

کاربرد الگوریتم MOGA در شبکه‌های قدرت با لحاظ اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی

مصطفی خواجوی^{۱*}

*۱- مصطفی خواجوی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی دزفول،
mostafa.khajavi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۱۵

چکیده: در این مقاله به منظور استفاده بهینه از نیروگاه‌های سوخت فسیلی در جهت کاهش هزینه سوخت، رزرو و کاهش انتشار آلودگی نیروگاه‌ها به طور هم زمان در شبکه قدرت، با در نظر گرفتن قیودی چون تأثیر دریچه بخار، حد نرخ رمپ، قیود فرکانسی و... یک الگوریتم هوشمند چند هدفه برای حل مسئله پخش بار اقتصادی آلودگی، ارائه شده است. در انتها عملکرد الگوریتم پیشنهادی با دیگر روش‌ها (از قبیل برنامه‌ریزی غیرخطی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی گروهی ذرات، الگوریتم جستجوی باکتریایی و الگوریتم ترکیبی نیلدر مید (جستجوی باکتریایی) مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی، مزیت قیود فرکانسی در کاهش هزینه تولید و مزیت الگوریتم پیشنهادی در بهبود نتایج بهینه‌یابی از نظر دقت و همگرایی نتایج را نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پخش بار اقتصادی، پخش آلودگی، رزرو و آلودگی، تابع هزینه ناصاف، قیود فرکانسی، الگوریتم ژنتیک تکاملی چند هدفه بر اساس اپسیلون متغیر

۱-مقدمه

اقتصادی نیز پیچیده‌تر خواهد شد. لذا روش‌هایی چون گرادیان، لاگرانژ، روش نیوتون رافسون و... به دلیل خصوصیات غیر خطی واقعی ژنراتورها به سختی قابل اعتماد می‌باشند و به علت دقت و سرعت بسیار پایین، دیگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرند [۱]. الگوریتم ژنتیک در حل مسئله موفقیت آمیز می‌باشد؛ اما به دلیل همگرایی زودرس، توانایی جستجو جهت رسیدن به محل یابی احتمالی را کاهش می‌دهد [۲]. جستجوی تابو با وجود سرعت بالا دارای دقت پایینی است [۳]. روش شبکه‌های عصبی، دارای بازه‌های عددی زیاد و سرعت پایینی می‌باشد [۴]. الگوریتم بهینه‌سازی گروهی ذرات^۱ دارای دقت بالا ولی سرعت کم می‌باشد

یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، پخش بار اقتصادی دقیق و مبتنی بر واقعیت می‌باشد؛ به-گونه‌ای که سایر قیود حاکم بر میزان تولید را برآورده سازد. در مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه‌ها، بهره‌برداری اقتصادی ممکن است به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شود، در حالی که هزینه ذخیره چرخان، قابلیت اعتماد و آلودگی هوا نیز ممکن است به عنوان اهداف دیگر مطرح شده باشند. لذا اخیراً هم زمان با پخش بار اقتصادی، پخش آلودگی نیز در نظر گرفته شده است؛ برای حل مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه‌ها، روش‌های بهینه‌سازی متعددی استفاده شده است؛ اما با افزایش متغیرهای سیستم قدرت، پخش بار

سرعت افزایش می‌یابد. این پدیده، اثر درجه بخار^۵ نامیده می‌شود. مطابق «شکل ۱»، اثرات درجه بخار، باعث ایجاد یک تابع هزینه گسسته و نامحدب با چندین نقطه ماکزیمم و مینیمم‌های محلی می‌شود که معمولاً در این نقاط، تابع هزینه مشتق‌پذیر نمی‌باشد. لذا تابع هزینه یک تابع ناصاف، به صورت زیر خواهد بود [۸]:

$$\min F_{\text{cost}} = \sum_{i=1}^N \left[\left(a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + d_i P_i^3 \right) + \left| e_i \cdot \sin \left(f_i (P_{i,\text{min}} - P_i) \right) \right| \right] \quad (3)$$

e_i, f_i ضرایب بازگشت نقاط زانویی تابع هزینه نیروگاه i ام می‌باشد.

