

الگوریتم ممتیک برای توزیع اقتصادی بار با توابع هزینه نامحدوب

مهدی نیستانی، ملیحه مغفوری فرسنگی و حسین نظام‌آبادی پور

روش‌های ذکر شده به آسانی حل کرد. در چند دهه اخیر، در الگوریتم‌های ابتکاری⁸ - الگوریتم‌های الهام گرفته از پدیده‌های طبیعی و زیستی - رشد چشم‌گیری صورت گرفته است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که این روش‌ها به خوبی می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های موجود در حل مسائل محاسباتی مشکل باشند. تاکنون الگوریتم‌های ابتکاری متعددی برای حل مسئله ED واقعی با فرض توابع هزینه نامحدوب مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله می‌توان به الگوریتم وراثتی⁹ (GA) [2] تا [6]، شبیه‌سازی ذوب فلزات¹⁰ (SA) [7]، شبکه‌های عصبی مصنوعی¹¹ (ANN) [8] تا [10]، جستجوی تابو¹² [11]، برنامه‌ریزی تکاملی¹³ (EP) [12] تا [16]، بهینه‌ساز اجتماع ذرات¹⁴ (PSO) [17] تا [19]، بهینه‌ساز جمعیت مورچگان¹⁵ (ACO) [20] و [21] و تکامل تفاضلی¹⁶ (DE) [22] و [23] اشاره کرد.

در این مقاله روش‌هایی بر مبنای الگوریتم ممتیک¹⁷ (MA) و با معرفی سه روش جستجوی محلی برای حل مسئله ED ناهموار پیشنهاد شده است. در آزمایش‌های انجام شده برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی، دو نوع مسئله ED ناهموار الف) ED با محدودیت‌های تغییرات شیب و مناطق اجرایی ممنوعه و ب) ED با ترکیب تأثیر بارگذاری شیر و چندگانگی سوخت در نظر گرفته شده است.

برای ارزیابی کارایی روش‌های MA پیشنهادی، الگوریتم وراثتی حقیقی¹⁸ (RGA) و یک MA برگرفته از کار گزارش شده توسط Herrera [24] با نام اختصاری XHC برای مقایسه به مسایل محک اعمال شده است. همچنین نتایج حاصله از روش‌های MA و RGA با روش‌های گزارش شده در مقالات [18] و [19] نیز مقایسه شده‌اند. برای فراهم نمودن زمینه مناسب، بخش دوم به اختصار به ارائه مفهوم اولیه MA و GA و پس از آن معرفی روش‌های پیشنهادی می‌پردازد. بخش سوم مسئله توزیع اقتصادی بار را به صورت ریاضی بیان می‌کند. سیستم‌های مورد مطالعه در بخش چهارم معرفی شده و نتایج آزمایش‌ها در بخش پنجم آمده است. سرانجام در بخش ششم مقاله جمع‌بندی می‌شود.

2- الگوریتم وراثتی، ممتیک و روش‌های پیشنهادی

2-1 الگوریتم وراثتی

GA به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی کارآمد از مزایای قابل ملاحظه‌ای

چکیده: این مقاله یک روش جدید برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار با توابع هزینه نامحدوب با استفاده از الگوریتم ممتیک ارائه می‌کند. مسئله توزیع اقتصادی بار واقعی دارای توابع هزینه نامحدوب با محدودیت‌های مساوی و نامساوی است که مسئله را در یافتن بهینه فرامحلی با استفاده از روش‌های ریاضی دچار مشکل می‌کند. در این مقاله الگوریتم ممتیک با سه روش متفاوت برای جستجوی محلی پیشنهاد شده است. برای ارزیابی عملکرد روش‌های MA پیشنهادی، الگوریتم وراثتی حقیقی و یک الگوریتم ممتیک پیشنهاد شده توسط محققین دیگر به مسئله اعمال و نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین نتایج به دست آمده از این روش‌ها با نتایج روش‌های گزارش شده در مقالات دیگر نیز مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهادی جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه برای سیستم‌های مورد مطالعه به دست می‌دهند.

کلید واژه: توزیع اقتصادی بار، الگوریتم وراثتی، الگوریتم ممتیک، توابع هزینه ناهموار.

1- مقدمه

توزیع اقتصادی بار¹ (ED) یکی از مسائل مهم در تولید و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت است [1]. هدف اولیه مسئله ED، مشخص کردن ترکیب بهینه خروجی توان واحدهای تولیدی است به نحوی که به تقاضای بار مورد نیاز با کم‌ترین هزینه اجرایی و با رعایت محدودیت‌های تساوی و نامساوی سیستم پاسخ داده شود. در مسئله ED متداول، توابع هزینه هر ژنراتور به طور تقریبی با یک معادله درجه دو ساده مدل‌سازی می‌شود. سپس این مسئله با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مانند تکرار لامبدا، روش گرادیان و روش برنامه‌نویسی پویا حل می‌شود. در این روش‌ها برای ساده‌سازی مسئله استفاده از فرضیاتی همچون محدب بودن، درجه دوم بودن، خطی بودن و غیره متداول است.

مسئله ED واقعی با در نظر گرفتن محدودیت تغییرات شیب²، مناطق اجرایی ممنوعه³، تأثیر بارگذاری شیر⁴ و چندگانگی سوخت⁵ به یک مسئله بهینه‌سازی ناهموار⁶ یا غیر محدب⁷ تبدیل می‌شود. بنابراین یافتن مینیمم فرامحلی برای این مسئله چندان آسان نبوده و نمی‌توان آن را با

این مقاله در تاریخ 20 فروردین ماه 1387 دریافت و در تاریخ 20 اسفند ماه 1387 بازنگری شد.

مهدی نیستانی، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، (email: m.neyestani@yahoo.com).

ملیحه مغفوری فرسنگی، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، (email: mmaghfoori@mail.uk.ac.ir).

حسین نظام‌آبادی پور، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، (email: nezam@mail.uk.ac.ir).

1. Economic Dispatch
2. Ramp Rate
3. Prohibited Zone
4. Valve Point
5. Multifuel
6. Nonsmooth
7. Nonconvex

8. Heuristic Algorithm

9. Genetic Algorithm

10. Simulated Annealing

11. Artificial Neural Network

12. Tabu Search

13. Evolutionary Programming

14. Particle Swarm Optimization

15. Ant Colony Optimization

16. Differential Evolutionary

17. Memetic Algorithm

18. Real Genetic Algorithm

حوزه پیوسته استفاده می‌کند. تپه نوردی¹⁰ روشی است که جستجو را از یک نقطه از فضا (توسط یک عامل¹¹) شروع می‌کند و چنانچه جواب بهتری در اطراف جواب فعلی یافت، آن را جایگزین جواب فعلی می‌کند. در این روش که یک روش جستجوی حریصانه¹² است، نقاط جستجوی جدید در اطراف نقطه فعلی بر اساس یک ره‌یافت تصادفی که وابسته به مسئله است، انتخاب می‌شوند. در الگوریتم ممتیک گروه اول (ترکیب الگوریتم‌های وراثتی و جستجوی محلی تپه‌نوردی)، هر عضو جستجوی محلی تپه‌نوردی را برای بهبود وضعیت خود انجام می‌دهد. در نتیجه این عمل، جمعیتی حاصل می‌شود که هر کدام از اعضای آن به‌طور محلی بهینه‌اند. پس از آن عملگرهای همبری و جهش برای تولید فرزندان اعمال می‌شوند. فرزندان نیز تحت جستجوی محلی قرار می‌گیرند. در نتیجه، بهینه محلی همواره برقرار است.

الگوریتم ممتیک گروه دوم جستجوی محلی را بر مبنای همبری¹³ (XLS) انجام می‌دهند. عملگر همبری دو کروموزوم (والد) را دریافت و با ترکیب اطلاعات آنها دو فرزند ایجاد می‌کند. بنابراین می‌توان از آن به‌عنوان یک راهبرد جستجوی محلی استفاده کرد. به‌عبارتی دیگر، عملگر همبری در XLS، فرزندان توزیع‌شده‌ای اطراف والدین با در نظر گرفتن ارتقای محلی تولید می‌کند.¹⁴ XHC نوعی از روش XLS می‌باشد که در آن از جستجوی تپه‌نوردی در کنار همبری برای تولید نسل بهتر استفاده می‌شود [24].

