

# پخش بار اقتصادی-زیست محیطی در سیستم‌های قدرت با روش بهبود یافته جستجوی سیستم‌های باردار

وحید وحیدی نسب<sup>۱</sup>، رشید خادم‌زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۹۳/۸/۶

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۳/۱۱/۲۵

## چکیده:

پخش بار اقتصادی یکی از روش‌های بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت به منظور افزایش بازدهی، کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت به وسیله ایجاد کردن تعادل بین بار و تولید می‌باشد. در این مسأله، مقدار تولید بهینه اقتصادی هر یک از واحدهای تولید مشخص می‌شود. از آنجا که مشکلات زیست محیطی امروزه اهمیت زیادی پیدا کرده و قوانین متعددی برای کم کردن این مشکلات وضع شده است، امروزه مسأله انتشار آلاینده‌ها در پخش بار اقتصادی نیز مدنظر قرار می‌گیرد. در این مقاله، الگوریتم جستجوی سیستم باردار اصلاح شده (MCSS)<sup>۱</sup> به عنوان روشی جدید برای بهینه‌سازی مسأله مذکور پیشنهاد و مدل مربوط به آن ارائه گردیده است. الگوریتم MCSS روشی است با سرعت و دقت بالا که برگرفته از علوم مغناطیس و مکانیک است. همچنین به دلیل اینکه در نظر گرفتن هم‌زمان توابع هدف مربوط به کاهش هزینه تولید انرژی و کاهش میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در قالب یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفی ممکن خواهد بود، لذا برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه پخش بار اقتصادی-زیست محیطی از روش بهینه‌سازی جمع وزنی استفاده شده است. مدل‌های مذکور روی شبکه استاندارد ۳۰ شینه IEEE شبیه‌سازی شده و نتایج آن در مقایسه با هفت روش مختلف نشان‌دهنده بهبود نتایج می‌باشد.

## کلمات کلیدی:

پخش بار اقتصادی-زیست محیطی، الگوریتم MCSS، پخش بار مستقیم، بهینه‌سازی چندهدفی

(۱) استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)  
v\_vahidinasab@sbu.ac.ir  
(۲) کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی  
rashid\_khademzade@yahoo.com

## مقدمه

در مسأله پخش بار اقتصادی توابع هدف مختلفی را می‌توان انتخاب کرد. یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین توابع هدف، حداقل کردن هزینه بهره‌برداری است که شامل فاصله تولید تا مصرف، نوع سوخت، ظرفیت بار و تلفات خطوط می‌باشد. بدون در نظر گرفتن انتشار آلاینده‌های جوی، اپراتور مستقل سیستم (ISO) با استفاده از مدل حوضچه<sup>۱</sup> پخش بار اقتصادی را اجرا می‌کند و قیمت واحدی را برای برق به دست می‌آورد. این قیمت می‌تواند به بازیگران بازار کمک زیادی کند که چه زمانی سرمایه‌گذاری کنند و به مصرف‌کنندگان نیز هشدارهای لازم را برای کم کردن مصرف خود در زمان قیمت زیاد می‌دهد [۱].

مسائل زیست‌محیطی نیروگاه‌ها و انتشار آلاینده‌ها یکی از دغدغه‌های مهم جوامع امروزی است. قوانین زیادی برای دست‌یافتن به هوایی پاک وضع شده است که نیروگاه‌ها را مجبور به کاهش گازهای آلاینده بخصوص گازهای اکسید سولفور ( $SO_x$ ) و اکسید نیتروژن ( $NO_x$ ) می‌کند. چندین روش برای کم کردن این آلاینده‌ها وجود دارد که شامل نصب تجهیزات پاک‌کننده آلاینده‌ها، تغییر نوع سوخت به سوخت‌هایی با آلودگی کم، استفاده از منابع پاک مانند فتوولتائیک و توزیع بهینه انتشار آلاینده‌ها می‌باشد. به همین منظور، امروزه انتشار آلاینده‌های جوی را به عنوان یکی از محدودیت‌های تولید نیروگاه‌ها در نظر می‌گیرند. یکی از راه‌های در نظر گرفتن آلاینده‌ها در پخش بار اقتصادی این است که علاوه بر پخش بار اقتصادی، توزیع آلاینده‌ها در بین نیروگاه‌ها در کوتاه‌مدت به گونه‌ای انجام شود که کل انتشار آن حداقل شود. این گونه پخش بار اقتصادی را مسأله بهینه‌سازی چندهدفی غیرخطی و دارای تضاد می‌نامند.

روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی مختلفی می‌توان نام برد که شامل بهینه‌سازی تراکم ذرات<sup>۲</sup> [۲]، الگوریتم تکاملی جبهه پارتو<sup>۳</sup> [۳]، الگوریتم تکاملی چندهدفی<sup>۴</sup> [۴]، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب<sup>۵</sup> [۵]، الگوریتم ژنتیک همراه با پارتو<sup>۶</sup> [۶]، تکنیک جستجوی تصادفی چندهدفی<sup>۷</sup> [۷] و بهینه‌سازی تراکم ذرات براساس دسته‌بندی فازی<sup>۸</sup> [۸] می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای انجام این گونه پخش بار اقتصادی وجود دارد. در گذشته بیشتر مسائل پخش بار اقتصادی را به گونه‌ای حل می‌کردند که تابع اصلی را هزینه قرار می‌دادند و مسأله انتشار آلاینده‌ها را به عنوان یک قید در نظر می‌گرفتند [۹] و [۱۰]. امروزه سعی می‌شود این گونه مسائل به کمک حل مسائل چند هدفی انجام شود و روش‌های چند هدفی مختلفی برای حل این مسائل وجود دارد.