۲-۲- تابع هزینه چرخان

ذخیره چرخان باید در سیستم موجود باشد تا در صورت از دست رفتن یک یا چند واحد، افت شدیدی در ولتاژ سیستم ایجاد نشود و از قطع سرویس‌دهی به مصرف‌کنندگان ممانعت نماید. ذخیره چرخان، به منظور تأمین قابلیت اطمینان سیستم، هزینه‌ای را به تولیدکننده تحمیل خواهد کرد به طوری که [۸]:

$$FR_{\text{cost}} = FR_1 + FR_2 + \dots + FR_n = \sum_{i=1}^N FR_i(R_i) \quad (4)$$

FR_{cost} مجموع هزینه رزرو تمام واحدها و R_i رزرو هر واحد می‌باشد. حداقل کردن هزینه FR_{cost} از اهداف مسئله می‌باشد به طوری که:

$$\min FR_{\text{cost}} = \sum_{i=1}^N \left(a_{ri} + b_{ri} R_i + c_{ri} R_i^2 \right) \quad (5)$$

a_{ri}, b_{ri}, c_{ri} ضرایب هزینه هر واحد می‌باشد.

۲-۳- تابع هزینه آلودگی نیروگاه‌ها

تولید توان الکتریکی ناشی از سوخت‌های فسیلی چندین ماده مختلف از جمله ترکیبات اکسیدنیترژن (NO_x) و اکسیدگوگرد (SO_x)، باعث آسیب‌های جهانی و گرم شدن زمین خواهد شد. از این رو پیمان‌هایی با هدف موظف ساختن کشورهای جهان جهت کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای، میان کشورهای جهان به امضاء رسیده است [۹]. این مسئله موجب شد تابع هزینه آلودگی تعریف و بر تابع هزینه اثرگذار گردد. برای یک سیستم قدرت، یک تابع صاف جهت کاهش هزینه

[۵]. الگوریتم جستجوی باکتریایی^۲ یک ناحیه بزرگ جستجو را پوشش می‌دهد اما دارای سرعت همگرایی پایینی می‌باشد [۶]. اخیراً پیشرفت‌هایی در علم محاسبات انجام شده و نتایج بسیار خوبی در حل مسائل بهینه‌سازی با توابع چند هدفه صورت گرفته است [۷]. با توجه به مشکلات اساسی روش‌های مذکور و خصوصاً الگوریتم ژنتیک در رسیدن به جواب بهینه، در این مقاله از روش تکاملی چند هدفه^۳ MOGA- ϵ بر اساس مفهوم ϵ -dominance جهت حل مسئله پخش بار اقتصادی، رزرو و آلودگی^۴ در یک سیستم ۱۳ ژنراتوری با در نظر گرفتن تلفات خطوط انتقال و سایر قیود عملکردی نیروگاه‌ها در جهت کاهش هزینه رزرو چرخان استفاده گردیده است. این روش موجب بهبود نتایج بهینه‌یابی از نظر دقت و همگرایی نتایج می‌گردد.

۲- بیان مسئله

مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه‌ها به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌گردد که از توابع هدف و قیود مسئله تشکیل شده است.

۲-۱- تابع هزینه سوخت نیروگاه‌ها

برای ژنراتور^۱ i ام با توان تولیدی (P_i) ، یک تابع صاف (استاندارد ایزو) جهت هزینه سوخت به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$F_{\text{cost}} = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

$$\min F_{\text{cost}} = \sum_{i=1}^N \left(a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + d_i P_i^3 \right) \quad (2)$$

