# پخش بار اقتصادی–زیست محیطی در سیستم‌های قدرت با روش بهبودیافته جستجوی سیستم‌های باردار

وحید وحیدی نسب [۱]، رشید خادم‌زاده [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۸/۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۱/۲۵

**چکیده:**

پخش‌بار اقتصادی یکی از روش‌های بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت به‌منظور افزایش بازدهی، کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت‌اطمینان سیستم قدرت به‌وسیله ایجادکردن تعادل بین بار و تولید می‌باشد. در این مسأله، مقدار تولید بهینه اقتصادی هر یک از واحدهای تولید مشخص می‌شود. از آنجا که مشکلات زیست‌محیطی امروزه اهمیت زیادی پیدا کرده و قوانین متعددی برای کم‌کردن این مشکلات وضع شده است، امروزه مسأله انتشار آلاینده‌ها در پخش‌بار اقتصادی نیز مدنظر قرار می‌گیرد. در این مقاله، الگوریتم جستجوی سیستم باردار اصلاح شده (MCSS)[۱] 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 زیست‌محیطی در قالب یک مساله بهینه‌سازی چند هدفی ممکن خواهد بود، لذا برای حل مسأله بهینه‌سازی چندهدفه پخش‌بار اقتصادی–زیست‌محیطی 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:**

پخش‌بار اقتصادی–زیست‌محیطی، الگوریتم MCSS، پخش‌بار 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) کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی
rashid_khademzade@yahoo.com

1) Modifed Charged System Search

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

**مقدمه**

در مسأله پخش بار اقتصادی توابع هدف مختلفی را می‌توان انتخاب کرد. یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین توابع هدف، حداقل‌کردن هزینه بهره‌برداری است که شامل فاصله تولید تا مصرف، نوع سوخت، ظرفیت بارو تلفات خطوط می‌باشد. بدون درنظر گرفتن انتشار آلاینده‌های جوی، اپراتور مستقل سیستم (ISO) با استفاده از مدل حوضچه[1] پخش باراقتصادی را اجرا می‌کند و قیمت واحدی را برای برق به‌دست می‌آورد. این قیمت می‌تواند به بازیگران بازار کمک زیادی کند که چه زمانی سرمایه‌گذاری کنند و به مصرف‌کنندگان نیز هشدارهای لازم را برای کم‌کردن 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 کم‌کردن 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 درنظرگرفتن آلاینده‌ها در پخش باراقتصادی این است که علاوه بر پخش باراقتصادی، توزیع آلاینده‌ها در بین نیروگاه‌ها در کوتاه‌مدت به گونه‌ای انجام شود که کل انتشار آن حداقل شود. این گونه پخش باراقتصادی را مسأله بهینه‌سازی چندهدفی غیرخطی و دارای تضاد می‌نامند.

روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی مختلفی می‌توان نام برد که شامل بهینه‌سازی تراکم ذرات[2] [۲]، الگوریتم تکاملی جبهه پارتو[3] [۳]، الگوریتم تکاملی چندهدفی[4] [۴]، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب[5] [۵]، الگوریتم ژنتیک همراه با پارتو[6] [۶]، تکنیک جستجوی تصادفی چندهدفی[7] [۷] و بهینه‌سازی تراکم ذرات براساس دسته‌بندی فازی[8] [۸] می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای انجام این‌گونه پخش باراقتصادی وجود دارد. در گذشته بیشتر مسائل پخش باراقتصادی 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) Niched Pareto genetic algorithm (NPGA)
7) Multiobjective stochastic search technique (MOSST)
8) Fuzzy clustering-based particle swarm optimization (FCPSO)

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

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 نظرگرفتن یک هدف در هر لحظه پیشنهاد شده است. در[۱۳] فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی(MMP)[1] بر اساس سریع‌ترین قید £ (EC) در نظر گرفته شده است. در این نوع بهینه‌سازی می‌توان توابع هدف دیگر را نیز به‌صورت قید £ در نظر گرفت و این روش برای سیستم‌های بزرگ مناسب می‌باشد.