- 1) PoolCo
- 2) Particle swarm optimization
- 3) Strength Pareto evolutionary algorithm (SPEA)
- 4) Multiobjective evolutionary algorithm (MOEA)
- 5) Nondominating sorting genetic algorithm (NSGA)
- 6) Niche Pareto genetic algorithm (NPGA)
- 7) Multiobjective stochastic search technique (MOSST)
- 8) Fuzzy clustering-based particle swarm optimization (FCPSO)

یکی از این روش‌ها، جستجوی مستقیم است که تکیه آن بر روی روش‌های تحلیلی است [۱۱]. روش‌های تحلیلی بر اساس مدل‌های ریاضی مسأله اقتصادی، انتشار آلاینده‌ها، اقتصادی همراه با انتشار آلاینده‌ها با در نظر گرفتن تابع هدف همسان برای هر یک را حل می‌کنند. این گونه مدل‌ها برای تلفات از تابع درجه دوم استفاده می‌کنند که برای نمونه‌های واقعی نامناسب هستند.

در [۱۲] از برنامه‌ریزی خطی براساس در نظر گرفتن یک هدف در هر لحظه پیشنهاد شده است. در [۱۳] فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی (MMP)<sup>۱</sup> بر اساس سریع‌ترین قید  $V$  (EC) در نظر گرفته شده است. در این نوع بهینه‌سازی می‌توان توابع هدف دیگر را نیز به صورت قید  $V$  در نظر گرفت و این روش برای سیستم‌های بزرگ مناسب می‌باشد.

در این مقاله، مدل پخش بار اقتصادی با پخش بار مستقیم<sup>۲</sup> انجام شده است که قید تلفات dc باید لحاظ شود. روش ارائه شده برای حل این بهینه‌سازی بر اساس اختصاص ضرایب وزنی به هر تابع صورت گرفته است که با این ضرایب وزنی، تابع چند هدفی غیرخطی به یک تابع هدف خطی تبدیل می‌شود. تکنیک بهینه‌سازی براساس مدل جستجو سیستم باردار [۱۴] است که این روش تصحیح شده است. در درون هر جستجوی اصلی جستجوی محلی قرار دارد که با این جستجوی محلی می‌توان ذرات احتمالی بهتر اطراف هر ذره را بسیار سریع پیدا کرد. حساسیت تابع چندهدفی به ضریب وزنی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است که می‌تواند دید خوبی به مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان برای درک اهمیت هر یک از توابع دهد.

شبکه مورد مطالعه، شبکه ۳۰ باس IEEE است که دارای ۶ تولیدکننده می‌باشد که هزینه تولید و انتشار آلاینده‌ها، توابع هدف در این مقاله هستند.

در بخش ۲، روش MCSS توضیح داده می‌شود. در بخش ۳، چارچوب پیشنهادی برای حل مسأله پخش بار اقتصادی ارائه می‌شود. در بخش ۴، شبیه‌سازی و نتایج حاصل از آن آورده شده و در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری ارائه شده است.

## روش الگوریتم MCSS

روش بهینه‌سازی CSS بر اساس تأثیر متقابل ذرات باردار (CP)<sup>۳</sup> بر اساس قانون کولن و گوس در فیزیک مغناطیس و قانون حرکت در علم مکانیک است. روش CSS شامل چندین ذره است که به آنها ذره باردار می‌گویند. هر ذره در درون یک کره باردار قرار دارد و نیرویی که این ذرات باردار بر هم وارد می‌کنند بر اساس قانون گوس و کولن می‌باشد. نتیجه این

1) Multiobjective Mathematical Programming

2) DC Power Flow

3) Charged Particle

نیروها و قانون حرکت به دست آمدن مکان جدید برای ذرات باردار است. روش CSS را می‌توان هم برای متغیرهای گسسته و هم برای متغیرهای پیوسته به کار برد.

### قوانین موجود در فیزیک مغناطیس

در فیزیک هر ذره باردار موجود نیرویی به ذرات باردار اطراف خود وارد می‌کند که بر اساس قانون کولن است. این نیرو به فاصله بین دو ذره وابسته است. اگر دو ذره باردار  $q_i$  (در مکان  $r_i$ ) و  $q_j$  (در مکان  $r_j$ ) داشته باشیم و فاصله دو ذره برابر با  $r_{ij}$  باشد، نیرویی که این دو ذره به هم وارد می‌کنند، به محل قرار گرفتن این ذرات بستگی دارد. یعنی:

$$F_{ij} = \begin{cases} k_e \frac{q_i}{a^{\nu}} r_{ij} \frac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} & \text{if } r_{ij} < a \\ k_e \frac{q_i}{r_{ij}^{\nu}} \frac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} & \text{if } r_{ij} \geq a \end{cases} \quad (1)$$

جمع کل نیروهای وارد بر ذره  $q_j$  برابر است با:

$$F_j = \sum_{i=1, i \neq j}^N F_{ij} \quad (2)$$

می‌توان به صورت کلی نیروی وارد بر ذره  $F = ma$  را به صورت زیر نوشت:

$$F_{ij} = k_e q_j \sum \left( \frac{q_i}{a^{\nu}} r_{ij} \cdot i_{\nu} + \frac{q_i}{r_{ij}^{\nu}} \cdot i_{\nu} \right) \frac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} \quad (3)$$

$$\begin{cases} i_{\nu} = 1, i_{\nu} = 0 \iff r_{ij} < a \\ i_{\nu} = 0, i_{\nu} = 1 \iff r_{ij} \geq a \end{cases}$$

### قانون حرکت نیوتن

این قانون مربوط به حرکت ذرات می‌شود که وابستگی کمی به اندازه ذرات دارد. اگر ذره از مکان اولیه  $r_{old}$  به مکان ثانویه  $r_{new}$  منتقل شود، جابجایی ذره برابر است با:

$$\Delta r = r_{new} - r_{old} \quad (4)$$

تانژانت شیب خط جابجایی ذره، سرعت را نشان می‌دهد:

$$v = \frac{r_{new} - r_{old}}{t_{new} - t_{old}} = \frac{r_{new} - r_{old}}{\Delta t} \quad (5)$$

هنگامی که سرعت ذره باردار در یک مدت زمان مشخص تغییر کند، ذره باردار شتاب می‌گیرد که این شتاب برابر است با اختلاف سرعت تقسیم بر مدت زمان.