که در آن F_{cost} هزینه سوخت کل نیروگاه‌ها، a_i, b_i, c_i, d_i ضرایب هزینه واحد نیروگاه i ام و N تعداد نیروگاه‌ها می‌باشد. طبق معادله (۲) هدف از پخش بار اقتصادی، در واقع تلاشی برای استفاده بهتر از منابع انرژی جهت واحدهای تولیدی در مدار است. هنگامی که یک واحد تولید به محض افزایش تولید فراخوانده می‌شود، درجه‌های پذیرش سوخت ژنراتورها، یک به یک باز شده و تلفات درجه کنترل بخار به

$$P_{im} - P_{i(m-1)} \leq UR_i \quad (11)$$

$i \in n, m \in M$

$$P_{i(m-1)} - P_{im} \leq DR_i$$

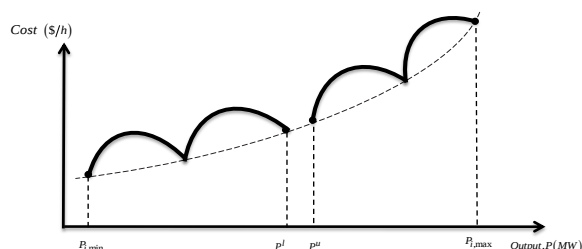
UR_i حداکثر مقدار افزایش و DR_i حداکثر مقدار کاهش تولید نسبت به تولید ساعت قبل نیروگاه i ام و M تعداد ساعت شبانه روز می باشد.

۲-۷- نواحی عملکرد ممنوعه^۶

نواحی عملکرد ممنوعه یک محدوده مکانیکی ژنراتورها می باشد که در صورت قرار گرفتن تولید در این نواحی، مشکلاتی در لوازم جانبی از قبیل پمپ، بویلر و ... در هنگام تولید به وجود می آید [۸]. مطابق «شکل ۱» این نواحی باعث گسستگی در منحنی هزینه خواهند شد. این قیود، به صورت زیر مدل خواهند گردید:

$$\begin{cases} P_{i,min} \leq P_i \leq P'_{i,1} \\ P^u_{i,k-1} \leq P_i \leq P'_{i,k} \\ P^u_{i,z} \leq P_i \leq P_{i,max} \end{cases} \quad (12)$$

و $P'_{i,k}$ و $P^u_{i,z}$: به ترتیب حدود پایین ترین و بالاترین K امین ناحیه



شکل (۱): تابع هزینه نیروگاه با در نظر گرفتن اثر دریچه بخار و نواحی ممنوعه

۲-۸- قید رزرو چرخان ژنراتورها

رزرو چرخان قابل دسترس هر ژنراتور، به ماکزیمم تولید توان آن بستگی دارد آن چنان که [۸]:

$$R_i \leq (P_{i,max} - P_i) \quad (13)$$

۲-۹- قید رزرو چرخان مورد نیاز

$$\sum_{i=1}^N R_i = SP, R_i \leq SP / 4 \quad (14)$$

SP مقدار رزرو چرخان مورد نیاز کل سیستم می باشد. در این مقاله، این ذخیره مورد نیاز برابر ماکزیمم درصدی از بار

آلودگی به صورت زیر تعریف خواهد شد. هدف کلی از مسئله بخش بار آلودگی، کاهش میزان آلاینده های خروجی نیروگاه ها می باشد [۸]:

$$F_{Emission} = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad (6)$$

$$\min F_{Emission} = \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2) \quad (7)$$

$F_{Emission}$ میزان هزینه آلودگی کل نیروگاه ها، $\gamma_i, \beta_i, \alpha_i$

ضرایب آلودگی ژنراتورها می باشند. اعمال قیود عملکردی به صورت یک جا، بخش بار اقتصادی را به شرایط واقعی سیستم نزدیک تر و باعث افزایش دقت مسئله خواهد گردید که به صورت زیر شرح داده خواهند شد.

۲-۴- قیود توازن توان

محدودیت اساسی در بهره برداری سیستم های قدرت این است که مجموع توان های تولیدی، باید مساوی کل بار و تلفات سیستم باشد [۸]. اعمال تلفات خطوط انتقال، ابعاد مسئله را گسترش می دهد. بنابراین:

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{load} + P_{loss} \quad (8)$$

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{i0} P_i + B_{00} \quad (9)$$

که B_{00}, B_{i0}, B_{ij} ضرایب تلفات خط، P_{loss} تلفات خط و P_{load} توان مصرفی سیستم می باشد.

