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

مصطفی خواجوی [*۱]

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

تاریخ دریافت:۹۴/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۴/۰۸/۲۰

چکیده: در این مقاله به منظور استفاده بهینه از نیروگاه‌های سوخت فسیلی در جهت کاهش هزینهٔ 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 الگوریت‌های 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

یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، پخش بار اقتصادی دقیق و مبتنی بر واقعیت می‌باشد؛ به‌گونه‌ای 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 هزینهٔ 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، روش های بهینه‌سازی متعددی استفاده شده است؛ اما با افزایش متغیر های سیستم قدرت، پخش بار اقتصادی نیز پیچیده‌تر خواهد شد. لذا روش هایی 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 نمی گیرند [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]. جست‌وجوی 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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

[۵]. الگوریتم جستجوی باکتریایی[۲] یک ناحیه بزرگ جستجو را پوشش می‌دهد اما دارای سرعت همگرایی پایینی می‌باشد [۶]. اخیراً پیشرفت‌هایی در علـم محاسـبات انجـام شـده و نتایج بسیار خوبی در حل مسائل بهینه‌سازی با توابـع چنـد هدفه صورت گرفته است [۷]. با توجه به مشـکلات اساسـی روش‌های مذکور و خصوصاً الگوریتم ژنتیک در رسـیدن بـه جواب بهینه، در این مقالـه از روش تکـاملی چنـد هدفـه [۳] εv$-$MOGA بر اساس مفهوم $\varepsilon-$dominance جهت حل مسئله پخش بار اقتصادی، رزرو و آلودگی[۴] در یک سیسـتم ۱۳ ژنراتوری با در نظر گرفتن تلفات خطـوط انتقـال و سـایر قیود عملکردی نیروگـاه‌هـا در جهـت کـاهش هزینـه رزرو چرخان استفاده گردیده است. این روش موجب بهبود نتـایج بهینه‌یابی از نظر دقت و همگرایی نتایج می‌گردد.

۲- بیان مسئله

مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاها 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 iام با توان تولیدی (P_i)، یـک تـابع صـاف (استاندارد ایزو) جهت هزینهٔ سوخت به صورت زیر تعریـف خواهد شد:

$$F_{cost} = F_1 + F_2 + ... + F_n = \sum_{i=1}^{N} F_i(P_i) \quad (۱)$$

$$\min\ F_{cost} = \sum_{i=1}^{N} \left(a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + d_i P_i^3\right) \quad (۲)$$

که در آن F_{cost} هزینهٔ سوخت کل نیروگاه‌هـا، a_i, b_i, c_i, d_i ضرایب هزینهٔ واحد نیروگاه iام و N تعداد نیروگاه‌هـا مـی‌باشد. طبق معادله (۲) هدف از پخش بار اقتصـادی، در واقـع تلاشی برای استفادهٔ بهتر از منابع انرژی جهـت واحـدهـای تولیدی در مدار است. هنگامی که یک واحد تولید به محـض افزایش تولید فراخوانده می‌شود، دریچه‌های پذیرش سوخت ژنراتورها، یک به یک باز شده و تلفات دریچه کنترل بخار به سرعت افزایش می‌یابد. این پدیده، اثر دریچه بخار[۵] نامیـده می شود. مطابق «شکل ۱»، اثرات دریچه بخار، باعث ایجـاد یک تابع هزینهٔ گسسته و نامحدب با چندین نقطه ماکزیمم و مینیمم‌های محلی می‌شود که معمولاً در این نقاط، تابع هزینه مشتق‌پذیر نمی‌باشد. لذا تابع هزینه یـک تـابع ناصـاف، بـه صورت زیر خواهد بود [۸]:

$$\min\ F_{cost} = \sum_{i=1}^{N} \left[\left(a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + d_i P_i^3\right) + \left| e_i . \sin\left(f_i\left(P_{i,\min} - P_i\right)\right)\right| \right] \quad (۳)$$

