲
۳	۰	۳۶۰	۰/۰۰۰۵۶	۸/۱	۳۰۷	۱۵۰	۰/۰۴۲
۴	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۵	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۶	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۷	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۸	۶۰	۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۹	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۳۲۴	۷/۷۴	۲۴۰	۱۵۰	۰/۰۶۳
۱۰	۴۰	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۱	۴۰	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۲	۵۵	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴
۱۳	۵۵	۱۲۰	۰/۰۰۲۸۴	۸/۶	۱۲۶	۱۰۰	۰/۰۸۴

جدول (۵): نتایج بدست آمده توسط الگوریتم SCA برای سیستم آزمایشی

واحدها	SCA
$P_{G,1}$	۳۵۹/۰۲۳۲
$P_{G,2}$	۲۲۴/۳۹۰۶
$P_{G,3}$	۲۱۷/۹۶۳۰
$P_{G,4}$	۱۰۹/۸۵۹۳
$P_{G,5}$	۱۰۹/۸۵۸۳
$P_{G,6}$	۱۰۹/۸۵۲۳
$P_{G,7}$	۱۰۹/۸۳۷۴
$P_{G,8}$	۱۰۹/۸۵۴۵
$P_{G,9}$	۱۰۹/۸۴۹۰
$P_{G,10}$	۷۷/۳۶۷۴
$P_{G,11}$	۷۷/۳۸۶۰
$P_{G,12}$	۹۲/۳۸۳۳
$P_{G,13}$	۹۲/۳۷۵۷
$P_{G,Total}$ (MW)	۱۸۰۰
حداقل هزینه $(\$/h)$	۱۸۰۷۲

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

جدول (۶): مقایسه نتایج برای سیستم ۱۳ واحده

واحدها	PSO [۶]	RTO [۱۷]	SCA
$P_{G,Total}\,(MW)$	۱۸۰۰	۱۸۰۰/۰۰۴۴	۱۸۰۰
حداقل هزینه ($/h)	۱۸۰۱۴/۱۶	۱۷۹۶۹/۸۰۲۴	۱۸۰۷۲
متوسط هزینه ($/h)	۱۸۱۰۴/۶۵	۱۸۰۵۶/۹۳۵۸	۱۸۲۱۴
حداکثر هزینه ($/h)	۱۸۲۴۹/۸۹	۱۸۲۰۴/۶۳۰۳	۱۸۴۴۴

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جمعیت جدیدی به نام الگوریتم سینوس و کسینوس را مطرح می‌کند، در الگوریتم SCA پیشنهادی، راه حل‌ها برای به روزرسانی موقعیت خود با توجه به بهترین راه حل کسب شده تا کنون به روزرسانی می‌شوند. مدل ریاضی از به روزرسانی موقعیت، به نوسان راه حل‌های داخلی و خارجی نقطه مرجع برای تضمین اکتشاف و استخراج فضای جستجو می‌پردازد. چندین متغییر سازگار و تصادفی همچنین به نوسان همگرایی و واگرایی عوامل جستجو در الگوریتم SCA می‌پردازند. مسأله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن اثر شیر بخار و قیود دیگر تلاش می‌کند تا با استفاده از الگوریتم SCA برای سیستم‌های آزمایشی متفاوت، کارآیی الگوریتم SCA پیشنهاد شده را ارزیابی کند. در نظر گرفتن اثر موقعیت شیر بخار در مسأله توزیع اقتصادی روزانه سیستم‌های حرارتی سبب شده تا این مسأله به یک مسأله‌ی غیر محدب تبدیل گردد. نتایج شبیه‌سازی و آماری برای مسائل بهینه سازی محدود و نامحدود، نشان می‌دهند که الگوریتم SCA می‌تواند برابر و یا بهتر از دیگر الگوریتم‌های چیشنهادی در این مقاله باشد، باشد .همچنین از سرعت همگرایی نسبتاً بالایی برخوردار است.

مراجع

[1] Srinivasa RA, Vaisakh K, 2013, "Shuffled differential evolution for economic dispatch with valve point loading effects", Electr Power Energy Syst, Vol. 46, pp. 342–52.

[2] Mahor A, Prasad V, Rangnekar S, 2009, " Economic dispatch using particle swarm optimization", a review, Renew Sust Energy, Vol. 13, No. 8, pp. 2134–41.

