

پخش بار اقتصادی و آلودگی‌های محیطی به کمک الگوریتم چند منظوره MOGSA

علی قاسمی^۱

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۰/۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۰/۶/۷

چکیده:

یکی از مسایل مهم در صنعت برق امروزی تولید آلودگی‌های محیط زیستی در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای خطرناکی چون مونواکسید و دی‌اکسید کربن می‌باشد. در این مقاله به حل مساله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی‌های محیطی (EED) ایجاد شده به کمک الگوریتم چند منظوره MOGSA پرداخته شده است. مساله EED یک مساله غیرخطی با در نظر گرفتن تابع هزینه تولید، آلودگی محیط زیست و تلفات یکی از مسایل مهم در سیستم امروزی می‌باشد. برای تطابق مساله با مساله واقعی قیود ناشی از ژنراتورها، خطوط و سایر محدودیت‌های عملی لحاظ شده است. در الگوریتم MOGSA براساس مرتب کردن خارجی تابع شایستگی‌ها به یافتن جواب مناسب می‌پردازد، در حقیقت در این الگوریتم براساس بهینه‌سازی پارتو به کمک آنتروپی انبوهی به یافتن جواب مناسب در تابع‌های موجود می‌پردازد. آنتروپی انبوهی یک معیار مناسب برای تخمین براساس جمعیت می‌باشد. بررسی‌های مورد نظر بر روی دو سیستم استاندارد ۳۰ و ۱۱۸ باسه استاندارد IEEE انجام گرفته شده و نتایج به دست آمده از آن با نتایج به دست آمده از سایر روش‌ها مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها در جداول و شکل‌ها نشان از کارایی مناسب بهینه‌سازی بر اساس معیار پارتو به کمک الگوریتم MOGSA در حل مساله EED می‌باشد. از خصوصیات بارز این الگوریتم سرعت مناسب همگرایی و جستجو براساس حرکت چرخشی سیستم در حین بهینه‌سازی می‌باشد. برای نشان دادن کارایی بهتر این الگوریتم در سه حالت با در نظر گرفتن توابع هزینه، آلودگی و تلفات به طور همزمان و به طور مجزا به بهینه‌سازی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی:

الگوریتم چند منظوره
MOGSA، آلودگی‌های
محیطی، پخش بار اقتصادی،
معیار پارتو، EED

(۱) دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، باشگاه پژوهشگران جوان، اردبیل، ایران، ghasemi.agm@gmail.com

مقدمه

مهم‌ترین موضوع در مساله پخش بار اقتصادی تولید انرژی الکتریکی مناسب براساس تقاضای بار به نحوی که بتوان با کم‌ترین هزینه، بار موجود را بین واحدهای تولیدی تقسیم نمود. از طرفی هشدارهای ایجاد شده به وسیله تولید گازهای محیطی خطرناک از سال ۱۹۹۰ باعث شده تا سازمان‌ها موظف به تولید انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن آلودگی‌های محیط زیست شده باشند. در این دوره روش‌های زیادی برای کاهش آلودگی‌های محیطی انجام شده است [۷]. در این روش‌ها از تجهیزات جدیدی برای کاهش آلودگی ایجاد شده در سیستم‌های نیروگاهی استفاده می‌شود. یکی از این تجهیزات بر اساس کلید زنی برای جابجایی بوده است که امروزه همچنان وجود دارد. یکی از مسایل مهم که امروزه در پخش بار بهینه استفاده می‌شود پخش آلودگی مناسب بین نیروگاه‌ها به منظور کاهش دادن آن می‌باشد [۱۰].

مساله EED ترکیب شده با مساله پخش بار سبب پیچیده‌گی بیشتر در حل مساله بهینه‌سازی می‌شود. در مرجع [۱۰] مساله کاهش آلودگی با پخش بهینه بار بین نیروگاه‌های فعال بیان شده است. در این مرجع تنها از تابع آلودگی به عنوان تابع هدف با در نظر گرفتن قیود عملی نیروگاه‌ها استفاده شده است. مساله پخش بهینه آلودگی با در نظر گرفتن حل خطی مساله یکی از روش‌های موجود می‌باشد که در مرجع [۹] داده شده است. مشکل این راه حل در نظر گرفتن حل خطی مساله و ایجاد خطای زیاد عدم تطابق مساله با واقعیت می‌باشد. همچنین به دلیل غیر خطی بودن ذاتی مساله حل روش‌هایی چون روش لامبدا و گرادیان ناکارآمد خواهد بود.