در این مقاله، مدل پخش باراقتصادی با پخش بار مستقیم[2] 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 باراقتصادی 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)[3] 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

نیروها و قانون حرکت به‌دست آمدن مکان جدید برای ذرات باردار است. روش CSS را می‌توان هم برای متغیرهای گسسته و هم برای متغیرهای پیوسته به‌کاربرد.

### 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:

$$F_{ij} = \begin{cases} k_e \dfrac{q_i}{a^3} r_{ij} \dfrac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} & \text{if} \quad r_{ij} < a \\ k_e \dfrac{q_i}{r_{ij}^2} \dfrac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} & \text{if} \quad r_{ij} \geq a \end{cases} \tag{۱}$$

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

$$F_j = \sum_{i=1, i \neq j}^{N} F_{ij} \tag{۲}$$

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

$$\mathrm{F_{ij}} = k_e q_j \sum \left( \frac{q_i}{a^3} r_{ij} . i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} . i_2 \right) \frac{r_i - r_j}{\|r_i - r_j\|} \tag{۳}$$

$$\begin{cases} i_1 = 1, i_2 = 0 \Longleftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \Longleftrightarrow r_{ij} \geq a \end{cases}$$

### 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:

$$\Delta r = r_{new} - r_{old} \tag{۴}$$

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

تانژانت شیب خط جابجایی ذره، سرعت را نشان می‌دهد:

$$v = \frac{r_{new} - r_{old}}{t_{new} - t_{old}} = \frac{r_{new} - r_{old}}{\Delta t} \quad (۵)$$

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.

$$\sim = \frac{v_{new} - v_{old}}{\Delta t} \quad (۶)$$

مکان جدید ذره بر اساس معادلات قبلی می‌شود:

$$r_{new} = \frac{1}{۲} \sim . \Delta t^{۲} + v_{old} \Delta t + r_{old} \quad (۷)$$

قانون دوم نیوتن برابر است با:

$$F = ma \quad (۸)$$

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

$$r_{new} = \frac{1}{۲} \frac{F}{m} . \Delta t^{۲} + v_{old} \Delta t + r_{old} \quad (۹)$$

**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:

$$q^i = \exp\left( -n \frac{f(x^i) - f(x^{best})}{\sum_{k=1}^{m} (f(x^k) - f(x^{best}))} \right) \quad (۱۰)$$

که $i = ۱, \ldots, m$ و $n$ تعداد متغیرهاست و $m$ کل ذرات مورد استفاده در الگوریتم است. $x^i$ مکان ذره موجود را

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

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

فاصله بین دو ذره به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{\left\| x_i - x_j \right\|}{\left\| (x_i + x_j)/۲ - x_{best} \right\| + £} \qquad (۱۱)$$

£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.

$$x_k = \min_k + rand\,(\max_k - \min_k) \qquad v_i^0 = 0 \qquad (۱۲)$$

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.

$$\begin{cases} -۱ < C_{ij} < ۰ \iff q_i > ۰/۵ \\ ۰ < C_{ij} < ۱ \iff q_i < ۰/۵ \end{cases} \qquad (۱۳)$$

قانون چهارم: نیروی وارد بر هر ذره حساب می‌شود.

$$F_j = q_j \sum \left( \frac{q_i}{a^3} r_{ij} . i_۱ + \frac{q_i}{r_{ij}^2} . i_۲ \right) . C_{ij} . \left( X_i - X_j \right) \qquad (۱۴)$$

$$\begin{cases} i_۱ = ۱, i_۲ = ۰ \iff r_{ij} < a \\ i_۱ = ۰, i_۲ = ۱ \iff r_{ij} \geq a \end{cases} \qquad (۱۵)$$

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

a شعاع کره باردار است.