3-3 الگوریتم‌های پیشنهادی

از آنجایی که موفقیت MA وابسته به تعامل بین قدرت کاوش الگوریتم تکاملی و قدرت کشف جستجوی محلی است، در این مقاله سه نوع متفاوت از MA پیشنهاد شده است که در آنها با سه نحوه متفاوت از انتخاب اعضا برای جستجوی محلی، مصالحه‌ای بین قدرت کاوش الگوریتم تکاملی و قدرت کشف جستجوی محلی ایجاد می‌شود. در روش‌های پیشنهادی از جستجوی محلی تپه‌نوردی استفاده شده است. الگوریتم جستجوی تپه‌نوردی همسایگی‌های پاسخ کنونی را برای یافتن پاسخ بهتر از نظر شایستگی جستجو می‌کند. اگر چنین پاسخی وجود داشته باشد، عضو قبلی با عضو جدید جایگزین می‌شود. با در نظر گرفتن n عضو برای جمعیت و K ، تعداد نمونه‌هایی که جستجوی محلی حول آنها انجام می‌گردد، روش‌های MA پیشنهاد شده به‌صورت زیر است:

نوع اول MA¹⁵ (FVMA): در این نوع MA، فرآیند اولیه n عضو به‌صورت تصادفی تولید می‌کند. جستجوی محلی در اولین تکرار روی n عضو از جمعیت انجام می‌شود. به‌عبارت دیگر در تکرار اول $K = n$ و این مقدار در طی اجراهای برنامه با افزایش تکرارها کاهش یافته که K طبق (1) تعریف می‌شود

$$K = \text{round}\left(n \left(\frac{p-q}{p}\right)\right) \quad (1)$$

که p تعداد ماکزیمم تکرار الگوریتم (تعداد کل تکرارها) و q شماره تکرار کنونی است. در این روش به جستجوی محلی اجازه داده می‌شود

نسبت به روش‌های متداول برخوردار است. GA فضای جستجوی متنوعی از پاسخ، شامل متغیرهای پیوسته، گسسته و محدودیت‌های غیر خطی را به‌طور مؤثری جستجو می‌کند. بدین ترتیب GA قادر است پاسخ‌های مناسبی برای مسئله در یک زمان محاسباتی قابل قبول بیابد. پاسخ بهینه با استفاده از یک فرآیند تصادفی با کمک جمعیتی از پاسخ‌ها جستجو می‌شود. در این روش، الگوریتم با بهبود جمعیت پاسخ‌ها از نسلی به نسل دیگر به سمت جواب بهینه در فضای جستجو حرکت می‌کند. در GA با اعمال سه عملگر وراثتی انتخاب¹، همبری² و جهش³ بر روی جمعیت کنونی، نسل بعد تولید می‌شود. این سه عملگر بر مبنای اتفاق عمل می‌کنند.

GA می‌تواند به‌صورت GA باینری (BGA) و GA حقیقی (RGA) اجرا شود. مرحله اول در حل یک مسئله بهینه‌سازی با استفاده از BGA رمزکردن متغیرها است که به‌صورت آرایه‌ای از 0 و 1ها نشان داده می‌شوند. یک مجموعه از این رشته‌ها جمعیت نامیده می‌شود. سپس عملگرهای وراثتی انتخاب، همبری و جهش روی متغیرهای رمز شده اعمال می‌شود. از طرف دیگر RGA از مقادیر واقعی متغیرها استفاده کرده و عملگرهای وراثتی به‌صورت مستقیم روی متغیرها اعمال می‌شود [25].

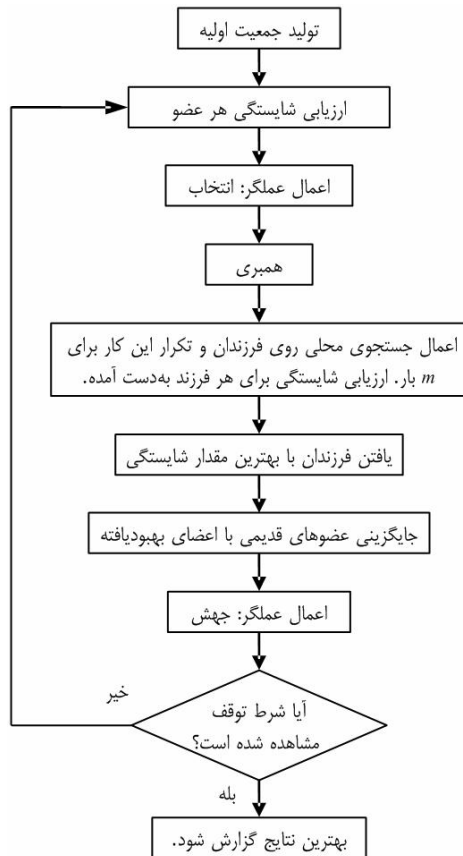
2-2 الگوریتم ممتیک

MA یک روش جستجوی ابر-ابتکاری⁴ بر مبنای جمعیت است که موجودیت خود را از مفهوم meme آقای داوین الهام گرفته است. این روش توسعه‌ای بر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی است که ابزارهای خاصی را برای بهبود اعضا اعمال می‌کند [26] تا [28]. به عبارت دیگر ترکیب الگوریتم‌های تکاملی با جستجوی محلی، الگوریتم MA نامیده می‌شود [29]. این روش‌ها از مدل‌هایی از سیستم‌های طبیعت الهام گرفته‌اند که تطبیق تکاملی جمعیت را با یادگیری شخصی افراد در طول زندگی ترکیب می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که MA می‌تواند ترکیبی از GA و یک جستجوی محلی باشد که از الگوریتم وراثتی برای کاوش⁵ در فضای جستجو و از جستجوی محلی برای بهره‌برداری از اطلاعات در منطقه جستجو استفاده می‌کند. برای اولین بار الگوریتم ممتیک توسط مسکاتو⁶ [28] معرفی شد که ترکیبی از الگوریتم وراثتی پایه و الگوریتم شبیه‌سازی ذوب فلزات بوده است. سپس این الگوریتم توسط نرم‌ن⁷ و مسکاتو مورد استفاده قرار گرفت [29].

الگوریتم ممتیک شبیه به الگوریتم وراثتی است اما اجزا تشکیل‌دهنده آن به جای ژن، مم⁸ نام دارند. از جنبه‌های منحصر به فرد این الگوریتم اینست که به تمام کروموزوم‌ها و فرزندان اجازه داده می‌شود قبل از شرکت در روند تکامل، مجموعه‌ای از تجربیات را به‌وسیله جستجوی محلی کسب کنند. در نتیجه MA برای توصیف الگوریتم وراثتی که به‌طور فاحش از جستجوی محلی استفاده می‌کند، به کار می‌رود. انواع متفاوتی از MA [24] و [30] در مقالات گزارش شده است و ممکن است که به دو گروه متفاوت دسته‌بندی شوند. گروه اول از تأثیر تپه نوردها⁹ در

1. Selection
2. Cross-Over
3. Mutation
4. Meta-Heuristic Algorithm
5. Exploration
6. Moscato
7. Norman
8. Meme
9. Hill-Climbers

10. Hill-Climbing
11. Agent
12. Greedy Search
13. Crossover Based Local Search
14. Crossover Hill-Climbing
15. First Version of Memetic Algorithm



شکل 3: فلوچارت XHC.