۲-۵- محدودیت تولید ژنراتورها

هر واحد نیروگاهی نصب شده، با توجه به میزان مجاز تولید خود، می تواند توان محدودی را تولید کند آن چنان که:

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (10)$$

۲-۶- نرخ رمپ

در شرایط واقعی، خروجی هر واحد، نمی تواند هنگامی که بار تغییر می کند، به صورت آنی تنظیم شود به طوری که تغییرات تولید در هر ساعت نسبت به ساعت قبل دارای محدودیت می باشند. در این صورت، محدودیت حداکثر افزایش و یا حداکثر کاهش تولید در سیستم به وجود خواهد آمد [۳]:

زمانی، حد ماکزیمم آلودگی از سیستم‌های قدرت افزایش می‌یابد [۸]. بنابراین:

$$\sum_{i=1}^N F_{Emission,j,t} (P_{i,t}) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \beta_i P_{i,t} + \gamma_i P_{i,t}^2) \leq EmCap_t, t \in [t_1, t_2] \quad (19)$$

$EmCap_t$ حد ماکزیمم آلودگی در فاصله زمانی $t \in [t_1, t_2]$ می‌باشد که در پیوست بیان شده است.

۲-۱۳- تابع هدف پیشنهادی

از آنجایی که تابع هزینه سوخت و هزینه رزرو از یک جنس بوده و با تابع آلودگی در تضاد می‌باشند؛ بنابراین ضروری است تا توابع هدف به صورت جداگانه حداقل شوند و به صورت هم‌زمان، مصالحه‌ای بین جواب‌های به دست آمده انجام گردد. پس طبق روابط زیر، مدل کامل تابع هدف تعریف می‌شود:

$$F_1 = \sum_{i=1}^N \left[(a_i + b_i P_{i,t} + c_i P_{i,t}^2 + d_i P_{i,t}^3) + |e_i \cdot \sin(f_i (P_{i,\min,t} - P_{i,t}))| \right] + \sum_{i=1}^N (a_{ri} + b_{ri} R_{i,t} + c_{ri} R_{i,t}^2) \quad (20)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \beta_i P_{i,t} + \gamma_i P_{i,t}^2) \quad (21)$$

$$\begin{cases} F = \min(F_1, F_2) \\ \text{subject to:} \\ \text{Equs: (8) to (19)} \end{cases} \quad (22)$$

اگر هر یک از قیود عملکردی یک واحد تولیدی (U_i) از حد مجاز خود منحرف شود، ضریب قیمت جریمه ($Q_{r,i}$)، به صورت یک تابع پناستی (PF_i)، به توابع هدف به صورت زیر افزوده خواهد گردید:

$$PF_i = \begin{cases} Q_{r,i} (U_i - U_i^{\lim})^2 & \text{if violated} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, Q_{r,i} = \frac{F_{cost,i}(\max)}{F_{Emission,i}(\max)}$$

$$\longrightarrow J = F + \sum_{i=1}^{NC} PF_i \quad (23)$$

۳- الگوریتم $\varepsilon v - MOGA$

$\varepsilon v - MOGA$ یک الگوریتم تکاملی چند هدفه نخبه‌گرا بر اساس مفهوم $\varepsilon - dominance$ می‌باشد. در این روش،