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

$$X_{j,new} = rand_{j1}.k_a.\frac{F_j}{m_j}\Delta t^2 + rand_{j2}.k_v.v_{j,old} + X_{j,old} \quad (۱۶)$$

$$v_{j,new} = \frac{X_{j,new} - X_{j,old}}{\Delta t} \quad (۱۷)$$

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

$$k_v = 0/5(1 - iteration / Maxiteration) \quad \text{و} \quad k_a = 0/5(1 + iteration / Maxiteration) \quad (۱۸)$$

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 به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود وجایگزین 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 ¢ 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 ¢ حداکثر مقدار مجاز برای تغییرات هر یک از متغیرها به صورت $¢ \times (\max_k - \min_k)$ (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.

$$y^i = x^i \pm rand.(Length) \quad (۱۹)$$

$$\text{Length} = ¢ \times (\max_k - \min_k)$$

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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

## چارچوب پیشنهادی

### الف- تابع هدف

#### هزینه سوخت نیروگاه‌ها

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

$$Cost = a_i P_i^{۲} + b_i P_i + c_i \qquad (۲۰)$$

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.

$$Emission = \sum_{i=۱}^{N_G} (\sim_i + \ _i P_i + ¥_i P_i^{۲} + ¶_i \exp(ª_i P_i)) \qquad (۲۱)$$

### ب- قیدها

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

$$\sum_{i=۱}^{N_G} P_i + P_D - P_{Loss} = 0 \qquad (۲۲)$$

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

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max} \quad \text{و} \quad i = ۱,۲,...,N_G \qquad (۲۳)$$

### ج- روش پیاده‌سازی

روش پیشنهادی شامل چندین مرحله است:

مرحله۱: $P_i$ انتخاب شده ذخیره می‌شود و $P_{Loss} = 0$ قرار داده می‌شود.

مرحله۲: مولد متصل به شین اسلک (مولد $P_{GS}$) را پیدا کرده و مقدار آن با استفاده از معادله تعادل بار ومصرف محاسبه می‌شود.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

$$P_{Gs}^{old} = P_{Loss}^{old} + P_D - \sum_{i=1, i \neq GS}^{N_G} P_i \quad (۲۴)$$

مرحله۳: حال با این مقدار $P_{Gs}$ مقدار تلفات DC که از ماتریس B محاسبه می‌شود را حساب می‌کنیم.

$$P_{Loss}^{new} = \sum_{i=۱}^{N_G} \sum_{j=۱}^{N_G} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=۱}^{N_G} B_{0j} P_i + B_{00} \quad (۲۵)$$

مرحله۴: با این مقدار $P_{Loss}^{new}$ مقدار $P_{Gs}^{new}$ حساب می‌شود.

$$P_{Gs}^{new} = P_{Gs}^{old} + (P_{Loss}^{new} - P_{Loss}^{old}) \quad (۲۶)$$

مرحله۵ : 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.

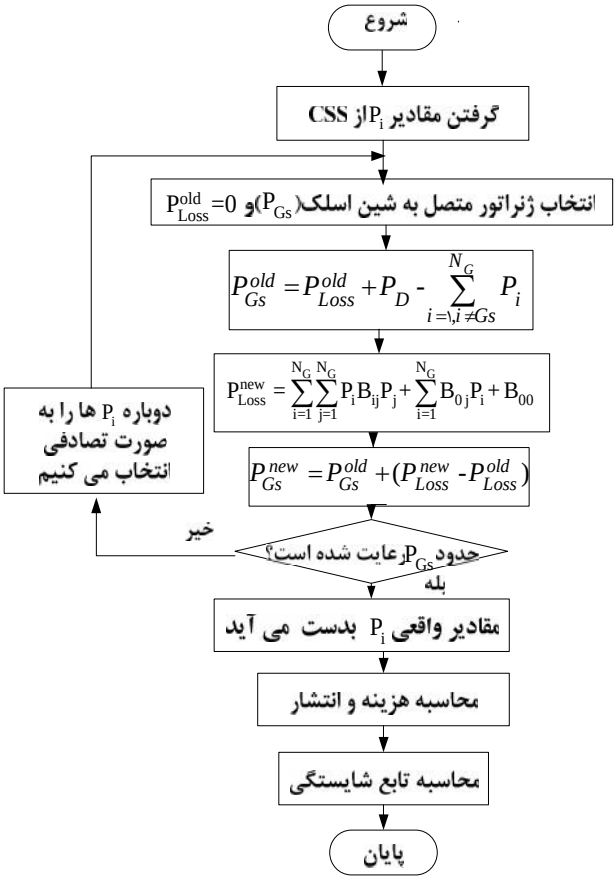
## شبیه‌سازی و ارائه نتایج عددی

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، ۲و ۳ ارائه شده است.در دو مسأله مختلف، شبیه‌سازی را انجام داده و نتایج آن آورده می‌شود.