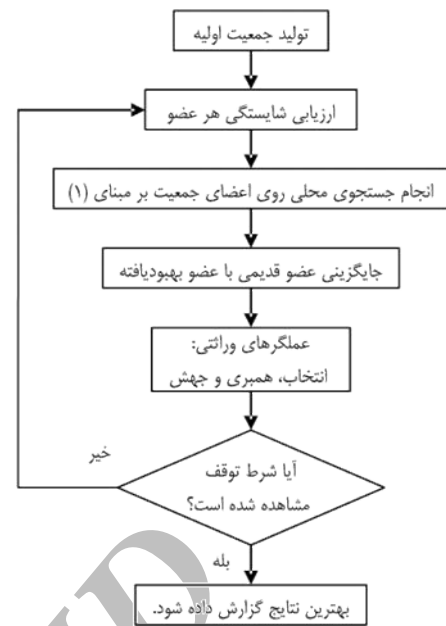
در SVMA، فرآیند تولید n عضو را به صورت تصادفی تولید می‌کند. هر عضو با یک تابع شایستگی ارزیابی می‌شود. سپس K عضو اول با شایستگی بیشتر انتخاب می‌شود. حال جستجوی محلی روی K عضو انتخاب شده اعمال می‌شود. الگوریتم، همسایگی‌های K عضو انتخاب شده را برای یافتن یک پاسخ با مقدار شایستگی بیشتر جستجو می‌کند. اگر پاسخ بهتری وجود داشت، عضو قبلی با عضو جدید به دست آمده، جایگزین می‌شود. این جستجوی محلی می‌تواند m بار برای هر یک از K عضو انتخاب شده تکرار شود.

نوع سوم $MA^2(TVMA)$: در این نوع از MA به جای این که K عضو اول انتخاب شوند، اعضای که مقدار تابع شایستگی آنها مساوی مقدار خاصی یا از آن بیشتر باشد (در صورت مینیمم‌سازی: اعضای که مقدار تابع هزینه آنها از حد خاصی کوچک‌تر یا مساوی باشند)، انتخاب و حول اعضای انتخابی، جستجو انجام می‌شود. از این به بعد به این مقدار خاص آستانه³ می‌گوییم. این جستجوی محلی می‌تواند m بار برای هر یک از اعضا انتخابی تکرار شود.

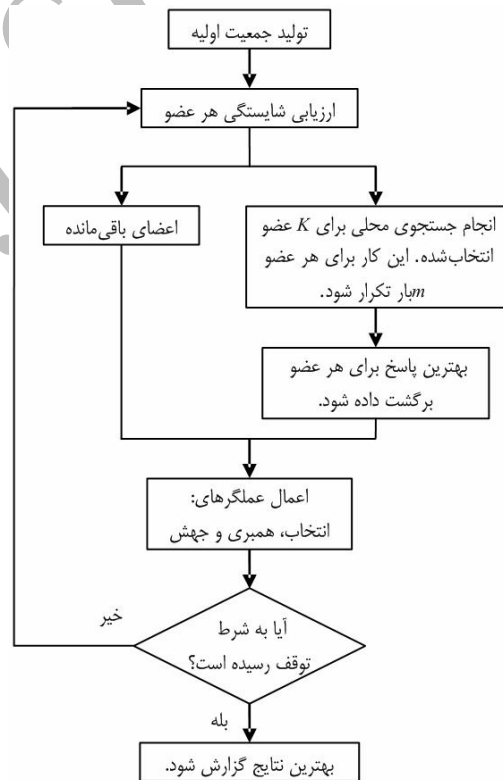
قاعده کلی روش‌های MA پیشنهاد شده در این مقاله در شکل‌های 1 و 2 نشان داده شده است. همچنین قاعده کلی MA برگرفته از مقاله [24] در شکل 3 با عنوان XHC نشان داده شده است.

3- بیان ریاضی مسئله توزیع اقتصادی بار

در حل نوع ساده مسئله ED، فرض می‌شود که خروجی واحدهای تولیدی هم به‌طور آرام و هم به‌صورت آنی قابل تغییر است. اما در عمل، تولید توسط محدودیت‌های تغییرات شیب چنان محدود می‌شود که در بین



شکل 1: فلوچارت FVMA.



شکل 2: فلوچارت SVMA و TVMA.

m نقطه جدید در اطراف هر یک از اعضا مورد نظر را بررسی کند که m یک مقدار ثابتی است و توسط کاربر مشخص می‌شود.

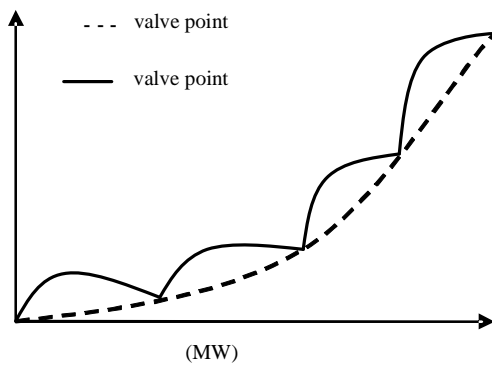
فضای جستجو در مسئله ED بزرگ بوده و از طرفی ممکن است تعداد نقاط بهینه با افزایش اندازه مسئله به‌صورت نمایی رشد کند. این امر طولانی شدن زمان کاوش را موجب می‌شود. در همین راستا و برای رفع این مشکل، دو روش دیگر برای حل مسئله به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

نوع دوم $MA^1(SVMA)$: در این نوع از MA، K یک متغیر نمی‌باشد بلکه مقدار ثابتی است که توسط کاربر مشخص می‌شود.

2. Third Version of Memetic Algorithm

3. Threshold

1. Second Version of Memetic Algorithm



شکل 5: منحنی ورودی - خروجی تحت تأثیر بارگذاری شیر.

$$\max(P_{Gi \min}, P_{Gi}^0 - DR_i) \leq P_{Gi} \leq \min(P_{Gi \max}, P_{Gi}^0 + UR_i) \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_G$$

که P_{Gi}^0 نقطه اجرایی قبلی ژنراتور i ام، P_{Ri} و U_{Ri} به ترتیب محدودیت‌های پایین و بالای ژنراتور i ام می‌باشد. (ب) مناطق اجرایی ممنوعه: یک ژنراتور با مناطق اجرایی ممنوعه، نمودار هزینه سوخت ناپیوسته‌ای دارد. نمودار هزینه سوخت ناپیوسته ژنراتور با در نظر گرفتن مناطق اجرایی ممنوعه در شکل 4 نشان داده است. با در نظر گرفتن مناطق اجرایی ممنوعه قیود (6) در مسئله ED تعریف می‌شود

$$P_{Gi} \in \begin{cases} P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{LBk} \\ P_{Gi}^{UB_{k-1}} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{LBk}, & k = 2, 3, \dots, N_{PZi} \\ P_{Gi}^{UBk} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max}, & k = N_{PZi} \end{cases} \quad (6)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_{GPZ}$$

که P_{Gi}^{UBk} و P_{Gi}^{LBk} به ترتیب کران‌های پایین و بالای منطقه اجرایی ممنوعه k ام از ژنراتور i ام (MW)، N_{PZi} تعداد مناطق ممنوعه ژنراتور i ام و N_{GPZ} تعداد ژنراتورها با مناطق اجرایی ممنوعه می‌باشد. (ج) تأثیر بارگذاری شیر: ژنراتورها معمولاً چندین شیر متفاوت برای بخار دارند که باعث می‌شوند منحنی ورودی - خروجی از حالت یک تابع هزینه هموار خارج شود. هر شیر بخاری که شروع به باز شدن می‌کند، تأثیر بارگذاری آن، خود را به صورت ریپل در شکل 5 نشان می‌دهد. بنابراین برای در نظر گرفتن تأثیر بارگذاری شیر، یک ترم سینوسی به تابع هزینه مرتبه دوم (رابطه (2)) افزوده می‌شود

$$F_i(P_{Gi}) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i + |e_i \sin(f_i(P_{Gi \min} - P_{Gi}))| \quad (7)$$

که e_i و f_i ضرایب ژنراتور i ام برای نشان دادن تأثیر بارگذاری شیر هستند.