$$r = \frac{v_{new} - v_{old}}{\Delta t} \quad (6)$$

مکان جدید ذره بر اساس معادلات قبلی می‌شود:

$$r_{new} = \frac{1}{2} r \cdot \Delta t^2 + v_{old} \Delta t + r_{old} \quad (7)$$

قانون دوم نیوتن برابر است با:

$$F = ma \quad (8)$$

که  $m$  جرم ذره می‌باشد. مکان ذره این گونه اصلاح می‌شود:

$$r_{new} = \frac{1}{2} \frac{F}{m} \cdot \Delta t^2 + v_{old} \Delta t + r_{old} \quad (9)$$

#### قوانین موجود در CSS [۱۴]، [۱۵]

هر  $X_i$  انتخاب شده شامل چندین متغیر می‌باشد (یعنی  $X_i = \{x_{i,j}\}$ ) که به  $X_i$  یک ذره باردار هم می‌گویند. برای اینکه اثر ذره باردار خوب بیشتر از ذره باردار بد باشد، از مقدار تابع هدف ذره باردار استفاده می‌شود  $(f(X_i))$ .

قانون اول: برای هر ذره باردار باید مقدار بار مجازی نسبت داده شده را به دست آورد که این مقدار بار  $(q_i)$  با روش زیر محاسبه می‌شود:

$$q^i = \exp \left( -n \frac{f(x^i) - f(x^{best})}{\sum_{k=1}^m (f(x^k) - f(x^{best}))} \right) \quad (10)$$

که  $i = 1, \dots, m$  و  $n$  تعداد متغیرهاست و  $m$  کل ذرات مورد استفاده در الگوریتم است.  $x^i$  مکان ذره موجود را

نشان می‌دهد و  $x^{best}$  بهترین مکان ذره باردار را نشان می‌دهد. این بار مجازی همیشه عددی مثبت است و در نقاط پهنه‌تر بار بیشتری دارد.

فاصله بین دو ذره به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{\|x_i - x_j\|}{\|(x_i + x_j) / 2 - x_{best}\| + V} \quad (11)$$

$V$  مقداری بسیار کوچک و مثبت است و برای جلوگیری از یکتایی جواب می‌باشد.

قانون دوم: حالت اولیه ذرات به صورت تصادفی در فضای جستجو انتخاب می‌شود و سرعت اولیه ذرات هم برابر صفر قرار داده می‌شود.

$$x_k = \min_k + rand(\max_k - \min_k) \quad v_i^0 = 0 \quad (12)$$

$k$  تعداد متغیرهای مسأله است.

قانون سوم: ذرات باردار خوب باید بقیه ذرات را جذب کنند و ذرات بد باید بقیه را از خود دور کنند که این ارزش‌گذاری با این شرط اجرا می‌شود.

$$\begin{cases} -1 < C_{ij} < 0 \iff q_i > 0.5 \\ 0 < C_{ij} < 1 \iff q_i < 0.5 \end{cases} \quad (13)$$

قانون چهارم: نیروی وارد بر هر ذره حساب می‌شود.

$$F_j = q_j \sum \left( \frac{q_i}{a^3} r_{ij} \cdot i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} \cdot i_2 \right) C_{ij} \cdot (X_i - X_j) \quad (14)$$

$$\begin{cases} i_1 = 1, i_2 = 0 \iff r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \iff r_{ij} \geq a \end{cases} \quad (15)$$

a شعاع کره باردار است.

قانون پنجم: مکان جدید ذره و سرعت جدید ذره را باید حساب کرد.

$$X_{j,new} = rand_{j,v} \cdot k_v \cdot \frac{F_j}{m_j} \Delta t^v + rand_{j,v} \cdot k_v \cdot v_{j,old} + X_{j,old} \quad (16)$$

$$v_{j,new} = \frac{X_{j,new} - X_{j,old}}{\Delta t} \quad (17)$$

که  $m_j = q_j$  است و ضرایب ثابت سرعت و شتاب را این گونه انتخاب می‌کنیم.

$$k_v = 0.5 \cdot \Delta(1 - iteration / Maxiteration) \quad \text{و} \quad k_a = 0.5 \cdot \Delta(1 + iteration / Maxiteration) \quad (18)$$

پارامتر  $k_v$  مربوط به نیروهای جذبی می‌شود و انتخاب درست آن ارزش بالایی دارد. اگر مقدار آن را زیاد انتخاب کنیم، باعث همگرایی سریع می‌شود و اگر آن را کوچک انتخاب کنیم، زمان محاسباتی بالا می‌رود.  $k_a$  ضریب مربوط به سرعت جابجایی است که باید با بالا رفتن تکرارها کمتر شود تا مسأله جواب بهتری پیدا کند.

قانون ششم: تعدادی از بهترین نمونه‌ها را در حافظه‌ای ذخیره می‌کنیم و به مرحله بعدی منتقل می‌کنیم.

قانون هفتم: اگر حدود متغیرها رعایت نشده بود، دوباره به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و جایگزین ذره قبلی می‌شود.

قانون هشتم: جستجوی محلی به منظور بهبود و اصلاح روش CSS

پس از توزیع بردارها به طور تصادفی به انجام جستجوی محلی در همسایگی هر یک از جواب‌ها پرداخته می‌شود، که  $u$  و LSIter به ترتیب شعاع جستجوی محلی و تعداد مراحل جستجوی محلی را مشخص می‌کند. برای جستجوی محلی ابتدا با استفاده از مقدار تعیین شده برای  $u$  حداکثر مقدار مجاز برای تغییرات هر یک از متغیرها به صورت  $(\max_k - \min_k) \times u$  (گام تغییرات هم گفته می‌شود) تعریف می‌شود. حال برای هر یک از جستجوهای محلی بردار  $y$  را پیدا می‌کنیم و مقدار تابع را با حالت اصلی بردار  $x$  چک می‌کنیم، اگر بهتر شده بود، بردار  $y$  داخل بردار  $x$  ریخته می‌شود و اگر بدتر شده بود، به سراغ بردار بعدی می‌رویم.

$$y^i = x^i \pm rand \cdot (Length) \quad (19)$$

$$Length = u \times (\max_k - \min_k)$$

روندنمای الگوریتم MCSS در شکل (۵) نمایش داده شده است.