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

۲-۲- تابع هزینهٔ چرخان

ذخیرهٔ چرخان باید در سیستم موجود باشد تا در صورت از دست رفتن یک یا چنـد واحـد، افـت شـدیدی در ولتـاژ سیستم ایجاد نشود و از قطـع سـرویس‌دهـی بـه مصـرف-کنندگان ممانعت نماید. ذخیرهٔ چرخـان، بـه منظـور تـأمین قابلیت اطمینان سیستم، هزینه‌ای را به تولیدکننده تحمیـل خواهد کرد به طوری که [۸]:

$$FR_{cost} = FR_1 + FR_2 + ... + FR_n = \sum_{i=1}^{N} FR_i(R_i) \quad (۴)$$

FR_{cost} مجموع هزینهٔ رزرو تمام واحدها و R_i رزرو هـر واحد می‌باشد. حداقل کـردن هزینـه FR_{cost} از اهـداف مسئله می باشد به طوری که:

$$\min FR_{cost} = \sum_{i=1}^{N} \left(a_{ri} + b_{ri} R_i + c_{ri} R_i^2\right) \quad (۵)$$

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

۲-۳- تابع هزینهٔ آلودگی نیروگاه‌ها

تولید توان الکتریکی ناشی از سوخت‌های فسیلی چندین ماده مختلف از جمله ترکیبات اکسیدنیتروژن (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 هزینهٔ آلودگی تعریف و بر تابع هزینه اثرگذار گردد. برای یک سیستم قدرت، یک تابع صاف جهت کاهش هزینهٔ

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

آلودگی به صورت زیر تعریف خواهد شد. هدف کلی از مسئلهٔ پخش بار آلودگی، کاهش میزان آلایندگی خروجی نیروگاه‌ها می‌باشد [۸]:

$$F_{Emisson} = F_1 + F_2 + ... + F_n \quad (۶)$$

$$\min F_{Emisson} = \sum_{i=1}^{N} \left(\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \right) \quad (۷)$$

$F_{Emisson}$ میزان هزینهٔ آلودگی کل نیروگاه‌ها ، $\gamma_i, \beta_i, \alpha_i$ ضرایب آلودگی ژنراتورها می‌باشند. اعمال قیود عملکردی به صورت یک جا، پخش بار اقتصادی را به شرایط واقعی سیستم نزدیک‌تر و باعث افزایش دقت مسئله خواهد گردید که به صورت زیر شرح داده خواهند شد.

۲-۴-قیود توازن توان

محدودیت اساسی در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت این است که مجموع توان‌های تولیدی، باید مساوی کل بار و تلفات سیستم باشد [۸]. اعمال تلفات خطوط انتقال، ابعاد مسئله را گسترش می‌دهد. بنابراین:

$$\sum_{i=1}^{N} P_i = P_{load} + P_{loss} \quad (۸)$$

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{N} B_{i0} P_i + B_{00} \quad (۹)$$

که B_{oo}, B_{io}, B_{ij} ضرایب تلفات خط، P_{loss} تلفات خط و P_{load} توان مصرفی سیستم می‌باشد.

۲-۵-محدودیت تولید ژنراتورها

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

$$P_{i,\min} \le P_i \le P_{i,\max} \quad (۱۰)$$

۲-۶-نرخ رمپ

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

$$\begin{aligned} & P_{im} - P_{i(m-1)} \le UR_i \\ & ,\mathbf{i} \in n, m \in M \\ & P_{i(m-1)} - P_{im} \le DR_i \end{aligned} \quad (۱۱)$$

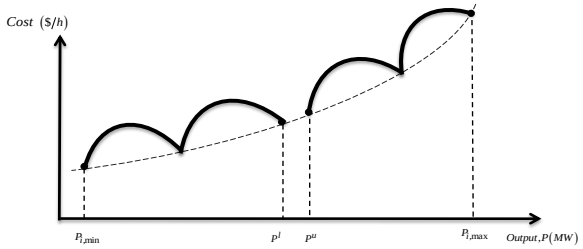
UR_i حداکثر مقدار افزایش و DR_i حداکثر مقدار کاهش تولید نسبت به تولید ساعت قبل نیروگاه iام و M تعداد ساعت شبانه روز می‌باشد.