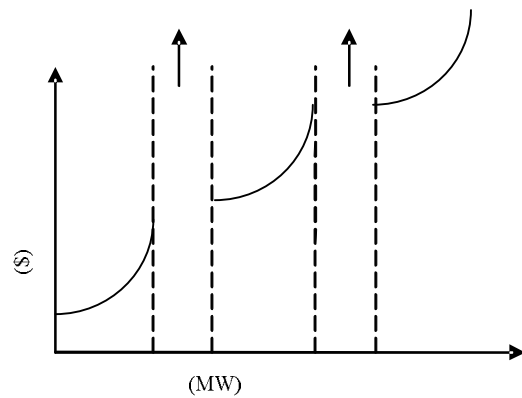
(د) چندگانگی سوخت: یک تابع هزینه مرتبه دوم تکه‌ای برای نشان دادن منحنی ورودی - خروجی ژنراتور با چندین سوخت متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع هزینه مرتبه دوم تکه‌ای (8) و منحنی توابع هزینه حرارتی آن مانند شکل 6 نشان داده می‌شود

$$F_i(P_{Gi}) = a_{ik} P_{Gi}^2 + b_{ik} P_{Gi} + c_{ik}$$

$$\text{if } P_{Gi,k}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,k}^{\max} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, N_G \quad (8)$$

$$k = 1, 2, \dots, N_F$$

برای یک سیستم قدرت با N_G ژنراتور و N_F سوخت متفاوت برای هر واحد، تابع هزینه هر ژنراتور با در نظر گرفتن تأثیر بارگذاری شیر به صورت (9) بیان می‌شود



شکل 4: منحنی ورودی - خروجی با مناطق اجرایی ممنوعه.

دو محدوده از پیش تعیین شده قرار گیرد. علاوه بر آن مناطق اجرایی ممنوعه، تأثیر بارگذاری شیر و چندگانگی سوخت باید مد نظر گرفته شوند. در ادامه مسئله ED متداول و واقعی به‌طور اجمالی توضیح داده می‌شود.

3-1 مسئله ED متداول با توابع هزینه هموار

در مسئله ED متداول، تابع هزینه برای هر ژنراتور به‌طور تقریبی با یک تابع مرتبه دوم نشان داده می‌شود. هدف اولیه در مسئله ED مشخص کردن ترکیب بهینه خروجی توان تمام واحدهای تولیدی است که تقاضای بار مورد نیاز در کمترین هزینه اجرایی را در حالی تولید کنند که محدودیت‌های مساوی و نامساوی موجود در سیستم برآورده شود. بنابراین مسئله ED می‌تواند مانند یک فرآیند مینیمم‌سازی با تابع هدف (2) بیان شود

$$\min F = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \quad (2)$$

به‌طوری که

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} = P_{load} + P_{loss} \quad (3)$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, N_G \quad (4)$$

که در آن F هزینه تولید کل (\$/hr)، F_i تابع هزینه سوخت ژنراتور i ام، N_G تعداد ژنراتورها، P_{Gi} خروجی توان حقیقی ژنراتور i ام، و a_i ، b_i و c_i ضرایب هزینه سوخت ژنراتور i ام، P_{load} بار کل موجود در سیستم (MW)، P_{Loss} تلفات شبکه - که می‌تواند با رابطه تلفات ماتریس B محاسبه شود - $P_{Gi \min}$ و $P_{Gi \max}$ به ترتیب مینیمم و ماکزیمم محدودیت‌های توان تولیدی ژنراتور i ام هستند.

3-2 مسئله ED واقعی با توابع هزینه ناهموار

همان‌طور که اشاره شد، مسئله ED واقعی باید محدودیت‌های تغییرات شیب، مناطق اجرایی ممنوعه، تأثیر بارگذاری شیر و چندگانگی سوخت را در مفروضاتش برای فراهم کردن رابطه ED در نظر بگیرد. در نتیجه مسئله ED به یک مسئله بهینه‌سازی غیر محدب مبدل می‌شود که چندین مینیمم محلی دارد. این باعث می‌شود که مسئله در یافتن بهینه محلی دچار مشکل شود:

(الف) محدودیت تغییرات شیب ژنراتور: با در نظر گرفتن محدودیت تغییرات شیب ژنراتورها، تأثیر محدودیت‌های اجرایی توان حقیقی ژنراتور به‌صورت (5) اصلاح می‌شود

اطلاعات مربوط به این سه سیستم در بخش پیوست الف تا ج آورده شده است.

5- نتایج و آزمایش‌ها

به منظور یافتن کارایی روش‌های MA پیشنهادی، نتایج به دست آمده با روش‌های MA، RGA و نیز با نتایج حاصل از الگوریتم‌های PSO و GA که در [18] و [19] ارائه شده، مقایسه شده است. تعداد اعضای جمعیت و تعداد تکرار الگوریتم‌ها با آنچه که در [18] و [19] گزارش شده است، یکسان در نظر گرفته شده تا بتوان نتایج را در شرایطی برابر با یکدیگر مقایسه کرد. پیاده‌سازی روش‌های RGA، FVMA، SVMa، TVMA و XHC برای حل مسئله ED در سیستم‌های مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد:

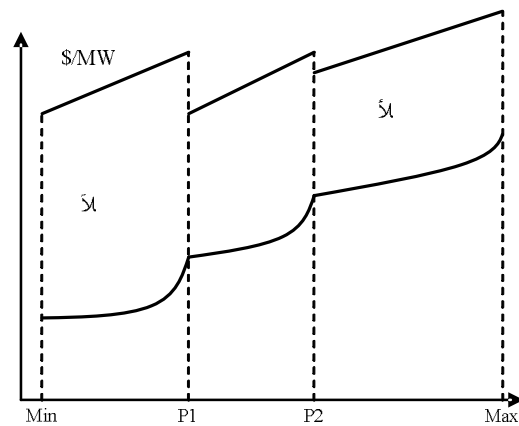
هدف از بهینه‌سازی سیستم مورد مطالعه اول با 6 ژنراتور حرارتی، یافتن بهترین تولید برای ژنراتورها است. بنابراین هر عضو از جمعیت در روش‌های MA و RGA به صورت بردار $[P_{G1}, P_{G2}, P_{G3}, P_{G4}, P_{G5}, P_{G6}]$ در نظر گرفته می‌شود.

تعداد اعضای جمعیت در نظر گرفته شده برای الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی این سیستم 20 عضو است. در RGA ابتدا کروموزوم‌ها به طور تصادفی تولید می‌شوند و سپس کروموزوم‌ها با یک تابع هدف ارزیابی می‌شوند. این ارزیابی با استفاده از (2) و با در نظر گرفتن (5) تا (9) انجام می‌گیرد. در RGA عملگرهای انتخاب، همبری و جهش به ترتیب به صورت چرخ گردان، خطی و گوسی در نظر گرفته شده است.

برای سیستم مورد مطالعه اول، تعداد تکرارها که شرط توقف برنامه است، 50 در نظر گرفته شده است. در SVMa جستجوی محلی حول K عضو انجام می‌گیرد که مقدار K برای این سیستم برابر 5 در نظر گرفته شده است. برای TVMA نیز مقدار K برابر اعضای می‌باشد که هزینه آنها از 1600 کمتر باشد. همچنین مقدار m برای تمام الگوریتم‌ها برابر 5 در نظر گرفته شده است.

برای یافتن کمترین هزینه، الگوریتم 50 بار به صورت مستقل اجرا می‌شود. نتایج به دست آمده از RGA و روش‌های MA در جدول 1 نشان داده شده است. سه ستون آخر این جدول نتایج به دست آمده با GA باینری، PSO و نسخه اصلاح شده PSO با جستجوی محلی (NPSO - LRS) گزارش شده در [18] را نشان می‌دهد. همچنین نتایج با الگوریتم تکامل تقاضی (DE) مقایسه شده است. این جدول نشان می‌دهد که RGA و DE بهتر از GA باینری و PSO عمل می‌کند. همچنین SVMa، FVMA، TVMA و XHC به صورت مشابه، اما بهتر از LPRS - PSO عمل می‌کنند. قابل توجه است که FVMA، SVMa، TVMA، XHC و LPRS - PSO همگی از قابلیت جستجوی محلی برخوردارند. همانگونه پیدا است از میان روش‌های MA، XHC بدترین عملکرد را دارد.