## چارچوب پیشنهادی

## الف- تابع هدف

## هزینه سوخت نیروگاه‌ها

هزینه سوخت نیروگاه‌ها را با معمولا با یک معادله درجه دوم مدل می‌کنند.

$$Cost = a_i P_i^{\gamma} + b_i P_i + c_i \quad (20)$$

که  $P_i$  توان اکتیو تولیدی مولد  $i$ ام است و  $a_i$ ،  $b_i$  و  $c_i$  ضرایب ثابت هزینه سوخت مولد  $i$ ام هستند [۳].

## انتشار گازهای آلاینده

امروزه انتشار گازهای آلاینده یکی از دغدغه‌های مهم جوامع بشری است که شامل گازهای مختلفی می‌شود که دو گاز مهم آن  $NO_x$  و  $SO_x$  است. یکی از روش‌های مدل‌سازی آلاینده‌ها استفاده ترکیبی از چندجمله‌ای و نمایی است که وابسته به تولید هر مولد است.

$$Emission = \sum_{i=1}^{N_G} (\gamma_i + s_i P_i + \alpha_i P_i^{\gamma} + \langle_i \exp(\beta_i P_i)) \quad (21)$$

## ب- قیدها

دو قید در این مدل باید رعایت شود. اولین قید تعادل بار و مصرف است.

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_i + P_D - P_{Loss} = 0 \quad (22)$$

قید دیگری که باید رعایت شود قید در محدوده بودن تولید هر مولد است.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad \text{و} \quad i = 1, 2, \dots, N_G \quad (23)$$

## ج- روش پیاده‌سازی

روش پیشنهادی شامل چندین مرحله است:

مرحله ۱:  $P_i$  انتخاب شده ذخیره می‌شود و  $P_{Loss} = 0$  قرار داده می‌شود.

مرحله ۲: مولد متصل به شین اسلک (مولد  $P_{GS}$ ) را پیدا کرده و مقدار آن با استفاده از معادله تعادل بار و مصرف محاسبه می‌شود.

$$P_{Gs}^{old} = P_{Loss}^{old} + P_D - \sum_{i=1, i \neq GS}^{N_G} P_i \quad (24)$$

مرحله ۳: حال با این مقدار  $P_{Gs}$  مقدار تلفات DC که از ماتریس B محاسبه می‌شود را حساب می‌کنیم.

$$P_{Loss}^{new} = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_G} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{N_G} B_{0j} P_i + B_{00} \quad (25)$$

مرحله ۴: با این مقدار  $P_{Loss}^{new}$  مقدار  $P_{Gs}^{new}$  حساب می‌شود.

$$P_{Gs}^{new} = P_{Gs}^{old} + (P_{Loss}^{new} - P_{Loss}^{old}) \quad (26)$$

مرحله ۵: در این مرحله باید حدود تولید مولد اسلک دوباره چک شود که از محدوده خود خارج نشود.

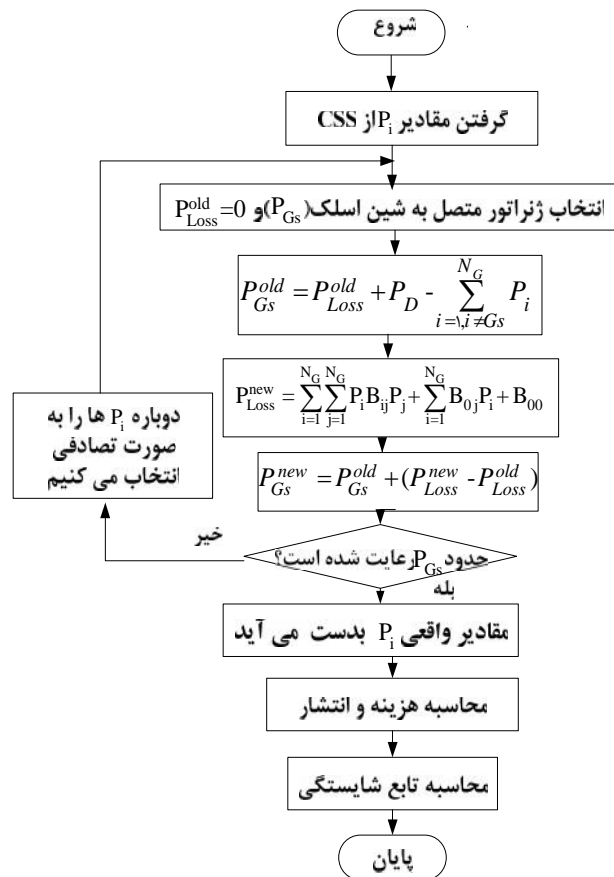
روندنمای مربوط به پیاده سازی در شکل (۱) آورده شده است.

### شبیه‌سازی و ارائه نتایج عددی

شبکه مورد مطالعه، شبکه ۳۰ شینه IEEE است که ۶ ژنراتور می‌باشد. دیاگرام تک‌خطی این سیستم در شکل (۳) آورده شده است. اطلاعات مربوط به ضرایب هزینه سوخت مولدها و اطلاعات مربوط به ضرایب تابع مربوط به انتشار آلاینده‌ها ماتریس تلفات B به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. در دو مسأله مختلف، شبیه‌سازی را انجام داده و نتایج آن آورده می‌شود.