۲-۷-نواحی عملکرد ممنوعه[۶]

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

$$\begin{cases} P_{i,\min} \le P_i \le P'_{i,1} \\ P^u{}_{i,k-1} \le P_i \le P'_{i,k} \\ P^u{}_{i,z} \le P_i \le P_{i,\max} \end{cases} \quad (۱۲)$$

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



شکل(۱): تابع هزینهٔ نیروگاه با در نظرگرفتن 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]:

$$R_i \le \left(P_{i,\max} - P_i \right) \quad (۱۳)$$

۲-۹-قید رزرو چرخان مورد نیاز

$$\sum_{i=1}^{N} R_i = SP, R_i \langle SP / 4 \quad (۱۴)$$

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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

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

$$SP(t)=\max\left(0.1*load(t)\ ,\ \max\left(P_{1,t},...,P_{n,t}\right)\right) \quad (۱۵)$$

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 ذخیرهٔ چرخان قابل دسترس در سیستم قدرت، مرتبط است و به همین منظور، در مسئلهٔ پخش بار اقتصادی نیروگاه‌ها نقش موثری را ایفا می‌کند؛ معمولاً انحراف فرکانس به H/S ۰/۲۵ محدود می‌شود. انحراف فرکانس سیستم بعد ازخارج شدن هر واحد به صورت زیر محاسبه خواهد شد [۸]:

$$\frac{df}{dt}=25\frac{P}{KE_{sys}} \quad (۱۶)$$

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 l_K واحد باشد آنگاه داریم:

$$\left(1-\frac{1}{l_K}\right)KE_k+\sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{N}KE_i\geq\left(\frac{100}{l_K}\right)P_k-KE_{load} \quad (۱۷)$$

KE_{load}: انرژی جنبشی تولید شده توسط بار، KE_iانرژی جنبشی تولید شده توسط واحد iام و P_k توان مطلوب نیروگاه می باشد.

۲-۱۱-قید حداقل فرکانس

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

$$\left(1-\frac{1}{l_K}\right)KE_k+\sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{N}KE_i\geq C_{j,1}P_{load}+\frac{C_{j,2}}{l}.PK+C_{j,3}\sum_{\substack{i=l\\ i=k}}^{N}R_i+C_{j,4} \quad (۱۸)$$

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

$$\sum_{i=1}^{N}F_{Emission,j,t}\left(P_{i,t}\right)=\sum_{i=1}^{N}\left(\alpha_i+\beta_iP_{i,t}+\gamma_iP^2{}_{i,t}\right)\leq EmCap_t\ ,t\in\left[t_1,t_2\right] \quad (۱۹)$$

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

۲-۱۳-تابع هدف پیشنهادی

از آن‌جایی که تابع هزینهٔ سوخت و هزینهٔ 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:

$$F_1=\sum_{i=1}^{N}\left[\left(a_i+b_iP_{i,t}+c_iP_{i,t}{}^2+d_iP_{i,t}{}^3\right)+\left|e_i.\sin\left(f_i\left(P_{i,\min,t}-P_{i,t}\right)\right)\right|\right]+\sum_{i=1}^{N}\left(a_{ri}+b_{ri}R_{i,t}+c_{ri}R_{i,t}{}^2\right) \quad (۲۰)$$

$$F_2=\sum_{i=1}^{N}\left(\alpha_i+\beta_iP_{i,t}+\gamma_iP_{i,t}{}^2\right) \quad (۲۱)$$

$$\begin{cases}F=Min(F_1,F_2)\\ subject\ \ to:\\ Equs:(8)\ to\ (19)\end{cases} \quad (۲۲)$$