کل (۱۰٪) و توان تولیدی واحدی که بیشترین بخش از توان سیستم را تولید می‌کند، در نظر گرفته شده است [۸]:

$$SP(t) = \max(0.1 * load(t), \max(P_{1,t}, \dots, P_{n,t})) \quad (15)$$

۲-۱۰- حد انحراف فرکانس^۷

سرعت تغییرات فرکانس سیستم به مقدار تولید واحدی که از مدار خارج شده و مقدار انرژی جنبشی و در نهایت به ذخیره چرخان قابل دسترس در سیستم قدرت، مرتبط است و به همین منظور، در مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه‌ها نقش موثری را ایفا می‌کند؛ معمولاً انحراف فرکانس به H/S ۰/۲۵ محدود می‌شود. انحراف فرکانس سیستم بعد از خارج شدن هر واحد به صورت زیر محاسبه خواهد شد [۸]:

$$\frac{df}{dt} = 25 \frac{P}{KE_{sys}} \quad (16)$$

P توان تولیدی واحدی که از مدار خارج شده است و KE_{sys} انرژی جنبشی ذخیره شده در سیستم قدرت می‌باشد.

اگر K امین نیروگاه شامل I_K واحد باشد آنگاه داریم:

$$\left(1 - \frac{1}{I_K}\right) KE_K + \sum_{i=1, i \neq K}^N KE_i \geq \left(\frac{100}{I_K}\right) P_K - KE_{load} \quad (17)$$

KE_{load} : انرژی جنبشی تولید شده توسط بار، KE_i انرژی جنبشی تولید شده توسط واحد i ام و P_K توان مطلوب نیروگاه می‌باشد.

۲-۱۱- قید حداقل فرکانس

قید حداقل فرکانس به رزرو چرخان قابل دسترس ژنراتورها و پاسخ دینامیکی بار بستگی دارد. برای مسئله پخش بار اقتصادی، قید فرکانس به صورت زیر بیان می‌شود [۸]:

$$\left(1 - \frac{1}{I_K}\right) KE_K + \sum_{i=1, i \neq K}^N KE_i \geq C_{j,1} P_{load} + \frac{C_{j,2}}{I} PK + C_{j,3} \sum_{i=1}^N R_i + C_{j,4} \quad (18)$$

ماتریس C برای خطی کردن اثر قید فرکانسی به کار می‌رود و در پیوست بیان شده است.

۲-۱۲- حد ماکزیمم آلودگی

نیروگاه‌ها و سایر منابع آلودگی، سطح بالایی از آلودگی را طی ساعات خاص از روز ساطع می‌کنند. در این فاصله‌های

$$box(\theta^1) < box(\theta^2) \vee (box(\theta^1) = box(\theta^2) \wedge J(\theta^1) < J(\theta^2)) \quad (28)$$

یکی از مزایای الگوریتم $\varepsilon v-MOGA$ نسبت به سایر الگوریتم‌های دیگر این است که از سه جمعیت متفاوت تشکیل شده است که عبارتند از: جمعیت اصلی $[P(t)]$ ، آرشیو $[A(t)]$ که تعداد جمعیت آرشیو هرگز بیشتر از رابطه زیر نخواهد شد:

$$Nind_max_A = \frac{\prod_{i=1}^s n_box_i + 1}{n_box_{max} + 1} \quad (29)$$

و جمعیت کمکی $[G(t)]$ که تعداد آن باید یک عدد زوج در نظر گرفته شود. مراحل اصلی الگوریتم عبارتند از [۱۰]:
مرحله ۱: اولین جمعیت $[P(0)]$ ، با تعداد ذرات $Nind_P$ ، به صورت تصادفی از فضای جستجوی D تعیین می‌شود.

مرحله ۲: مقدار تابع هدف برای هر ذره در $P(t)$ ، محاسبه خواهد شد.

مرحله ۳: ذرات $P(t)$ و $A(t)$ یک به یک آنالیز می‌شوند و ذراتی که توسط ذرات $A(t)$ ε -dominate نیستند، در $A(t)$ گنجانده خواهند شد.

مرحله ۴: در هر تکرار، $G(t)$ به شرح زیر تشکیل خواهد شد: ابتدا دو ذره به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند: θ^{p1} از $P(t)$ و θ^{p2} از $A(t)$ یک عدد به صورت تصادفی متعلق به بازه $u \in [0...1]$ انتخاب می‌شود. اگر $u < P_{c/m}$ ، احتمال تولید مثل و یا جهش، θ^{p1} و θ^{p2} توسط تکنیک ترکیبی خطی توسعه یافته، ترکیب (crossover) خواهند شد و اگر $u \leq P_{c/m}$ ، آنگاه θ^{p1} و θ^{p2} توسط توزیع گاسین، جهش (mutation) پیدا کرده و سپس در $G(t)$ گنجانده خواهند شد.