جدول (۱) ضرایب هزینه ژنراتورهای شبکه ۳۰ شینه IEEE و حداقل و حداکثر میزان تولید مجاز هر یک

| ظرفیت تولید واحدها |              | ضرایب هزینه سوخت واحدها |     |     | ژنراتور |
|--------------------|--------------|-------------------------|-----|-----|---------|
| $P_i^{\max}$       | $P_i^{\min}$ | c                       | b   | a   |         |
| 0/5                | 0/05         | 10                      | 200 | 100 | 1       |
| 0/6                | 0/05         | 10                      | 150 | 120 | 2       |
| 1/0                | 0/05         | 20                      | 180 | 40  | 3       |
| 1/2                | 0/05         | 10                      | 100 | 60  | 4       |
| 1/0                | 0/05         | 20                      | 180 | 40  | 5       |
| 0/6                | 0/05         | 10                      | 150 | 100 | 6       |



شکل ۱) روندنمای اجرای بخش بار اقتصادی-زیست محیطی با روش MCSS

جدول ۲) داده‌های مربوط به ضرایب تابع انتشار آلاینده‌های زیست محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE

| NO <sub>x</sub> |                      | SO <sub>x</sub>               |                               |                               | مولد |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|
| <i>h</i>        | <i>g</i>             | <i>f</i> (×۱۰ <sup>-۳</sup> ) | <i>e</i> (×۱۰ <sup>-۳</sup> ) | <i>d</i> (×۱۰ <sup>-۳</sup> ) |      |
| 2/857           | ۲ × ۱۰ <sup>-۴</sup> | 6/49                          | -5/554                        | 4/091                         | 1    |
| 3/333           | ۵ × ۱۰ <sup>-۴</sup> | 5/638                         | -6/047                        | 2/543                         | 2    |
| 8/000           | ۱ × ۱۰ <sup>-۶</sup> | 4/586                         | -5/094                        | 4/258                         | 3    |
| 2/000           | ۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup> | 3/380                         | -3/55                         | 5/326                         | 4    |
| 8/000           | ۱ × ۱۰ <sup>-۶</sup> | 4/586                         | -5/094                        | 4/258                         | 5    |
| 6/667           | ۱ × ۱۰ <sup>-۵</sup> | 5/151                         | -5/555                        | 6/131                         | 6    |

جدول ۳) اطلاعات مربوط به ماتریس تلفات پخش بار DC سیستم ۳۰ باس IEEE

$$[B] = \begin{bmatrix} 0/1382 & -0/0299 & 0/0044 & -0/0022 & -0/0010 & -0/0008 \\ -0/0299 & -0/0487 & -0/0025 & 0/0004 & 0/0016 & 0/0041 \\ 0/0044 & -0/0025 & 0/0182 & -0/0070 & -0/0066 & -0/0066 \\ -0/0022 & 0/0004 & -0/0070 & 0/0137 & 0/0050 & 0/0033 \\ -0/0010 & 0/0016 & -0/0066 & 0/0050 & 0/0109 & 0/0005 \\ -0/0008 & 0/0041 & -0/0066 & 0/0033 & 0/0005 & 0/0244 \end{bmatrix}$$

$$[B_0] = [-0/0107 \quad -0/0060 \quad -0/0017 \quad 0/0009 \quad 0/0002 \quad 0/0030]$$

$$B_{00} = 0/00098573$$

### مطالعه موردی اول

در مطالعه موردی، اول تلفات سیستم در نظر گرفته نمی‌شود و در سه حالت مختلف تابع هدف تعریف می‌شود. در دو حالت اول فقط یکی از تابع‌های هزینه و انتشار آلاینده‌گی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و در حالت سوم، تابع هدف به صورت چندهدفی قرار داده می‌شود و برای این حالت از روش جمع وزن دهی استفاده می‌شود:

$$f = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (27)$$

باید شرط زیر هم برقرار باشد.

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (28)$$

نکته مهم دیگری که باید رعایت شود این است که دو تابع باید هم وزن شوند. راه‌های مختلفی برای هم وزن کردن دو تابع می‌توان به کار برد. یکی از این راه‌ها استفاده از ضریب هم وزن ساز است. در این مسأله از ضریب هم وزن استفاده می‌شود. با استفاده از معادله‌های (۲۷) و (۲۸) و استفاده از ضریب هم‌وزنی معادله زیر به دست می‌آید.

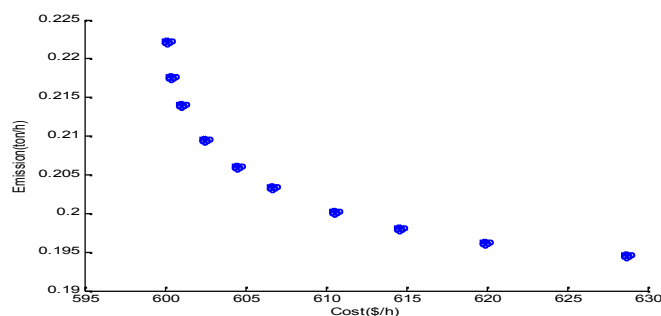
$$f = w_1 f_1 + (1-w_1) f_2 \quad (29)$$

ضریب ثابت برای هم وزن کردن هزینه و انتشار استفاده می‌شود، در این مسأله  $w_1 = 1000$  قرار داده می‌شود.

نتایج مربوط به بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی-زیست‌محیطی این مسأله در جدول (۴) آورده شده است و نتایج شبیه‌سازی‌های مراجع دیگر نیز بیان شده است. حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) نسبت به ضریب وزنی ( $w_1$ ) در شکل (۲) رسم شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، با کم شدن هزینه، انتشار آلاینده‌ها بالا می‌رود و با کم شدن انتشار آلاینده‌ها، هزینه بالا می‌رود. پس باید تعادلی بین این دو هدف برای ایجاد مطلوبیت ایجاد کرد که نتیجه این تعادل در جدول (۴) ارائه شده است.