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 پنالتی (PF_i)، به توابع هدف به صورت زیر افزوده خواهد گردید:

$$PF_i=\begin{cases}Q_{r,j}\left(U_i-Ul^{\lim}\right)^2 & if\ violated\\ 0 & otherwise\end{cases},\ Q_{r,j}=\frac{F_{\cos t,j}(\max)}{F_{Emisson,j}(\max)}$$

$$\Rightarrow\ J=F+\sum_{i=1}^{NC}PF_i \quad (۲۳)$$

۳-الگوریتم $\varepsilon v-MOGA$

$\varepsilon v-MOGA$ یک الگوریتم تکاملی چند هدفهٔ نخبه گرا بر اساس مفهوم $\varepsilon-do\min ance$ می‌باشد. در این روش،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

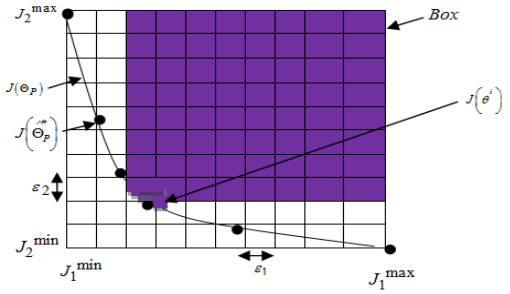
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

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 $\left(\hat{\Theta}_P^*\right)$ می‌باشد که همگرایی را به سوی مجموعه بهینهٔ 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 $\hat{\Theta}_P^*$، برای تعداد n_box_i سلول، روابط زیر برقرار است:

$$\varepsilon_i = J_i^{\max} - J_i^{\min} \big/ n_box_i \qquad (۲۴)$$

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



شکل(۲): مفهوم $\varepsilon-do\min ance$.

تمام ذرات واقع در ناحیه هاشورزده توسط θ^i، $\varepsilon-do\min ance$ می‌باشند.

$J_i^{\max}$ و $J_i^{\min}$ حدود مقادیر توابع هدف به ازای ذرات بهینهٔ پارتو می‌باشد. برای یک متغیر (θ)، $box_i(\theta)$ به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$box_i(\theta) = \left[\frac{J_i(\theta) - J_i^{\min}}{J_i^{\max} - J_i^{\min}} . n_box_i\right] \quad \forall i \in [1...s] \qquad (۲۵)$$

$$box(\theta) = \left\{box_1(\theta),...,box_s(\theta)\right\} \qquad (۲۶)$$

متغیر $\left(\theta^1\right)$ با مقدار تابع هدف $J\left(\theta^1\right)$، متغیر $\left(\theta^2\right)$ با مقدار تابع هدف $J\left(\theta^2\right)$ را $\varepsilon-\text{dominate}$ می‌کند آن چنان که:

$$J\left(\theta^1\right) \prec_\varepsilon J\left(\theta^2\right) \qquad (۲۷)$$

اگر و تنها اگر:

$$box\left(\theta^1\right) \prec box\left(\theta^2\right) \vee \left(box\left(\theta^1\right) = box\left(\theta^2\right) \wedge J\left(\theta^1\right) \prec J\left(\theta^2\right)\right) \qquad (۲۸)$$

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 $\left[P(t)\right]$، آرشیو $\left[A(t)\right]$ که تعداد جمعیت آرشیو هرگز بیشتر از رابطه زیر نخواهد شد:

$$Nind_\max_A = \frac{\prod_{i=1}^{s} n_box_i + 1}{n_box_{\max} + 1} \qquad (۲۹)$$

و جمعیت کمکی[۸] $\left[G(t)\right]$ که تعداد آن باید یک عدد زوج در نظر گرفته شود. مراحل اصلی الگوریتم عبارتند از [۱۰]:

مرحله ۱: اولین جمعیت $\left[P(0)\right]$، 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 $A(t)$، $\varepsilon-dominate$ نیستند، در $A(t)$ گنجانده خواهند شد.