مرحله ۵: مقدار تابع هدف برای هر ذره در $G(t)$ ، محاسبه خواهد شد.

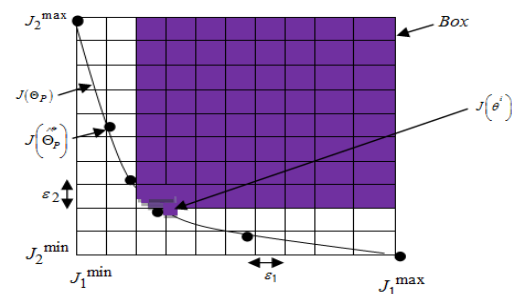
مرحله ۶: ذرات $G(t)$ و $A(t)$ یک به یک آنالیز می‌شوند و ذراتی که توسط ذرات $A(t)$ ε -dominate نیستند،

مجموعه‌ای از جواب‌های مینیمم، ذخیره شده و جهت جلوگیری از همگرایی زودرس استفاده خواهد شد [۱۰].
الگوریتم $\varepsilon v-MOGA$ ، شامل مجموعه ذرات ε پارتو

$(\hat{\Theta}_P^*)$ می‌باشد که همگرایی را به سوی مجموعه بهینه پارتو (Θ_P) ایجاد می‌کند. مطابق «شکل ۲»، فضای تابع هدف در تعداد ثابتی از جعبه‌ها تقسیم شده است. مجموعه ذرات ε پارتو از جواب‌های خارج از محدوده و همگرایی به سوی فقط یک نقطه یا ناحیه داخل فضای تابع، جلوگیری خواهد نمود.
برای هر تابع هدف، با پهنای جعبه ε_i و ذرات Θ_P^* ، برای تعداد n_box_i سلول، روابط زیر برقرار است:

$$\varepsilon_i = J_i^{max} - J_i^{min} / n_box_i \quad (24)$$

$$\hat{\Theta}_P^* \subseteq \Theta_P \wedge (box(\theta^1) \neq box(\theta^2)) \forall \theta^1, \theta^2 \in \hat{\Theta}_P^*, \theta^1 \neq \theta^2,$$



شکل (۲): مفهوم ε -dominance

تمام ذرات واقع در ناحیه هاشورزده توسط θ^i ، ε -dominance می‌باشند.

حدود مقادیر توابع هدف به ازای ذرات بهینه پارتو می‌باشد. برای یک متغیر (θ) ، $box_i(\theta)$ به صورت زیر تعریف خواهد شد:

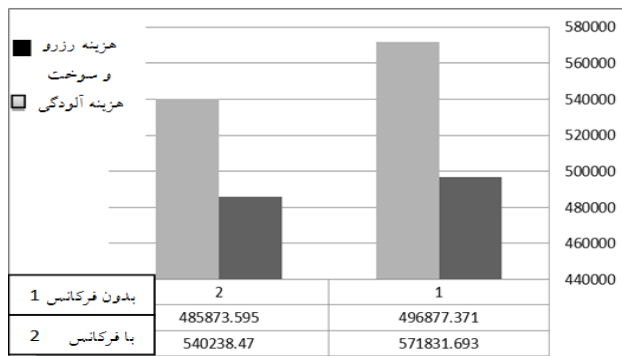
$$box_i(\theta) = \left[\frac{J_i(\theta) - J_i^{min}}{J_i^{max} - J_i^{min}} \cdot n_box_i \right] \quad \forall i \in [1...s] \quad (25)$$