### مطالعه موردی دوم

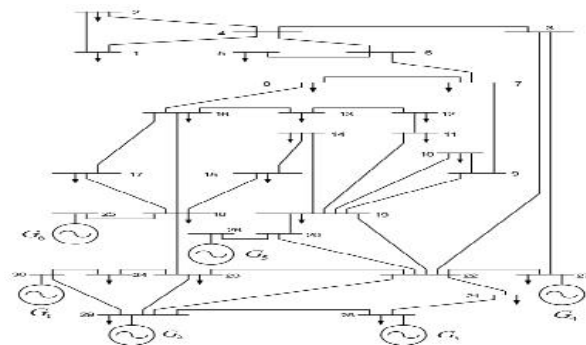
در این حالت، تلفات DC هم مدنظر قرار داده می‌شود و مانند مسأله قبلی در سه حالت بهینه‌سازی انجام می‌شود. نتایج سه حالت در جدول (۴) ارائه شده است. حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) نسبت به ضریب وزنی ( $w_1$ ) در مطالعه موردی دوم در شکل (۴) رسم شده است.



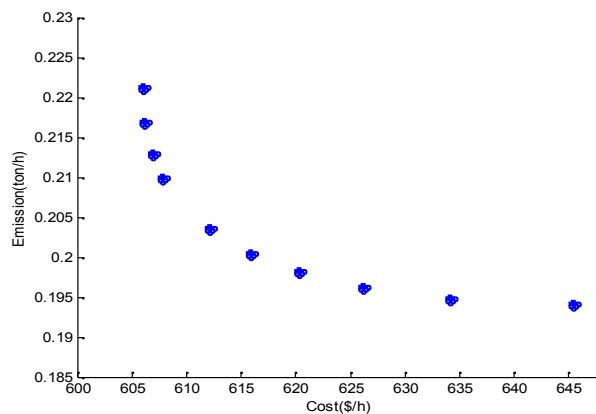
شکل ۲) حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) مطالعه موردی اول نسبت به ضریب وزنی ( $W_1$ )

جدول ۴) مقادیر بدست آمده در مطالعه موردی اول و مطالعه موردی دوم

| مطالعه موردی دوم                          |                |                | مطالعه موردی اول                          |                |               | مقادیر خروجی                  |
|---|----------------|----------------|---|----------------|---------------|-------------------------------|
| بهترین جواب چند هدفی<br>$W_1 = W_2 = 0.5$ | بهترین انتشار  | بهترین هزینه   | بهترین جواب چند هدفی<br>$W_1 = W_2 = 0.5$ | بهترین انتشار  | بهترین هزینه  |                               |
| 2274/0                                    | 4101/0         | 1276/0         | 2317/0                                    | 4077/0         | 1101/0        | $P_6$                         |
| 3825/0                                    | 4604/0         | 2815/0         | 3608/0                                    | 4553/0         | 3006/0        | $P_7$                         |
| 5677/0                                    | 5427/0         | 5839/0         | 5394/0                                    | 5425/0         | 5252/0        | $P_7$                         |
| 7487/0                                    | 3901/0         | 9919/0         | 7452/0                                    | 3810/0         | 0121/1        | $P_4$                         |
| 5477/0                                    | 5510/0         | 5234/0         | 5395/0                                    | 5369/0         | 5318/0        | $P_5$                         |
| 4147/0                                    | 5089/0         | 3509/0         | 4175/0                                    | 5107/0         | 3541/0        | $P_6$                         |
| <b>2037/0</b>                             | <b>1942/0</b>  | <b>2206/0</b>  | <b>2033/0</b>                             | <b>1942/0</b>  | <b>2220/0</b> | انتشار آلایندهها (تن بر ساعت) |
| <b>002/612</b>                            | <b>443/645</b> | <b>988/605</b> | <b>803/606</b>                            | <b>404/638</b> | <b>11/600</b> | هزینه (دلایر بر ساعت)         |