مرحله ۴: در هر تکرار، $G(t)$ به شرح زیرتشکیل 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 $u \langle P_{c/m}$ ($P_{c/m}$: 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 $A(t)$، $\varepsilon-dominate$ نیستند،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

در $A(t)$ گنجانده خواهند شد و ذراتی از $A(t)$ که توسط ذرات $G(t)$، $\varepsilon - do\min ated$ هستند، از $A(t)$ حذف خواهند شد.

مرحله ۷: ذرات $P(t)$ توسط ذرات $G(t)$ آپدیت می‌شود.

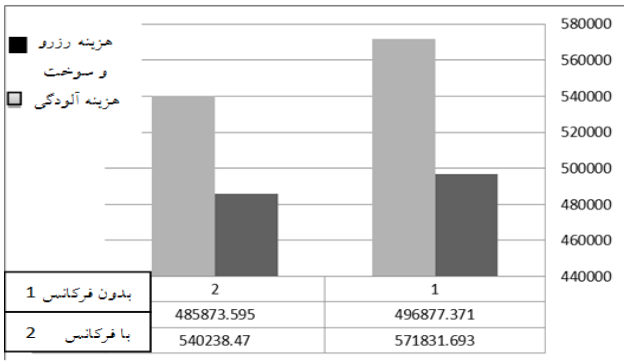
ذرات $P(t)$ و $G(t)$ یک به یک آنالیز می‌شوند. اگر $J(\theta^G) \prec J(\theta^P)$، آنگاه θ^G جایگزین θ^P می‌شود.

۴-نتایج شبیه سازی

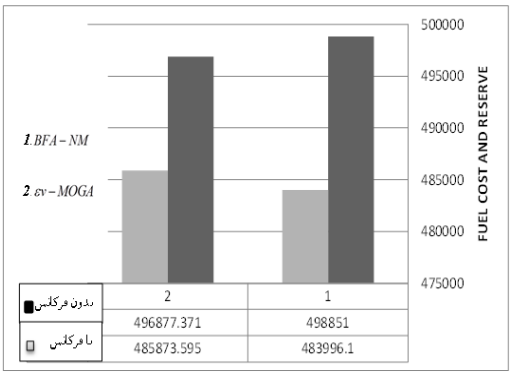
در حل مسئلهٔ پخش بار اقتصادی آلودگی $(ERELD)$ با قیود فرکانسی، رزرو چرخان آن چنان که قیود فرکانسی رضایت بخش باشد، تعریف خواهد شد. طبق «جدول ۱»، هزینهٔ رزرو سیستم در ساعت ۸ در مسئلهٔ ERELD با قیود فرکانسی نیز کمتر از هزینه رزرو در مسئلهٔ ERELD مرسوم برای همهٔ الگوریتم‌های مذکور (الگوریتم های غیر-خطی، نیلدر – مید و..) می‌باشد. همچنین «شکل ۳» نشان بر برتری قیود فرکانسی در جهت کاهش هزینهٔ عملکردی و هزینهٔ آلودگی در حل مسئلهٔ ERELD 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 بهینهٔ پارتو برای مسئلهٔ ERELD مرسوم و مسئلهٔ ERELD با قیود فرکانسی، حل شده توسط الگوریتم $\varepsilon v - MOGA$، برای بار در ساعت ۸ ارائه شده است.