جدول 2 مناطق اجرایی ممنوعه، محدودیت‌های تولید و نتایج به دست آمده با روش‌های MA پیشنهادی و RGA را نشان می‌دهد. همانگونه که پیداست، نتایج به دست آمده محدودیت‌های مسئله را ارضا می‌کنند و در مناطق مجاز تولید قرار دارند. نمودار گرافیکی شکل 7 نتایج به دست آمده برای واحد 2 را نشان می‌دهد که در مناطق مجاز تولید و خارج از مناطق اجرایی ممنوعه قرار دارد. همچنین شکل 8 نشان می‌دهد که تولید تمام واحدها بین محدودیت‌های تولید قرار دارد و شکل 9 هزینه افزایشی به دست آمده از SVMa برای واحدهای متفاوت سیستم مورد مطالعه اول را نشان می‌دهد.



شکل 6: توابع هزینه مرتبه دوم تکه‌ای از یک ژنراتور.

$$F_i(P_{Gi}) = a_{ik} P_{Gi}^2 + b_{ik} P_{Gi} + c_{ik} + |e_{ik} \sin(f_{ik} (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi}))| \quad (9)$$

$$\text{if } P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \text{ for } j = 1, 2, \dots, N_G$$

$$k = 1, 2, \dots, N_F$$

4- سیستم‌های مورد مطالعه

برای بررسی کارایی و قابلیت روش‌های MA پیشنهاد شده در حل مسئله ED، سه سیستم محک متفاوت که فضای جستجوی نامحدوبی دارند، مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم‌های مورد مطالعه به شرح زیر است.

4-1 سیستم مورد مطالعه اول

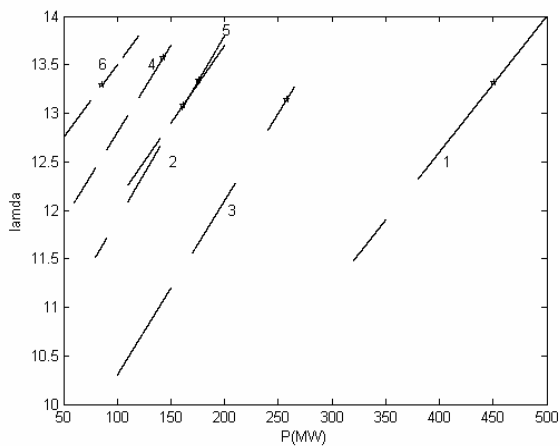
این سیستم شامل 6 ژنراتور حرارتی با محدودیت‌های تغییرات شیب و مناطق اجرایی ممنوعه می‌باشد. اطلاعات ورودی این سیستم 6 ژنراتوری در [18] ارائه شده است. تقاضای بار مورد نیاز این سیستم 1263 MW است. تمام ژنراتورها دارای محدودیت تغییرات شیب هستند و تلفات شبکه با ماتریس B رابطه‌مند شده است. با توجه به [18] بهترین هزینه‌ای که تا کنون برای این سیستم گزارش شده است 15450 \$/h می‌باشد.

4-2 سیستم مورد مطالعه دوم

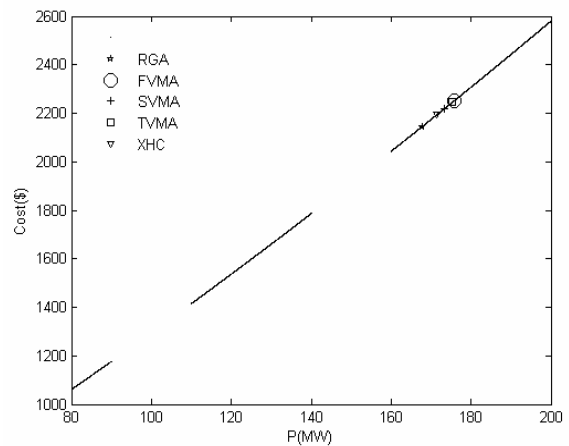
این سیستم شامل 15 ژنراتور حرارتی با محدودیت‌های تغییرات شیب و مناطق اجرایی ممنوعه می‌باشد. اطلاعات ورودی این سیستم 15 ژنراتوری در [19] داده شده است و تقاضای بار مورد نیاز 2630 MW می‌باشد. در این سیستم تمام ژنراتورها محدودیت تغییرات شیب را دارند و تلفات شبکه با ماتریس B رابطه‌مند شده است. تفاوت اساسی بین سیستم‌های مورد مطالعه 1 و 2 در این است که سیستم شماره 2، مینیمم‌های محلی بیشتری نسبت به سیستم شماره 1 دارد. بنابراین توانایی الگوریتم پیشنهاد شده در سیستم‌های بزرگ‌تر که پیچیدگی بیشتری دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به [19] بهترین هزینه‌ای که برای این سیستم تا کنون گزارش شده است 32858 \$/h می‌باشد.

4-3 سیستم مورد مطالعه سوم

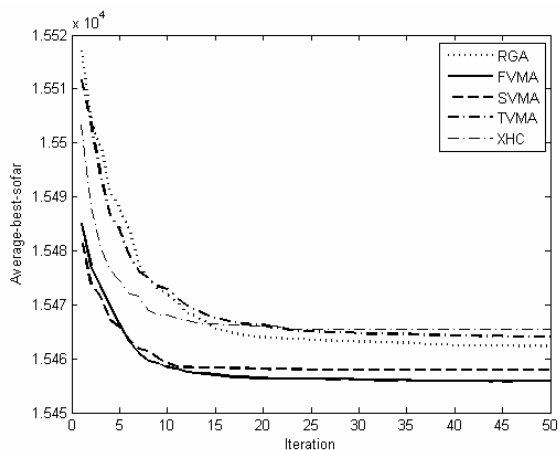
این سیستم مورد مطالعه شامل 10 ژنراتور حرارتی با چندگانگی سوخت و تأثیر بارگذاری شیر می‌باشد [18]. کل تقاضای بار مورد نیاز برای این سیستم 2700 MW است. بهترین نتیجه‌ای که تا به حال برای این سیستم 10 ژنراتوری گزارش شده 624,1273 \$/h است.



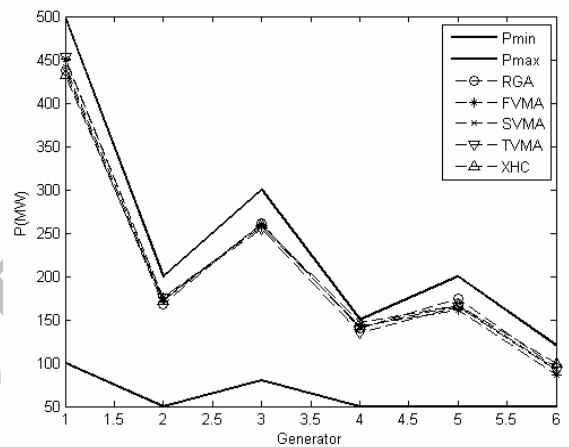
شکل 9: هزینه افزایشی به دست آمده (لامبدا) در سیستم 1.



شکل 7: نتایج به دست آمده برای واحد 2 در سیستم مورد مطالعه اول (تمام نتایج در مناطق اجرایی قرار دارد).



شکل 10: نمودار همگرایی FVMA, SVMA, TVMA, RGA و XHC روی میانگین بهترین نتایج به دست آمده برای سیستم 1.



شکل 8: قراردادن نتایج به دست آمده در محدودیت‌های تولید برای سیستم 1.