[3] Wood AJ, Wollenberg BF, 1984, " Power generation operation and control", John Wiley & Sons.

[4] Walters DC, Sheble G, 1993, " Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading", IEEE Trans Power System, Vol. 8, No. 3 pp. 1325–32.

[5] Colorni A, Dorigo M, Maniezzo V, 1991, " Distributed optimization by ant colonies", Actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle. Paris, France: Elsevier Publishing, p p. 134–42.

[6] Kennedy J, Eberhart R, 1995, " Particle swarm optimization", In: Proceedings of IEEE international conference on neural networks IV, pp. 1942–8, doi:http:// dx.doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968.

[7] Geem ZW, Kim JH, Longanathan GV, 2001, "A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation", Vol.76, No.2, pp. 60-8.

[8] Kaveh A, Talatahari S, 2010, "A novel heuristic optimization method: charged system search", Acta Mech, Vol. 213, pp. 267-89.

[9] Rashedi E, Nezamabadi-pour H, Saryazdi S, 2009, "GSA: a gravitional search algorithm", Inform Sci, Vol. 179, pp. 2232-48.

[10] Goldberg DE, 1989, " Genetic algorithms in search, optimization, and machine Learning", Boston: Addison-Wesley.

[11] Kirkpatrick S, Gelatt Jr CD, Vecchi MP, 1983, " Optimization by simulated annealing", Vol. 220, pp. 671–80.

[12] Simon D, 2008, "Biogeography-Based Optimization", IEEE Trans Evol Comput, Vol. 12, No. 6, pp. 712-3.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

[13] Seyedali Mirjalili, 2016, "A Sine Cosine Algorithm for Solving Optimization Problems", No. 15, pp. 00504-3.

[14] M. Črepinšek, S.-H. Liu, and M. Mernik, 2013, "Exploration and exploitation in evolutionary algorithms: a survey", ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 45, p. 35.

[15] Amjady N, Sharifzadeh H, 2010, "Solution of non-convex economic dispatch problem considering valve loading effect by a new modified different evolution algorithm", Electr Power Energy Syst, Vol. 32, pp. 893-903.

[16] Yacine Labbi, Djilani Ben Attous, Hossam A. Gabbar, Belkacem Mahdad, Aboelsood Zidan, 2016, "A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect", Electrical Power and Energy Systems 79, pp. 298-311.

[17] Rengin Idil CABADAG, Belin Emre TURKAY, 2013, "Heristic methods to solve optimal power flow problem", IU-JEEE, Vol. 13, No. 2, pp. 1653-1659.

[18] Price KV, Storn RM, Lampinen JA, 2005, "Different evolution", apractical approach to global optimization", Berlin, Germany, Springer-Verlag.

رزومه

افروز رأفت پور در درفول متولدشده است (۱۳۷۱). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه صنعتی جندی شاپور درفول (۱۳۹۴)، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۵) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان درزمینه شبکه‌های هوشمند و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت می‌باشد.

افشین لشکرآرا در تهران متولد شده است (۱۳۵۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری خود را در سال‌های (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) به ترتیب از دانشگاه دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق-قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک آمریکا (IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان شبکه‌های هوشمند، بهینه سازی سیستم‌های قدرت، مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]

Abstract

Among the most important subjects for modern systems, we can refer to electronic energy production for power systems with the aim of minimization the total production costs for active units which are present in power network. In other words, the purpose of economic dispatching is proper and optimal planning for production units by considering the present factors and nonlinear limitations in power network and production units. In this article, by considering the nonlinear limitations such as losses of transfer network, valve point effect on production unit function, balance of production and consumption in system, prohibited zone, production limit and increasing and decreasing rates (ramp rate), the problem of economic dispatching has converted into an optimization topic and finally, it is discussed by algorithm sine cosine and software environment, MATLAB. In order to evaluate the efficiency of proposed method, experimental systems of 6 and 13 units have been used as case studies with function of increasing fuel cost. The simulation results obtained by this proposed algorithm have been compared with the results obtained by other algorithm existing in articles. Numerical results, it shows has the better ability for solved economic dispatching with SCA algorithm compared with other than algorithms.

Keywords: Sine Cosine Algorithm, Economic dispatch, Valve point effect, Heuristic search strategy.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-12]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 4 -No. 1- autumn 2015 & winter 2016

[DOR: 20.1001.1.23222468.1394.4.2.1.6]