جدول(۱): هزینهٔ رزرو چرخان مسئله ERELD

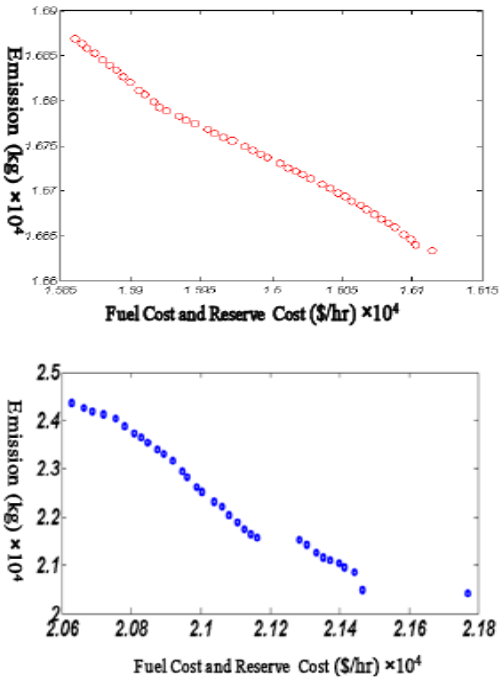
ساعت ۸	هزینه رزرو $(\$/h)$	
الگوریتم	با قیود فرکانس	بدون قیود فرکانس
$n-LP$ [۸]	۷۶۰.۴	۹۲۴.۵
GA [۸]	۷۸۶.۷	۹۹۲.۵
BFA [۸]	۷۱۷.۲۶	۹۳۳.۱۳
PSO [۸]	۹۰۴.۵	۹۹۴.۱
BF – NM [۸]	۶۹۶.۰	۹۱۱.۰
$\varepsilon v - MOGA$	۷۲۲.۲۴۱	۸۹۱.۲۵۸



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



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



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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۵- نتیجه‌گیری

در مسئلهٔ ERELD با درج قیود فرکانسی در ۲۴ ساعت شبانه‌روز، هزینهٔ رزرو چرخان، هزینهٔ آلودگی و بالطبع، کل هزینهٔ تولیدی سیستم نسبت به مسئله ERELD مرسوم کاهش می‌یابد. بنابراین قیود فرکانسی به طور موثر، رفاه اجتماعی مصرف کنندگان و توزیع‌کنندگان را افزایش خواهد داد. از طرفی دیگر، الگوریتم $\varepsilon v-MOGA$، نسبت به الگوریتم‌های دیگر نظیر الگوریتم $BFA-NM$ دارای عملکرد بهتری بوده (هزینه کمتر) و موجب بهبود نتایج بهینه‌یابی از نظر دقت و همگرایی می‌گردد.

مراجع:

[۱]ر. هوشمند، م. پرستگاری،" کاربرد الگوریتم اقتصادی و پخش آلودگی برای توابع هزینه ناصاف با وجود تلقات 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 of the InternationalConference on Recent Advances and Applications 0f Computer in Electrical Engineering, (RACE), Bikaner, India, March 24–25, 2007.

[6] K .Passino, "Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control", IEEE Control Syst Mag 2002;16(4):52–67.

[7] M.A.Abido," Multi objective evolutionary algorithm for electric power dispatchproblem", IEEE Transaction on Evolvtionary Computation,June 2006 vol 10, no.3

[8] R. Hooshmand, M. Parastegari, M. J .Morshed, "Emission, reserve and economic load dispatch problem with non-smooth and non convex cost functions using the hybrid bacterial foraging-Nelder–Mead algorithm", Applied Energy 89 (2012) 443– 453.

[9] Kyoto protocol to the united nation framework convention on climate change english conference on the parties third session kyoto 1997; p. 1-10.

[10] J.M. Herrero, X. Blasco, M. Martı´nez, C. Ramos, J. Sanchis,"Non-linear robust identification of agreenhouse model using multi-objective evolutionary algorithms", B0 systems Engineering 98 (2007), 335 – 346.

رزومه

مصطفی خواجوی 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 ودر حال حاضر کارشناس مسئول دفتر فنی و مهندسی شرکت برق منطقه‌ای خوزستان است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه شبکه-های هوشمند(Smart Grid) و بررسی سیستم‌های قدرت است.

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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.1.2]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013