**جدول ۱) ضرایب هزینه ژنراتورهای شبکه۳۰ شینهIEEE 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 |

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]




**شکل ۱) روندنمای اجرای پخش‌بار اقتصادی-زیست‌محیطی با روش MCSS**

**جدول ۲) داده‌های مربوط به ضرایب تابع انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE**

| مولد | $SO_x$ | | | $NO_x$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $d\ (\times ۱۰^{-۲})$ | $e\ (\times ۱۰^{-۲})$ | $f\ (\times ۱۰^{-۲})$ | $g$ | $h$ |
| 1 | 4/091 | -5/554 | 6/49 | $۲\times ۱۰^{-۴}$ | 2/857 |
| 2 | 2/543 | -6/047 | 5/638 | $۵\times ۱۰^{-۴}$ | 3/333 |
| 3 | 4/258 | -5/094 | 4/586 | $۱\times ۱۰^{-۶}$ | 8/000 |
| 4 | 5/326 | -3/55 | 3/380 | $۲\times ۱۰^{-۳}$ | 2/000 |
| 5 | 4/258 | -5/094 | 4/586 | $۱\times ۱۰^{-۶}$ | 8/000 |
| 6 | 6/131 | -5/555 | 5/151 | $۱\times ۱۰^{-۵}$ | 6/667 |

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

**جدول ۳) اطلاعات مربوط به ماتریس تلفات پخش‌بار DC سیستم ۳۰ باس IEEE**

$$[B]=\begin{bmatrix} ۰/۱۳۸۲ & -۰/۰۲۹۹ & ۰/۰۰۴۴ & -۰/۰۰۲۲ & -۰/۰۰۱۰ & -۰/۰۰۰۸ \\ -۰/۰۲۹۹ & ۰/۰۴۸۷ & -۰/۰۰۲۵ & ۰/۰۰۰۴ & ۰/۰۰۱۶ & ۰/۰۰۴۱ \\ ۰/۰۰۴۴ & -۰/۰۰۲۵ & ۰/۰۱۸۲ & -۰/۰۰۷۰ & -۰/۰۰۶۶ & -۰/۰۰۶۶ \\ -۰/۰۰۲۲ & ۰/۰۰۰۴ & -۰/۰۰۷۰ & ۰/۰۱۳۷ & ۰/۰۰۵۰ & ۰/۰۰۳۳ \\ -۰/۰۰۱۰ & ۰/۰۰۱۶ & -۰/۰۰۶۶ & ۰/۰۰۵۰ & ۰/۰۱۰۹ & ۰/۰۰۰۵ \\ -۰/۰۰۰۸ & ۰/۰۰۴۱ & -۰/۰۰۶۶ & ۰/۰۰۳۳ & ۰/۰۰۰۵ & ۰/۰۲۴۴ \end{bmatrix}$$

$$[B_0]=\begin{bmatrix} -۰/۰۱۰۷ & ۰/۰۰۶۰ & -۰/۰۰۱۷ & ۰/۰۰۰۹ & ۰/۰۰۰۲ & ۰/۰۰۳۰ \end{bmatrix}$$

$$B_{00}=۰/۰۰۰۹۸۵۷۳$$

### مطالعه موردی اول

در مطالعه موردی، اول تلفات سیستم در نظر گرفته نمی‌شود و در سه حالت مختلف تابع هدف تعریف می‌شود. در دوحالت اول فقط یکی از تابع‌های هزینه و انتشار آلایندگی به عنوان تابع هدف درنظر گرفته می‌شود و در حالت سوم، تابع هدف به‌صورت چندهدفی قرار داده می‌شود و برای این حالت از روش جمع وزن‌دهی استفاده می‌شود:

$$f = w_۱f_۱ + w_۲f_۲ \qquad (۲۷)$$

باید شرط زیر هم برقرار باشد.