در مراجع [۵۶] حل مساله در حالت خطی با در نظر گرفتن مجموع تابع هدف چند منظوره با وزن‌دهی بر اساس پارتو انجام شده است. مشکل این روش در حل خطی و مدت زمان اجرای برنامه می‌باشد. از دیگر معایب این روش عدم توانایی معیار پارتو به کار رفته برای یافتن جواب بهینه در حل مساله پخش بار به صورت تابع نامنظم می‌باشد.

از دیگر روش‌های انجام شده برای مساله پخش بار با تابع هدف چند منظوره به کمک الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی تکاملی می‌باشد [۱۳]. مشکل این الگوریتم ناکارآمدی در حل مساله با افزایش قیود و کاهش سرعت حل مساله می‌باشد. از طرفی در این الگوریتم‌ها امکان قرار گرفتن آن‌ها در نقاط بهینه محلی به مراتب بیشتر می‌باشد.

در این مقاله از یک روش جدید بر اساس بهینه‌سازی چند منظوره بر اساس معیار بهینه‌سازی پارتو به کمک الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده شده است. تبدیل مناسب و توانایی الگوریتم MOGSA در جستجوی فضای حالت در حل غیر خطی مساله بهینه‌سازی و سرعت بالای الگوریتم از ویژگی‌های بارز این روش پیشنهادی می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی بر روی دو سیستم استاندارد نمونه ۳۰ و ۱۱۸ با سه استاندارد بررسی شده است و نتایج به دست آمده با سایر الگوریتم‌ها مقایسه شده است که نشان از کارایی الگوریتم پیشنهادی در حل مسایل غیر خطی می‌باشد. همچنین پاسخ مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌ها به دست می‌دهد. این مقاله در ۴ بخش بعدی پیگیری می‌شود: در بخش ۲ فرمول‌بندی مساله EED و در بخش ۳ الگوریتم MOGSA معرفی شده است. در بخش ۴ سیستم آزمون معرفی و نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر روی سیستم آزمون آورده شده و با نتایج ارائه شده در سایر مقالات مقایسه شده است. در نهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

فرمول‌بندی مساله EED

در سیستم توزیع مهندسی برق سعی در افزایش بازدهی شبکه قدرت با افزایش تعداد واحدهای تولیدی و میزان تقاضای بار و میزان سوددهی می‌باشند تا بتوانند با کم‌ترین هزینه تولید بیشترین سود ممکن را دریافت نموده در حالی که کل بار شبکه با در نظر گرفتن کلیه قیود عملی نیروگاه‌ها و انتقال و... در نظر گرفته شوند. مساله EED یکی مساله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن آلودگی محیط زیست و هزینه تولیدی واحدهای تولیدی می‌باشد. هدف در این مساله تولید با کم‌ترین هزینه و آلودگی محیط زیست می‌باشد

به نحوی که بتواند تمام قیود مساله را برآورده سازد. فرمول‌بندی در دو مساله زیر پیگیری می‌شود:

تابع هزینه: در کلیه تحقیقات انجام گرفته توسط رابطه زیر به عنوان تابع هدفی مناسب برای حل مساله پخش بار استفاده می‌شود [۱۵]:

$$\min \sum_{i=1}^N F_i(P_{Gi}) \quad (۱)$$

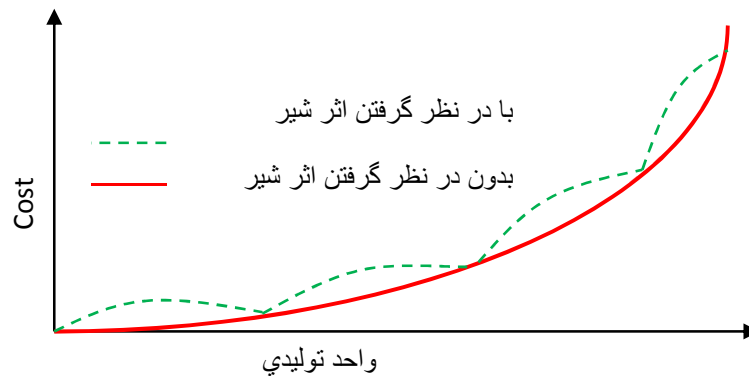
که در رابطه (۱) $F_i(P_i)$ تابع هزینه سوخت i امین واحد تولیدی، N تعداد ژنراتورهای در حال بهره‌برداری سیستم و P_i توان خروجی i امین ژنراتور است. $F_i(P_i)$ معمولاً به صورت معادله درجه دوم پیوسته زیر بیان می‌شود.