شکل ۳) دیاگرام تک خطی سیستم ۳۰ شینه IEEE

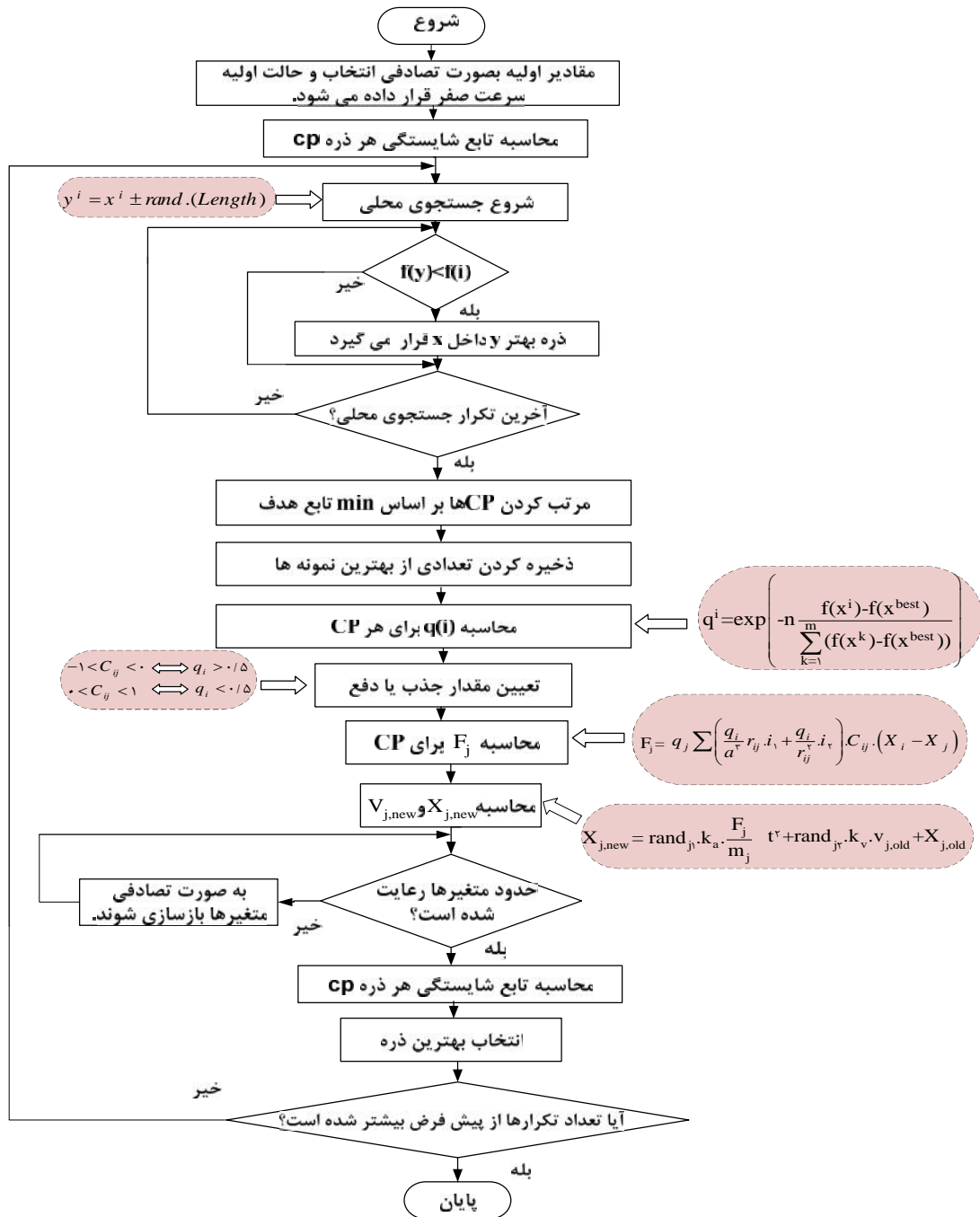


شکل ۴) حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) مطالعه موردی اول نسبت به ضریب وزنی ( $w_1$ )

در جدول (۵) نتایج مطالعه موردی اول با دیگر روش‌های پخش بار اقتصادی- زیست‌محیطی مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بیشتر موارد نتیجه دلخواه‌تری گرفته شده است.

جدول ۵) مقایسه مقادیر بدست آمده با نتایج دیگر مراجع در مطالعه موردی اول

| MCSS   | EC[13]   | LP[12]  | FCPSO[8] | MOSST[7] | NPGA[6] | NSGA[5] | SPEA[3] | مسئله ۱ |
|--------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| ۱۱۰۰/۰ | ۱۰۹۷/۰   | ۱۵۰۰/۰  | ۱۰۷۰/۰   | ۱۱۲۵/۰   | ۱۰۸۰/۰  | ۱۵۶۷/۰  | ۱۰۶۲/۰  | $P_1$   |
| ۳۰۰۶/۰ | ۲۹۹۸/۰   | ۳۰۰۰/۰  | ۲۸۹۷/۰   | ۳۰۲۰/۰   | ۳۲۸۴/۰  | ۲۸۷۰/۰  | ۲۸۹۷/۰  | $P_2$   |
| ۵۲۵۲/۰ | ۵۲۴۳/۰   | ۵۵۰۰/۰  | ۵۲۵/۰    | ۵۳۱۱/۰   | ۵۳۸۶/۰  | ۴۶۷۱/۰  | ۵۲۸۹/۰  | $P_3$   |
| ۰۱۲۱/۱ | ۰۱۶۲/۱   | ۰۵۰۰/۱  | ۰۱۵/۱    | ۰۲۰۸/۱   | ۰۰۶۷/۱  | ۰۴۶۷/۱  | ۰۰۲۵/۱  | $P_4$   |
| ۵۳۱۸/۰ | ۵۲۴۳/۰   | ۴۶۰۰/۰  | ۵۳۰۰/۰   | ۵۳۱۱/۰   | ۴۹۴۹/۰  | ۵۰۳۷/۰  | ۵۴۰۲/۰  | $P_5$   |
| ۳۵۴۱/۰ | ۳۵۹۷/۰   | ۳۵۰۰/۰  | ۳۶۷۳/۰   | ۳۶۲۵/۰   | ۳۵۷۴/۰  | ۳۷۲۹/۰  | ۳۶۶۴/۰  | $P_6$   |
| ۱۱/۶۰۰ | ۱۱۱/۶۰۰  | ۳۱۴/۶۰۶ | ۱۳۱۵/۶۰۰ | ۸۸۹/۶۰۵  | ۲۵۹/۶۰۰ | ۵۷۲/۶۰۰ | ۱۵/۶۰۰  | هزینه   |
| ۲۲۲۰/۰ | ۲۲۲۱/۰   | ۲۲۳۳/۰  | ۲۲۲۳/۰   | ۲۲۲۲/۰   | ۲۲۱۱۶/۰ | ۲۲۲۸/۰  | ۲۲۱۵/۰  | انتشار  |
| ۴۰۷۷/۰ | ۴۰۶۰/۰   | ۴۰۰۰/۰  | ۴۰۹۷/۰   | ۴۰۹۵/۰   | ۴۰۰۲/۰  | ۴۳۹۴/۰  | ۴۱۱۶/۰  | $P_1$   |
| ۴۵۵۳/۰ | ۴۵۹۰/۰   | ۴۵۰۰/۰  | ۴۵۵۰/۰   | ۴۶۲۶/۰   | ۴۴۷۴/۰  | ۴۵۱۱/۰  | ۴۵۳۲/۰  | $P_2$   |
| ۵۴۲۵/۰ | ۵۳۷۹/۰   | ۵۵۰۰/۰  | ۵۳۶۳/۰   | ۵۴۲۶/۰   | ۵۱۶۶/۰  | ۵۱۰۵/۰  | ۵۳۲۹/۰  | $P_3$   |
| ۳۸۱۰/۰ | ۳۸۳۰/۰   | ۴۰۰۰/۰  | ۳۸۴۲/۰   | ۳۸۸۴/۰   | ۳۶۸۸/۰  | ۳۸۷۱/۰  | ۳۸۳۲/۰  | $P_4$   |
| ۵۳۶۹/۰ | ۵۳۸۰/۰   | ۵۵۰۰/۰  | ۵۳۴۸/۰   | ۵۴۲۷/۰   | ۵۷۵۱/۰  | ۵۵۵۳/۰  | ۵۳۸۳/۰  | $P_5$   |
| ۵۱۰۷/۰ | ۵۱۰۰/۰   | ۵۰۰۰/۰  | ۵۱۴۰/۰   | ۵۱۵۲/۰   | ۵۲۵۹/۰  | ۴۹۰۵/۰  | ۵۱۴۸/۰  | $P_6$   |
| ۴۰/۶۳۸ | ۲۷۰۳/۶۳۸ | ۶۰۰/۶۳۹ | ۳۵۷۷/۶۳۸ | ۱۱۲/۶۴۴  | ۱۸۲/۶۳۹ | ۲۳۱/۶۳۹ | ۵۱/۶۳۸  | هزینه   |
| ۱۹۴۲/۰ | ۱۹۴۲/۰   | ۱۹۴۲۴/۰ | ۱۹۴۲/۰   | ۱۹۴۱۸/۰  | ۱۹۴۳۳/۰ | ۱۹۴۳۶/۰ | ۱۹۴۲/۰  | انتشار  |