$$box(\theta) = \{box_1(\theta), \dots, box_s(\theta)\} \quad (26)$$

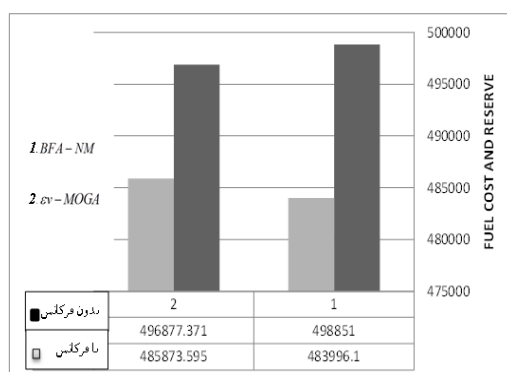
متغیر (θ^1) با مقدار تابع هدف $J(\theta^1)$ ، متغیر (θ^2) با مقدار تابع هدف $J(\theta^2)$ را ε -dominate می‌کند آن چنان که:

$$J(\theta^1) <_{\varepsilon} J(\theta^2) \quad (27)$$

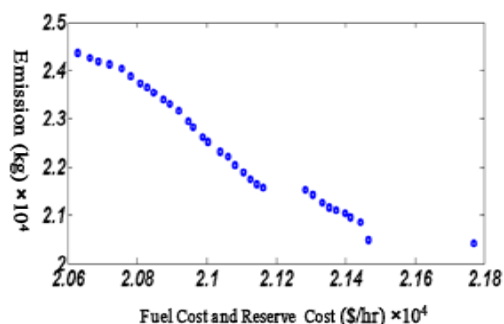
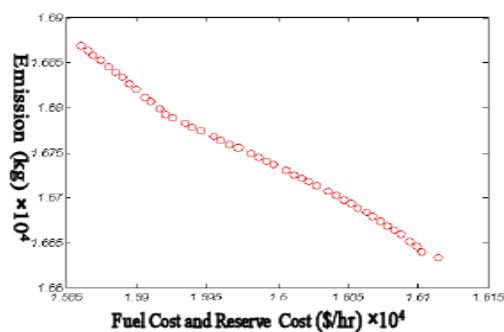
اگر و تنها اگر:



شکل (۳): مقایسه کل هزینه عملکردی و آلودگی سیستم حاصل از الگوریتم $\varepsilon V-MOGA$



شکل (۴): مقایسه هزینه عملکردی کل سیستم حاصل از الگوریتم-های $\varepsilon V-MOGA$ و $BF-NM$



شکل (۵): نمودار بهینه پارتو با قیود فرکانسی (بالا) و بدون قیود فرکانسی (پایین) در ساعت ۸ با استفاده از الگوریتم $\varepsilon V-MOGA$

در $A(t)$ گنجانده خواهند شد و ذراتی از $A(t)$ که توسط ذرات $G(t)$ ، ε -dominated هستند، از $A(t)$ حذف خواهند شد.

مرحله ۷: ذرات $P(t)$ توسط ذرات $G(t)$ آپدیت می‌شود. ذرات $P(t)$ و $G(t)$ یک به یک آنالیز می‌شوند. اگر $J(\theta^G) < J(\theta^P)$ ، آنگاه θ^G جایگزین θ^P می‌شود.

۴- نتایج شبیه سازی

در حل مسئله پخش بار اقتصادی آلودگی (ERELED) با قیود فرکانسی، رزرو چرخان آن چنان که قیود فرکانسی رضایت بخش باشد، تعریف خواهد شد. طبق «جدول ۱»، هزینه رزرو سیستم در ساعت ۸ در مسئله ERELED با قیود فرکانسی نیز کمتر از هزینه رزرو در مسئله ERELED مرسوم برای همه الگوریتم‌های مذکور (الگوریتم های غیر-خطی، نیلدر - مید و...) می‌باشد. همچنین «شکل ۳» نشان بر برتری قیود فرکانسی در جهت کاهش هزینه عملکردی و هزینه آلودگی در حل مسئله ERELED مرسوم و با قیود فرکانسی، با استفاده از روش $\varepsilon V-MOGA$ است. «شکل ۴» نشان می‌دهد که الگوریتم $\varepsilon V-MOGA$ نسبت به الگوریتم $BF-NM$ دارای عملکرد و دقت بهتری می‌باشد و اختلاف معادل بین هزینه‌ها، مزیت قیود فرکانسی را نشان می‌دهد. در «شکل ۵» نمودار بهینه پارتو برای مسئله ERELED مرسوم و مسئله ERELED با قیود فرکانسی، حل شده توسط الگوریتم $\varepsilon V-MOGA$ ، برای بار در ساعت ۸ ارائه شده است.