جدول 1: مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها (سیستم مورد مطالعه اول: سیستم 6 ژنراتوری).

unit	RGA	FVMA	SVMA	TVMA	XHC	DE	GA ([18])	PSO ([18])	NPSO-LRS ([18])
P1	437,4048	450,81859	441,10864	452,88199	432,18417	448,2764	474,8066	447,497	446,96
P2	167,8328	175,91856	173,2927	175,31595	171,41996	176,3134	178,6363	173,3221	173,3944
P3	261,1205	257,53434	260,01194	254,96714	259,26337	256,5919	262,2089	263,4745	262,3436
P4	139,7865	143,25173	141,374874	135,31257	146,26538	136,4688	134,2826	139,0594	139,512
P5	174,7644	161,65728	167,07667	165,15793	166,24179	167,3463	151,9039	165,4761	164,7089
P6	94,5536	86,12589	92,47441	91,80856	99,88581	90,4343	74,1812	87,128	89,0162
Total generation	1275,4625	1275,3064	1275,33924	1275,4442	1275,2605	1275,4311	1276,03	1276,01	1275,94
Loss	12,47183	12,27508	12,34867	12,43009	12,2594	12,4311	13,0217	12,9584	12,9361
The total load	1262,9907	1263,03132	1262,99057	1263,0141	1263,0011	1263	1263,0083	1263,0516	1263,0039
Cost	15444,772	15443,6025	15443,0277	15443,8501	15446,3718	15443,1318	15459	15450	15450
Time CPU for 50 run	2,706599	9,588897	7,070922	3,097071	15,024	-	-	-	-

بهترین پاسخ یافت شده آن می‌باشد (15443,85 دلار). این مشاهده نشان می‌دهد که TVMA ممکن است در مقایسه با FVMA و SVMA به قدر کافی از تکرارپذیری برخوردار نباشد. بنابراین برای بررسی توانایی روش‌های MA پیشنهادی در یافتن پاسخ و بررسی مشخصه همگرایی آنها، این روش‌ها به یک سیستم بزرگ‌تر اعمال می‌شوند.

تعداد اعضای جمعیت در سیستم مورد مطالعه دوم، 100 عضو در نظر گرفته شده است. در RGA، همبری خطی و جهش گوسی با ضریب همبری $P_c = 0,7$ و ضریب جهش $P_m = 0,1$ استفاده شده است. تعداد

میانگین بهترین نتایج به دست آمده از هر اجرا، ثبت شده و برای 50 اجرای مستقل میانگین‌گیری شده است. نمودار همگرایی الگوریتم‌ها در یافتن مینیمم هزینه در شکل 10 نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که FVMA و SVMA در همگرایی شبیه به یکدیگر عمل نموده اما دارای همگرایی بهتر نسبت به RGA، TVMA و XHC می‌باشند. گرچه بهترین نتایج به دست آمده توسط TVMA در جدول 1 نسبت به RGA بهتر است، اما با توجه به شکل 10 مشخص می‌شود که پاسخ‌های یافت شده دیگر در اجراهای متفاوت توسط TVMA، دور از

جدول 2: قراردادن نتایج به دست آمده برای سیستم 1 در بین محدودیت‌های تولید و مناطق مجاز.

Unit	محدودیت‌های تولید		مناطق ممنوعه		مقادیر بهینه به دست آمده			
	P_{min}	P_{max}	Zone 1 (MW)	Zone 2 (MW)	RGA	FVMA	SVMA	TVMA
1	100	500	[210-240]	[350-380]	452,88199	441,10864	450,81859	437,4048
2	50	200	[90-110]	[140-160]	175,31595	173,2927	175,91856	167,8328
3	80	300	[150-170]	[210-240]	254,96714	260,01194	257,53434	261,1205
4	50	150	[80-90]	[110-120]	135,31257	141,374874	143,25173	139,7865
5	50	200	[90-110]	[140-150]	165,15793	167,07667	161,65728	174,7644
6	50	120	[75-85]	[100-105]	91,80856	92,47441	86,12589	94,5536

جدول 3: مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها (سیستم مورد مطالعه سوم: سیستم 15 ژنراتوری).

	RGA	FVMA	SVMA	TVMA	XHC	DE	GA ([19])	PSO ([19])
P1	453,4254	449,4167	451,7666	441,4642	447,58422	441,5013	415,3108	439,1162
P2	366,5059	376,0855	348,4377	378,8252	377,86384	380	359,7206	407,9727
P3	119,4675	128,4921	128,4636	129,36523	126,64927	130	104,425	119,6324
P4	118,9688	129,3541	128,9972	116,0335	121,47775	130	74,9853	129,9925
P5	166,2064	159,1641	161,5901	165,7145	159,62502	167,3958	380,2844	151,0681
P6	458,4367	455,0237	457,4644	456,7772	458,08802	455,3851	426,7902	459,9978
P7	425,6331	427,209	425,7521	425,2131	423,2246	430	341,3164	425,5601
P8	116,279	96,9708	137,0207	120,7381	88,1951	60	124,7867	98,5699
P9	89,7486	51,1762	75,0004	88,9146	61,61113	128,2531	133,1445	113,4936
P10	114,9537	158,2878	130,8868	122,2215	158,96636	147,2421	89,2567	101,1142
P11	77,693	67,2976	70,5982	79,3302	73,9875	73,1440	60,0572	33,9116
P12	71,345	70,9049	77,6038	74,5396	67,18293	47,9693	49,9998	79,9583
P13	28,1113	26,4766	30,2831	26,1346	36,93463	25	38,7713	25,0042
P14	28,7535	29,8071	20,7348	15,8416	37,73344	15	41,9425	41,414
P15	26,2959	37,7809	19,5886	21,9358	22,84158	33,9453	22,6445	35,614
Total generation	2661,8238	2663,4471	2664,1881	2663,0489	2661,9654	2664,836	2668,4	2262,4
Loss	31,9192	32,1379	33,5005	32,4487	31,9322	33,7693	38,2782	32,4306
The total load	2629,9046	2631,3092	2630,6876	2630,6003	2630,0332	2631,0667	2630,1218	2230,03
cost	32839,2661	32824,5986	32830,1929	32813	32835,3973	32828,7483	33113	32858

در سیستم مورد مطالعه سوم، تعداد جمعیت 30 عضو در نظر گرفته شده است. در RGA، همبندی خطی و جهش گوسی با ضریب همبندی $P_c = 0,9$ و ضریب جهش $P_m = 0,1$ استفاده شده است. تعداد تکرارها برابر 200 (شرط توقف برنامه) در نظر گرفته شده است. در SVMA، جستجوی محلی روی K عضو اول با بهترین شایستگی انجام می‌گیرد که مقدار K ، 5 انتخاب شده است. همچنین در TVMA، مقدار آستانه 685 در نظر گرفته شده است.

برای سیستم مورد مطالعه سوم با 10 ژنراتور، بهترین توان خروجی و نوع سوختشان که از RGA، DE و MA نتیجه شده است در جدول 4 آورده شده است. دو ستون آخر نتایج به دست آمده با یک GA بهبود یافته با به روز رسانی افزاینده (IGA_MU) و NPSO - LRS گزارش شده در [18] را نشان می‌دهند. اطلاعات موجود در جدول 4 نشان می‌دهد که تمام الگوریتم‌های اعمالی در پیدا کردن پاسخ بهینه تقریباً یکسان عمل نموده‌اند.

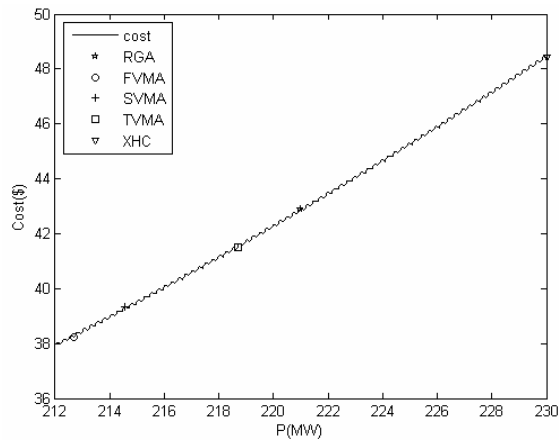
نتایج به دست آمده در محدوده بین مناطق مجاز مسئله قرار دارد. به عنوان مثال شکل 13 نشان می‌دهد که پاسخ به دست آمده توسط تمام الگوریتم‌های شهودی برای واحد 12م بین مناطق اجرایی مجاز قرار دارد. نمودار همگرایی الگوریتم‌ها در یافتن مینیمم هزینه در شکل 14 نمایش داده شده است.