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (۲)$$

در رابطه (۲) a_i ، b_i و c_i ضرایب هزینه i امین ژنراتور است. برای در نظر گرفتن اثرات موقعیت شیر، توابع سینوسی به شکل زیر وارد تابع هدف می‌شود.

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \sin(f_i(P_i^{\min} - P_i))| \quad (۳)$$

شکل (۱) تغییرات تابع هزینه را برای واحد نیروگاهی نشان می‌دهد. که e_i و f_i ضرایب موقعیت شیر i امین ژنراتور بوده، تابع هزینه (۱) به یک تابع مرکب چند جمله‌ای و غیر محدب تبدیل می‌شود.



شکل ۱: تاثیر شیر ورودی بر تابع هزینه

تابع آلودگی: در این تابع هدف مینیمم کردن آلودگی‌های محیط زیست مانند اکسید سولفور و اکسید نیتروژن می‌باشد که به وسیله روابط زیر مدل‌سازی می‌شوند [۹]:

$$E(P_G) = \sum_{i=1}^N 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i P_{Gi} + \gamma_i P_{Gi}^2) + \zeta_i \exp(\lambda_i P_{Gi}) \quad (۱)$$

که در این رابطه $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \zeta_i$ و ضرایب تابع آلودگی برای آلاینده ژنراتور می باشد.

محدودیت‌های بهینه‌سازی

توازن تولید و مصرف در سیستم

مجموع توان تولید شده توسط کلیه واحدهای در مدار باید با مجموع مصرف سیستم برابر باشد.

$$\sum_{i=1}^N P_i - P_D - P_{loss} = 0 \quad (2)$$

تلفات شبکه انتقال، P_{loss} ، به ساختار فیزیکی شبکه و مقدار تولید بستگی دارد و از محاسبات پخش بار نیوتن رافسون یا ضرایب تلفات B_{ij} با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j \quad (3)$$

با در نظر گرفتن ماتریس تلفات حل مساله پخش بار اقتصادی تا اندازه‌ای پیچیده می‌شود. اصطلاحاً به فرمول (۶) فرمول جورج می‌گویند که برای محاسبه تلفات شبکه توزیع بکار می‌رود. که در این رابطه P_i و P_j توان-های تزریقی در باس‌های i ام و j ام می‌باشد. B_{ij} ماتریس ضرایب تلفات می‌باشد. اما فرمول دیگری که در اکثر تحقیقات وجود دارد فرمول کرون می‌باشد که دقت آن برای تعیین تلفات بهتر می‌باشد که به وسیله فرمول زیر بیان می‌شود [۸]:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{i0} P_i + B_{00} \quad (4)$$

که در رابطه (۷) B_{00} و B_{0i} ضرایب ماتریس تلفات می‌باشند.

حدود تولید

در یک سیستم قدرت هر واحد تولیدی به دلایلی فنی می‌تواند در یک رنج مناسبی تولید کند چرا که اگر از آن محدوده خود خارج شود به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. به طوری که برای هر واحد تولیدی حداقل و حداکثر توان اکتیو، راکتیو و ولتاژ تعریف می‌شود.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (5)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max} \quad (6)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (7)$$

که در رابطه‌های فوق $P_i^{\min}$ و $V_i^{\min}$ مقدار مینیمم توان راکتیو، اکتیو و ولتاژ و $P_i^{\max}$ ، $Q_i^{\max}$ و $V_i^{\max}$ مقدار حد بالایی برای هر واحد نیروگاهی می‌باشد. حدود فوق، علاوه بر اینکه ناشی از محدودیت‌های فنی هر واحد می‌باشند، باعث می‌شوند تا واحد با هزینه کمتر، بیش از حداکثر توان مجاز خود و واحد با هزینه بیشتر، کمتر از حد مجاز خود تولید نداشته باشد.