جدول (۱): هزینه رزرو چرخان مسئله ERELED

ساعت ۸	هزینه رزرو (\$/h)	
	بدون قیود فرکانس	با قیود فرکانس
الگوریتم		
$n-LP[\lambda]$	۹۲۴.۵	۷۶۰.۴
$GA[\lambda]$	۹۹۲.۵	۷۸۶.۷
$BFA[\lambda]$	۹۳۳.۱۳	۷۱۷.۲۶
$PSO[\lambda]$	۹۹۴.۱	۹۰۴.۵
$BF-NM[\lambda]$	۹۱۱.۰	۶۹۶.۰
$\varepsilon V-MOGA$	۸۹۱.۲۵۸	۷۲۲.۲۴۱

۵- نتیجه گیری

در مسئله ERELD با درج قیود فرکانسی در ۲۴ ساعت شبانه روز، هزینه رزرو چرخان، هزینه آلودگی و بالطبع، کل هزینه تولیدی سیستم نسبت به مسئله ERELD مرسوم کاهش می یابد. بنابراین قیود فرکانسی به طور موثر، رفاه اجتماعی مصرف کنندگان و توزیع کنندگان را افزایش خواهد داد. از طرفی دیگر، الگوریتم ε -MOGA، نسبت به الگوریتم های دیگر نظیر الگوریتم $BFA-NM$ دارای عملکرد بهتری بوده (هزینه کمتر) و موجب بهبود نتایج بهینه یابی از نظر دقت و همگرایی می گردد.

مراجع:

- [۱] ر. هوشمند، م. پرستگاری، "کاربرد الگوریتم اقتصادی و پخش آلودگی برای توابع هزینه ناصاف با وجود تلفات خطوط انتقال و محدودیت های عملی سیستم"، نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران، ۱۳۸۷: ۱۹۸-۱۹۱.
- [2] DC.Walters, GB.Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading", Power syst IEE Trans 1993, vol. 8, pp. 1325-32
- [3] A.khamsawang, C. Boonseng, S. Pothiya, "Solving the economic dispatch problem with tabu search algorithm", IEEE International Conference on Industrial Technology, 2002 Dec vol. 1, pp. 274-278
- [4] T. Yalcinoz, M. J. Short, "Neural networks approach for solving economic dispatch problem with transmission capacity constraints", IEEE Trans. On Power System, May 1998, vol. 13, pp. 307-313
- [5] K.T. Chaturvedi, M. Pandit, L. Srivastava, "Environmental economic load dispatch employing particle swarm optimization technique", In: Proceedings

زیر نویس ها

- ¹ Particle Swarm Optimization(PSO)
- ² Bacterial Foraging Algorithm(BFA)
- ³ ε Variable – Multi Objective Genetic Algorithm
- ⁴ Emission, Reserve And Economic Load Dispatch
- ⁵ Valve-Point Effect
- ⁶ Prohibited Operating Zones
- ⁷ Frequency Deviation Limit

رزومه

مصطفی خواجهی در دزفول متولد شده است (۱۳۶۳). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد دزفول (۱۳۸۷)، کارشناسی-ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد دزفول (۱۳۹۳) اخذ کرده و در حال حاضر کارشناس مسئول دفتر فنی و مهندسی شرکت برق منطقه ای خوزستان است. فعالیت های پژوهشی و علاقه مندی ایشان در زمینه شبکه های هوشمند (Smart Grid) و بررسی سیستم های قدرت است.