تکرار الگوریتم‌ها برابر 200 در نظر گرفته می‌شود. در SVMA، جستجوی محلی روی K عضو اول با بهترین شایستگی انجام می‌گیرد که مقدار K ، 20 انتخاب شده است. همچنین در TVMA، مقدار آستانه 32925 در نظر گرفته شده است.

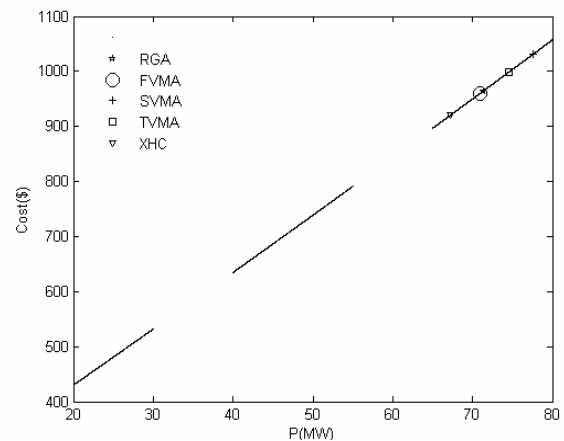
نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها در جدول 3 نشان داده شده است. دو ستون آخر از این جدول نتایج حاصله از GA (نوع باینری) و PSO گزارش شده در [19] را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که بهترین نتایج به دست آمده، مربوط به TVMA است.

نتایج به دست آمده در بین مناطق مجاز قرار دارند و محدودیت‌های مسئله را ارضا می‌کنند. به عنوان مثال شکل 11 نشان می‌دهد که پاسخ به دست آمده توسط تمام الگوریتم‌های شهودی برای واحد 12م بین مناطق اجرایی مجاز قرار دارد.

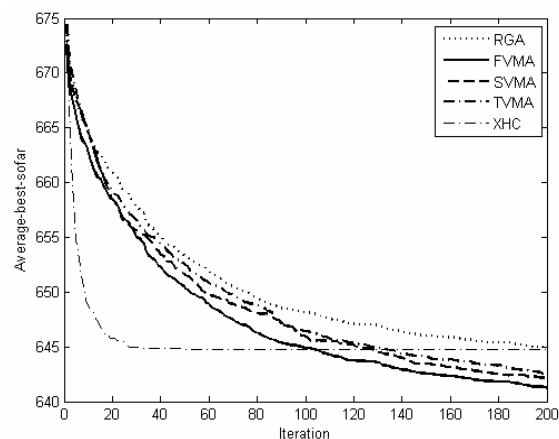
نمودار همگرایی الگوریتم‌ها در یافتن مینیمم هزینه در شکل 12 نشان داده شده است. به علاوه، نتایج به دست آمده برای سیستم مورد مطالعه دوم (جدول 3) نشان می‌دهد که TVMA بهترین نتیجه را داشته است، اما شکل 12 نشان می‌دهد که FVMA مشخصه همگرایی بهتری نسبت به SVMA و TVMA در یافتن پاسخ داشته است. این نشان‌دهنده آن است که تنها درصد کمی از اجراهای مستقل برنامه توسط TVMA به پاسخ بهینه رسیده است (32813).



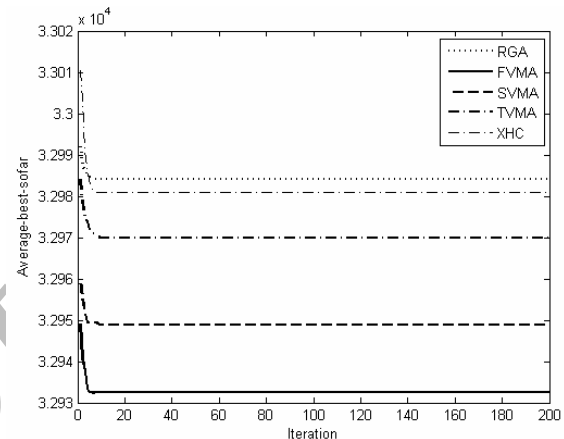
شکل 11: نتایج بهینه به دست آمده با الگوریتم‌های شهودی با محدودیت تأثیر بارگذاری شیر برای ژنراتور 2 در سیستم مورد مطالعه 3.



شکل 12: نتایج بهینه به دست آمده با الگوریتم‌های شهودی با محدودیت‌های تغییرات شیب و مناطق اجرایی ممنوعه برای ژنراتور 12 در سیستم مورد مطالعه 2.



شکل 13: نمودار همگرایی RGA، FVMA، SVMA، TVMA، XHC روی میانگین بهترین نتایج به دست آمده برای سیستم 3.



شکل 14: نمودار همگرایی RGA، FVMA، SVMA، TVMA، XHC روی میانگین بهترین نتایج به دست آمده برای سیستم 2.

جدول 4: مقایسه نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها (سیستم 10 ژنراتوری).

unit	RGA	FVMA	SVMA	TVMA	XHC	DE	IGA_MU ([18])	NPSO-LRS ([18])
p1	203,93508	212,11297	225,7945	228,41938	217,5267	218,6759	219,1261	223,3352
p2	220,98808	212,68437	214,56322	218,68503	230	202,5413	211,1645	212,1957
p3	315,57555	279,51381	280,21733	284,84273	282,2712	295,0786	280,6572	276,2167
p4	252,27553	241,65472	244,61552	243,10594	237,2562	241,1228	238,477	239,4187
p5	289,03987	279,95629	296,09399	274,81321	270,3488	275,0199	276,4179	274,647
p6	241,2329	243,02527	233,86391	236,2849	243,2838	233,1895	240,4672	239,7974
p7	274,11578	290,17183	286,20114	279,72361	290,7225	279,9796	287,7399	285,5388
p8	244,87138	237,362	242,58274	241,40284	237,3019	247,9668	240,7614	240,6323
p9	385,66259	436,57441	416,96351	440	426,2446	423,9764	429,337	429,2637
p10	273,15642	266,9711	259,12771	253,09523	265,1464	282,4797	275,8518	278,9541
Total generation	2700,832	2700,0268	2700,0236	2700,3729	2700,102	2700,0305	2700	2700
cost	629,7698	624,4119	625,3828	625,7116	626,2883	625,4633	624,5178	624,1273
Time	19,16066	104,5671	45,37606	39,17483	173,2978	-	-	-

از تکرارپذیری برخوردار نیست. از میان FVMA، SVMA و FVMA عملکرد بهتری دارد (هزینه کمتر). این به خاطر جستجوی بیشتر فضای جستجو، حول جمعیت می‌باشد، اما زمان اجرا برای یافتن پاسخ خیلی بیشتر از SVMA است. بنابراین با در نظر گرفتن زمان اجرای برنامه، SVMA عملکرد بهتری در یافتن پاسخ نزدیک به بهینه در زمان اجرایی قابل قبول ارائه می‌دهد.

میانگین مقادیر و انحراف معیار نتایج به دست آمده روی 50، 50 و 100 اجرای مستقل به ترتیب برای سیستم‌های مورد مطالعه 1، 2 و 3 در جدول 5 داده شده است. شکل‌های 10، 12 و 14 سرعت همگرایی و تکرارپذیری الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. بهتر است یک الگوریتم در طی اجراهای مستقل، نتایج یکسانی بدهد و از تکرارپذیری برخوردار باشد. اگرچه که جدول 1، 3 و 4 نشان می‌دهد که TVMA پاسخ بهتری داشته است، اما شکل‌های 10 و 12 نشان می‌دهد که این الگوریتم به قدر کافی

Proc. IEEE, Power and Energy Conf., pp. 144-149, 28-29 Nov. 2006.