$$w_۱+w_۲=۱ \qquad (۲۸)$$

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

$$f = w_۱f_۱ + \gamma(1-w_۱)f_۲ \qquad (۲۹)$$

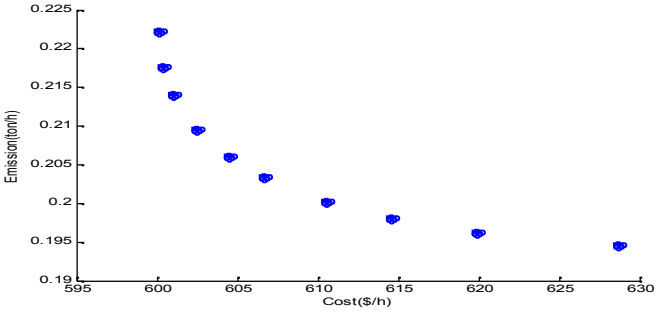
ضریب ثابت $\gamma$ برای هم‌وزن کردن هزینه و انتشار استفاده می‌شود،در این مسأله $\gamma = ۱۰۰۰$ قرار داده می‌شود.

نتایج مربوط به بهینه‌سازی پخش‌بار 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($w_۱$) در شکل (۲) رسم شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، با کم‌شدن هزینه، انتشار آلاینده‌ها بالا می‌رود و با کم‌شدن 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($w_۱$) در مطالعه موردی دوم در شکل (۴) رسم شده است.

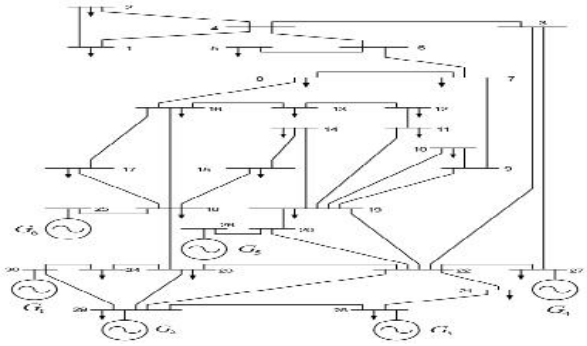
[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]




**شکل ۲) حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) مطالعه موردی اول نسبت به ضریب وزنی( $w_1$ )**

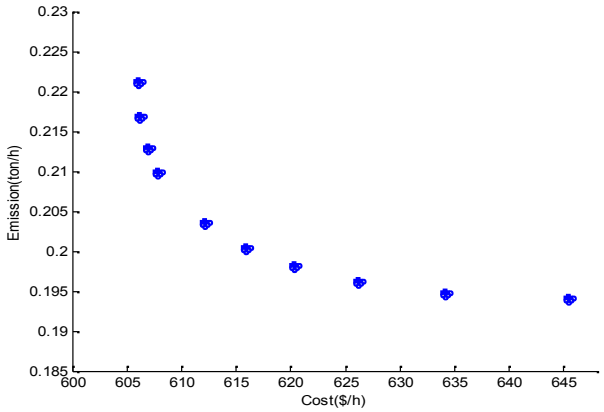
**جدول ٤) مقادیر بدست آمده در مطالعه موردی اول و مطالعه موردی دوم**

| | مطالعه موردی اول | | | مطالعه موردی دوم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر خروجی | بهترین هزینه | بهترین انتشار | بهترین جواب چند هدفی $w_1 = w_2 = 0/5$ | بهترین هزینه | بهترین انتشار | بهترین جواب چند هدفی $w_1 = w_2 = 0/5$ |
| $P_1$ | 1101/0 | 4077/0 | 2317/0 | 1276/0 | 4101/0 | 2274/0 |
| $P_2$ | 3006/0 | 4553/0 | 3608/0 | 2815/0 | 4604/0 | 3825/0 |
| $P_3$ | 5252/0 | 5425/0 | 5394/0 | 5839/0 | 5427/0 | 5677/0 |
| $P_4$ | 0121/1 | 3810/0 | 7452/0 | 9919/0 | 3901/0 | 7487/0 |
| $P_5$ | 5318/0 | 5369/0 | 5395/0 | 5234/0 | 5510/0 | 5477/0 |
| $P_6$ | 3541/0 | 5107/0 | 4175/0 | 3509/0 | 5089/0 | 4147/0 |
| انتشار آلاینده‌ها (تن بر ساعت) | **2220/0** | **1942/0** | **2033/0** | **2206/0** | **1942/0** | **2037/0** |
| هزینه (دلاربرساعت) | **11/600** | **404/638** | **803/606** | **988/605** | **443/645** | **002/612** |