شکل ۵) روندنمای اجرای الگوریتم MCSS

## نتیجه گیری

امروزه مسأله پخش بار اقتصادی تعاریف جدیدی پیدا کرده است و نمی توان فقط از منظر اقتصادی به مسأله نگاه کرد و باید قیود دیگری از جمله محدودیت انتشار آلاینده های زیست محیطی، شرایط بهره برداری از نیروگاه و نرخ تغییرات تولید را در نظر گرفت. یکی از قیودهای بسیار مهم را می توان مسأله محدودیت انتشار آلاینده های زیست محیطی تولید دانست. انرژی الکتریکی تولیدی بعضی از نیروگاه ها به دلیل فنی و یا عمر آنها با انتشار مقادیر فزاینده ای از گازهای آلاینده همراه است. به همین دلیل، مسأله پخش بار اقتصادی-زیست محیطی از مسائل مهم امروزه به شمار می رود. در این مقاله، الگوریتم جستجوی سیستم باردار برای پخش بار اقتصادی-زیست محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE که دارای ۶ ژنراتور می باشد، استفاده شده است که هدف الگوریتم، بهینه کردن هزینه سوخت و میزان انتشار گازهای آلاینده است. نتایج پخش بار اقتصادی-زیست محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE مقید به پخش بار مستقیم با الگوریتم MCSS در مقایسه با سایر الگوریتم های بکارگرفته شده مطلوب تر به دست آمده است. با مقایسه نتایج الگوریتم MCSS و نتایج الگوریتم های دیگر تراکم ذرات [۲]، الگوریتم تکاملی جبهه پارتو [۳]، الگوریتم تکاملی چندهدفی [۴]، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب [۵]، الگوریتم ژنتیک همراه با پارتو [۶]، تکنیک جستجوی تصادفی چندهدفی [۷]، بهینه سازی تراکم ذرات براساس دسته بندی فازی [۸] می توان به صحت و حساسیت این الگوریتم پی برد. از آنجا که این الگوریتم با دقت خوبی کار می کند، اگر مسأله پیچیده تر از این هم باشد، می تواند کارآمد باشد. این الگوریتم برپایه مغناطیس و مکانیک است.

## منابع

- [1] M. Shahidehpour, H. Yamin, Z. Li. Market operation in electric power systems, New York: John Wiley and Sons Inc. 2002.
- [2] L. Wang and C. Singh, "Environmental/economic power dispatch using a fuzzified multiobjective particle swarm optimization algorithm," Electric Power Systems research, pp. 1654-1664, 2007.
- [3] MA. Abido, "Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 18, no. 4, pp. 1529-1537, 2003.
- [4] MA. Abido, "Multiobjective evolutionary algorithms for power dispatch problem," IEEE Trans. on Evolutionary Computation, vol. 10, no. 3, pp. 315-329, 2006.
- [5] MA. Abido, "A novel multiobjective evolutionary algorithm for environmental/economic power dispatch," Electric Power Systems Research, vol. 65, no. 1, pp. 71-81, 2003.
- [6] MA. Abido, "A Niche Pareto genetic algorithm for environmental/economic power dispatch," Electric Power Systems Research, vol. 25, no. 2, pp. 97-105, 2003.
- [7] DB. Das and C. Patvardhan, "New multi-objective stochastic search technique for economic load dispatch," IET Proceedings Generation Transmission and Distribution, vol. 145, no. 6, pp. 747-752, 1998.

- [8] S. Agrawal, BK. Panigrahi, MK. Tiwari, "Multiobjective particle swarm algorithm with fuzzy clustering for electrical power dispatch," *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, vol. 12, no. 5, pp. 529–541, 2008.
- [9] J. S. Helsin and B. F. Hobbs, "A multiobjective production costing model for analyzing emission dispatching and fuel switching," *IEEE Trans. On Power System*, vol. 4, no. 3, pp. 836–842, Aug. 1989.
- [10] G. P. Granelli, M. Montagna, G. L. Pasini, and P. Marannino, "Emission constrained dynamic dispatch," *Electronic on Power System. Res.*, vol. 24, pp. 56–64, 1992.
- [11] C. Palanichamy, NS. Babu, "Analytical solution for combined economic and emissions dispatch," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 7, pp. 1129–1137, 2008.
- [12] A. Farag, S. Al-Baiyat, TC. Cheng, "Economic load dispatch multiobjective optimization procedures using linear programming techniques," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 731–738, 1995.
- [13] V. Vahidinasab, S. Jadid, "Joint economic and emission dispatch in energy markets: A multiobjective mathematical programming approach," *Energy*, vol. 65, no. 1, pp. 71–81, 2010.
- [14] A. Kaveh, S. Talatahari, "A novel heuristic optimization method: Charged system search," *Acta Mechanica*, vol. 213, no. 3, pp. 267–286, 2010.
- [15] S. Özyön, H. Temurta, B. Durmu, G. Kuvat, "Charged system search algorithm for emission constrained economic power dispatch problem," *Energy*, vol. 46, no. 1, pp. 420–430, 2012.