- [14] N. Sinha, R. Chakrabarti, and P. K. Chattopadhyay, "Evolutionary programming techniques for economic load dispatch," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 83-94, Feb. 2003.
- [15] T. Jayabarathi and G. Sadasivam, "Evolutionary programming-based economic dispatch for units with multiple fuel options," *Eur. Trans. Elect. Power*, vol. 10, no. 3, pp. 167-170, May/June 2000.
- [16] T. Yang, P. C. Yang, and C. L. Huang, "Evolutionary programming based economic dispatch for units with nonsmooth fuel cost functions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 112-118, Feb. 1996.
- [17] J. B. Park, K. S. Lee, J. R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 34-42, Feb. 2005.
- [18] A. I. Selvakumar and K. Thanushkodi, "A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 42-51, Feb. 2007.
- [19] Z. L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 1187-1195, Aug. 2003.
- [20] T. Sum-im, "Economic dispatch by ant colony search algorithm," in *Proc. IEEE Conf. on Cybernetics and Intelligent Systems*, vol. 1, pp. 416-421, 1-4 Dec. 2004.
- [21] Y. H. Hou, Y. W. Wu, L. J. Lu, and X. Y. Xiong, "Generalized ant colony optimization for economic dispatch of power systems," in *Proc. Int. Conf. IEEE Power System Technology, PowerCon'2002*, vol. 1, pp. 225-229, 13-17 Oct. 2002.
- [22] R. E. Perez-Guerrero and J. R. Cedeno-Maldonado, "Economic power dispatch with non-smooth cost functions using differential evolution," in *IEEE Proc. of the 37th Annual North American Power Symp.*, pp. 183-190, 23-25 Oct. 2005.
- [23] S. K. Wang, J. P. Chiou, and C. W. Liu, "Non-smooth/non-convex economic dispatch by a novel hybrid differential evolution algorithm," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 1, no. 5, pp. 793-803, Sep. 2007.
- [24] M. Lozano, F. Herrera, N. Krasnogor, and D. Molina, "Real-Coded memetic algorithms with crossover hill-climbing," *Evolutionary Computation*, vol. 12, no. 3, pp. 273-302, 13 Mar. 2004.
- [25] E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [26] R. Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford, U. K.: Oxford Univ. Press, 1976.
- [27] P. Merz and B. Freisleben, "Fitness landscape analysis and memetic algorithms for the quadratic assignment problem," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 4, no. 4, pp. 337-352, Nov. 2000.
- [28] N. Krasnogor and J. Smith, "A tutorial for competent memetic algorithms: model, taxonomy, and design issues," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 9, no. 5, pp. 474-488, Oct. 2005.
- [29] P. Moscato, *On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Memetic Algorithms*. Towards Memetic Algorithms, Memetic Algorithms' Home Page, URL: www.densis.fee.unicamp.br/~moscato/memetic_home.html.
- [30] A. Caponio, G. L. Cascella, F. Neri, N. Salvatore, and M. Sumner, "A fast adaptive memetic algorithm for off-line and on-line control design of PMSM drives," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics - Part B, Special Issue on Memetic Algorithms*, vol. 37, no. 1, pp. 28-41, Feb. 2007.

مهدی نیستانی کارشناسی خود را در مهندسی برق در سال 1384 از دانشگاه یزد اخذ کرد. او سپس موفق به دریافت کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-کنترل از دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال 1387 شد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او الگوریتم‌های هوشمند، کنترل بهینه و محاسبات نرم و کاربردهای آن است.

ملیحه مغفوری فرسنگی کارشناسی خود را در مهندسی برق-کنترل از دانشگاه فردوسی در سال 1374 دریافت کرد. او سپس دوره دکتری خود را در مهندسی برق از دانشگاه برنول انگلستان در سال 1382 دریافت کرد و اکنون استادیار بخش مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی کنترل و پایداری سیستم‌های قدرت، الگوریتم‌های ابتکاری و رایانش نرم است.

حسین نظام آبادی پور کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در مهندسی برق-الکترونیک به ترتیب از دانشگاه شهید باهنر کرمان و دانشگاه تربیت مدرس در سالهای

جدول 5: میانگین مقادیر و انحراف معیار استاندارد از مقدار شایستگی در اجراهای مستقل.

الگوریتم	سیستم 1		سیستم 2		سیستم 3	
	SD	Ave.	SD	Ave.	SD	Ave.
RGA	12,90	15462,33	48,67	32984,03	19,34	644,88
FVMA	11,48	15455,83	42,79	32932,42	16,93	641,24
SVMA	10,52	15457,88	45,63	32948,79	17,25	642,14
TVMA	16,75	15464,08	47,38	32969,96	19,85	642,51
XHC	11,92	15465,39	46,13	32981	20,01	644,79

6- نتیجه گیری

این مقاله یک روش جایگزین برای حل مسئله ED با استفاده از الگوریتم ممتیک (MA) با سه روش متفاوت برای انجام جستجوی محلی را نشان می‌دهد. دو نوع از مسئله ED ناهموار: ED با محدودیت‌های تغییرات شیب و مناطق اجرایی ممنوعه و ED با ترکیب تأثیر بارگذاری شیر و چندگانگی سوخت در نظر گرفته شده است. با مقایسه نتایج به دست آمده از سه روش MA پیشنهادی و نتایج روش‌های گزارش شده در مقالات، مشاهده شد که روش‌های MA پیشنهادی خیلی مؤثرتر در حل مسئله ED ناهموار عمل کرده‌اند. با در نظر گرفتن زمان اجرای برنامه، SVMA عملکرد بهتری در یافتن پاسخی نزدیک به بهینه در زمان قابل قبول دارد.

مراجع

- [1] J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, 2nd ed. New York: Wiley, 1996.
- [2] P. H. Chen and H. C. Chang, "Large-scale economic dispatch by genetic algorithm," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 4, pp. 1919-1926, Nov. 1995.
- [3] S. O. Orero and M. R. Irving, "Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: a genetic algorithm approach," in *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib.*, vol. 143, no. 6, pp. 529-534, Nov. 1996.
- [4] K. P. Wong and Y. W. Wong, "Genetic and genetic/simulated-annealing approaches to economic dispatch," in *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib.*, vol. 141, no. 5, pp. 507-513, Sep. 1994.
- [5] C. L. Chiang, "Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units with valve-point effects and multiple fuels," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 4, pp. 1690-1699, Nov. 2005.
- [6] D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 1325-1331, Aug. 1993.
- [7] K. P. Wong and C. C. Fung, "Simulated annealing based economic dispatch algorithm," *IEE Proc., pt. C*, vol. 140, no. 6, pp. 509-515, Nov. 1993.
- [8] J. H. Park, Y. S. Kim, I. K. Eom, and K. Y. Lee, "Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hopfield neural network," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 1030-1038, Aug. 1993.
- [9] K. Y. Lee, A. S. Yome, and J. H. Park, "Adaptive Hopfield neural network for economic load dispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 519-526, May 1998.
- [10] T. Yalcinoz, H. Altun, and U. Hasan, "Constrained economic dispatch with prohibited operating zones: a Hopfield neural network approach," in *Proc. IEEE 10th Mediterranean Electrotechnical Conf.*, vol. 2, pp. 570-573, 2000.
- [11] W. M. Lin, F. S. Cheng, and M. T. Tsay, "An improved tabu search for economic dispatch with multiple minima," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 108-112, Feb. 2002.
- [12] H. T. Yang, P. C. Yang, and C. L. Huang, "Evolutionary programming based economic dispatch for units with non-smooth fuel cost functions," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 112-118, Feb. 1996.
- [13] A. M. A. A. Joned, I. Musirin, and A. R. Titik Khawa, "Solving dynamic economic dispatch using evolutionary programming," in

1377 و 1379 دریافت کرد. او سپس مدرک دوره دکترای خود را در مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه تربیت مدرس در سال 1383 اخذ کرد و در همان سال در سمت استادیاری در بخش مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان مشغول به فعالیت شد. وی در حال حاضر در سمت دانشیاری در این دانشگاه مشغول به خدمت است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او الگوریتم‌های ابتکاری، پردازش تصویر، بازشناسی الگو و رایانش نرم است.

Archive of SID