**شکل۳) دیاگرام تک خطی سیستم ۳۰ شینه IEEE**

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]



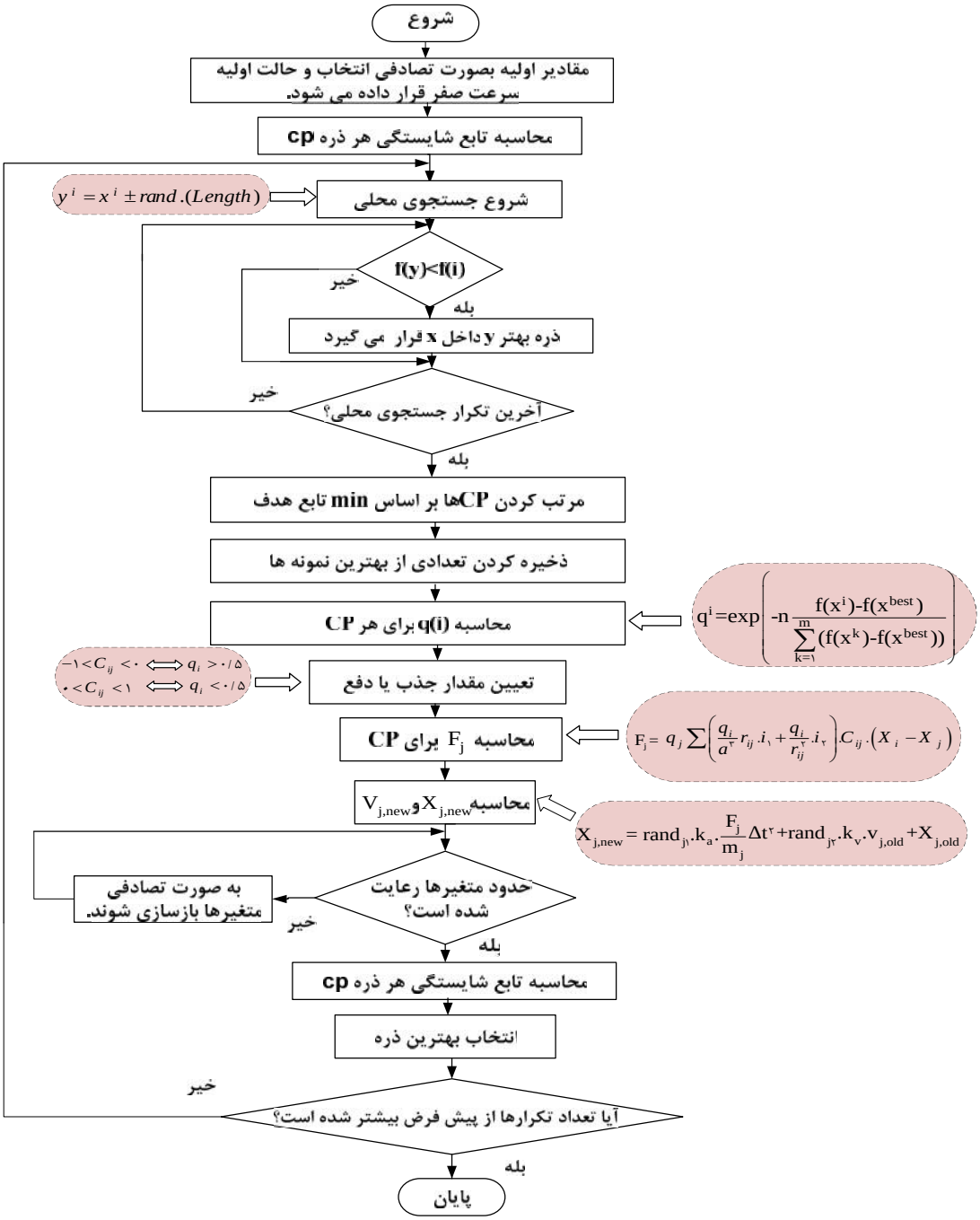

**شکل ٤) حساسیت تابع چندهدفی (۲۹) مطالعه موردی اول نسبت به ضریب وزنی( $w_1$ )**

در جدول (۵) نتایج مطالعه موردی اول با دیگر روش‌های پخش‌بار 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**

| مسأله ۱ | | SPEA[3] | NSGA[5] | NPGA[6] | MOSST[7] | FCPSO[8] | LP[12] | EC[13] | MCSS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نتایج مربوط به بهترین هزینه سوخت ( دلار بر ساعت) | $P_1$ | ۱۰۶۲/۰ | ۱۵۶۷/۰ | ۱۰۸۰/۰ | ۱۱۲۵/۰ | ۱۰۷۰/۰ | ۱۵۰۰/۰ | ۱۰۹۷/۰ | ۱۱۰۱/۰ |
| | $P_2$ | ۲۸۹۷/۰ | ۲۸۷۰/۰ | ۳۲۸۴/۰ | ۳۰۲۰/۰ | ۲۸۹۷/۰ | ۳۰۰۰/۰ | ۲۹۹۸/۰ | ۳۰۰۶/۰ |
| | $P_3$ | ۵۲۸۹/۰ | ۴۶۷۱/۰ | ۵۳۸۶/۰ | ۵۳۱۱/۰ | ۵۲۵/۰ | ۵۵۰۰/۰ | ۵۲۴۳/۰ | ۵۲۵۲/۰ |
| | $P_4$ | ۰۰۲۵/۱ | ۰۴۶۷/۱ | ۰۰۶۷/۱ | ۰۲۰۸/۱ | ۰۱۵/۱ | ۰۵۰۰/۱ | ۰۱۶۲/۱ | ۰۱۲۱/۱ |
| | $P_5$ | ۵۴۰۲/۰ | ۵۰۳۷/۰ | ۴۹۴۹/۰ | ۵۳۱۱/۰ | ۵۳۰۰/۰ | ۴۶۰۰/۰ | ۵۲۴۳/۰ | ۵۳۱۸/۰ |
| | $P_6$ | ۳۶۶۴/۰ | ۳۷۲۹/۰ | ۳۵۷۴/۰ | ۳۶۲۵/۰ | ۳۶۷۳/۰ | ۳۵۰۰/۰ | ۳۵۹۷/۰ | ۳۵۴۱/۰ |
| | هزینه | ۱۵/۶۰۰ | ۵۷۲/۶۰۰ | ۲۵۹/۶۰۰ | ۸۸۹/۶۰۵ | ۱۳۱۵/۶۰۰ | ۳۱۴/۶۰۶ | ۱۱۱/۶۰۰ | ۱۱/۶۰۰ |
| | انتشار | ۲۲۱۵/۰ | ۲۲۲۸/۰ | ۲۲۱۱۶/۰ | ۲۲۲۲/۰ | ۲۲۲۳/۰ | ۲۲۳۳/۰ | ۲۲۲۱/۰ | ۲۲۲۰/۰ |
| نتایج مربوط به بهترین انتشار آلاینده‌ها (تن بر ساعت) | $P_1$ | ۴۱۱۶/۰ | ۴۳۹۴/۰ | ۴۰۰۲/۰ | ۴۰۹۵/۰ | ۴۰۹۷/۰ | ۴۰۰۰/۰ | ۴۰۶۰/۰ | ۴۰۷۷/۰ |
| | $P_2$ | ۴۵۳۲/۰ | ۴۵۱۱/۰ | ۴۴۷۴/۰ | ۴۶۲۶/۰ | ۴۵۵۰/۰ | ۴۵۰۰/۰ | ۴۵۹۰/۰ | ۴۵۵۳/۰ |
| | $P_3$ | ۵۳۲۹/۰ | ۵۱۰۵/۰ | ۵۱۶۶/۰ | ۵۴۲۶/۰ | ۵۳۶۳/۰ | ۵۵۰۰/۰ | ۵۳۷۹/۰ | ۵۴۲۵/۰ |
| | $P_4$ | ۳۸۳۲/۰ | ۳۸۷۱/۰ | ۳۶۸۸/۰ | ۳۸۸۴/۰ | ۳۸۴۲/۰ | ۴۰۰۰/۰ | ۳۸۳۰/۰ | ۳۸۱۰/۰ |
| | $P_5$ | ۵۳۸۳/۰ | ۵۵۵۳/۰ | ۵۷۵۱/۰ | ۵۴۲۷/۰ | ۵۳۴۸/۰ | ۵۵۰۰/۰ | ۵۳۸۰/۰ | ۵۳۶۹/۰ |
| | $P_6$ | ۵۱۴۸/۰ | ۴۹۰۵/۰ | ۵۲۵۹/۰ | ۵۱۵۲/۰ | ۵۱۴۰/۰ | ۵۰۰۰/۰ | ۵۱۰۰/۰ | ۵۱۰۷/۰ |
| | هزینه | ۵۱/۶۳۸ | ۲۳۱/۶۳۹ | ۱۸۲/۶۳۹ | ۱۱۲/۶۴۴ | ۳۵۷۷/۶۳۸ | ۶۰۰/۶۳۹ | ۲۷۰۳/۶۳۸ | ۴۰/۶۳۸ |
| | انتشار | ۱۹۴۲/۰ | ۱۹۴۳۶/۰ | ۱۹۴۳۳/۰ | ۱۹۴۱۸/۰ | ۱۹۴۲/۰ | ۱۹۴۲۴/۰ | ۱۹۴۲/۰ | ۱۹۴۲/۰ |

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]




شکل ۵) روندنمای اجرای الگوریتم MCSS

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

## نتیجه گیری

امروزه مسأله پخش‌بار اقتصادی تعاریف جدیدی پیدا کرده است و نمی‌توان فقط از منظر اقتصادی به مسأله نگاه کرد و باید قیود دیگری از جمله محدودیت انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی، شرایط بهره‌برداری از نیروگاه و نرخ تغییرات تولید را در نظر گرفت. یکی از قیدهای بسیار مهم را می‌توان مسأله محدودیت انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید دانست. انرژی الکتریکی تولیدی بعضی از نیروگاه‌ها به دلیل فنی و یا عمر آنها با انتشار مقادیر فزاینده‌ای از گازهای آلاینده همراه است. به همین دلیل، مسأله پخش‌بار اقتصادی-زیست‌محیطی از مسائل مهم امروزه به‌شمار می‌رود. در این مقاله، الگوریتم جستجوی سیستم باردار برای پخش‌بار اقتصادی-زیست‌محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE که دارای ۶ ژنراتور می‌باشد، استفاده شده است که هدف الگوریتم، بهینه کردن هزینه سوخت و میزان انتشار گازهای آلاینده است. نتایج پخش‌بار اقتصادی-زیست‌محیطی سیستم ۳۰ شینه IEEE مقید به پخش‌بار مستقیم با الگوریتم MCSS در مقایسه با سایر الگوریتم‌های بکارگرفته شده مطلوب‌تر به‌دست آمده است. با مقایسه نتایج الگوریتم MCSS و نتایج الگوریتم‌های دیگر تراکم ذرات [۲]، الگوریتم تکاملی جبهه پارتو [۳]، الگوریتم تکاملی چندهدفی [۴]، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب[۵]، الگوریتم ژنتیک همراه با پارتو [۶]، تکنیک جستجوی تصادفی چندهدفی [۷]، بهینه‌سازی تراکم ذرات براساس دسته‌بندی فازی [۸] می‌توان به صحت و حساسیت این الگوریتم پی برد. از آنجا که این الگوریتم با دقت خوبی کار می‌کند، اگر مسأله پیچیده‌تر از این هم باشد، می‌تواند 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 Niched 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.


[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]

[8] S. Agrawal, BK. Panigrahi, MK. Tiwari, "Multiobjecive 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, "Amultiobjective 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 opti-mization 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 Temurtaş, B Durmuş, G Kuvat, "Charged system search algorithm for emission constrained economic power dispatch problem," Energy, vol. 46, no. 1, pp. 420–430, 2012.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-31 ]