نرخ‌های افزایشی و کاهششی

به دلایل فنی نیروگاه‌های حرارتی نمی‌توانند به صورت آنی توان خود را افزایش یا کاهش دهند و این افزایش یا کاهش با آهنگی همراه است. بدین شکل که هر نیروگاه دارای محدودیت‌هایی در شیب افزایش یا کاهش توان تولیدی خود است که تجاوز از این محدودیت‌ها منجر به خسارت به روتور شده و باعث افزایش هزینه عملکرد می‌گردد. که این محدودیت‌ها با قیود زیر داده می‌شود.

$$P_i^{\min}(t) \leq P(t)_i \leq P_i^{\max}(t) \quad (۸)$$

که $P_i^{\min}(t) = \max(P_i(t-1) - RDR_i, P_i^{\min})$ و RDR_i نرخ کاهششی نیروگاه

و $P_i^{\max}(t) = \min(P_i(t-1) + RUR_i, P_i^{\max})$ و RUR_i نرخ افزایششی نیروگاه می‌باشد.

به منظور اعمال محدودیت‌های فوق لازم است تا وضعیت تولید اولیه هر نیروگاه معلوم باشد.

محدودیت خط انتقال

در مساله پخش بار برای هر خط یک حداکثر توان خروجی مطرح می‌باشد که در رابطه (۱۲) داده شده است:

$$|P_{Lf,k}| \leq P_{Lf,k}^{\max}, k = 1, 2, \dots, L \quad (۹)$$

که در این رابطه P_{Lf} توان تولیدی تزریق شده در خط k ام می‌باشد. $P_{Lf,k}^{\max}$ حداکثر توان جاری شده در خط k ام و L تعداد خطوط می‌باشد.

تابع هدف نهایی برای بهینه‌سازی توسط روابط زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } [F(P_G), E(P_G)] \\ & \text{subject to :} \\ & g(P_G) = 0 \\ & h(P_G) \leq 0 \end{aligned} \quad (۱۰)$$

الگوریتم MOGSA

الگوریتم GSA

الگوریتم جستجوی گرانشی یک الگوریتم وابسته به هوش جمعی و بدون حافظه می‌باشد. این الگوریتم بهینه‌سازی با الگو برداری از قوانین و حرکت عوامل در یک سیستم مصنوعی در زمان گسسته طراحی شده است که در آن، فضای سیستم همان محدوده تعریف مساله می‌باشد. بر طبق قانون گرانش هر جرم، محل و وضعیت اجرام دیگر را از طریق جاذبه گرانشی درک می‌کند. بنابراین از این نیرو می‌توان برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. در این الگوریتم، جرم عامل‌ها با توجه به تابع هدف تامین می‌شوند [۱۴]. در یک سیستم با n جرم، موقعیت هر جرم، نقطه‌ای از فضا است که جوابی از مساله می‌باشد که موقعیت جرم i ام با X_i نشان داده شده می‌شود.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad (۱)$$

در رابطه بالا n بعد مساله و همچنین x_i^d بعد d از جرم i ام می‌باشد. در این سیستم، به جرم i در زمان t و در جهت بعد d ، نیرویی به مقدار $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. اندازه این نیرو از رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \times (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (2)$$

در رابطه بالا، M_{aj} جرم گرانشی فعال جرم j ، M_{pi} جرم گرانشی غیر فعال جرم i می‌باشد که هر دوی آن‌ها در الگوریتم ذکر شده یکسان و برابر M در نظر گرفته شده‌اند. $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t ، R_{ij} فاصله مابین دو جرم i ام و j ام و یک عدد خیلی کوچک است. ثابت گرانش، یک پارامتر مناسب برای کنترل توانایی‌های جستجو و بهره‌وری بشمار می‌آید که با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$G(t) = G_0 e^{\frac{-\alpha t}{T}} \quad (3)$$

که در بالا α و G_0 ضرایب کنترلی الگوریتم و T بیانگر طول عمر سیستم است نیروی وارد بر جرم i ام در جهت بعد t ، در زمان t طبق رابطه زیر برابر است با مجموع تمام نیروهایی که سایر جرم‌های سیستم بر این جرم وارد می‌کنند در این رابطه $rand_j$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $(0,1)$ بوده که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن در نظر گرفته شده است [۱۲].

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (4)$$

همچنین، هر یک از جرم‌ها دارای یک سرعت و یک شتاب می‌باشد که هر کدام از آنها به ترتیب در معادله (۱۸) نشان داده می‌شوند. با توجه به قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد d شتابی می‌گیرد که با نیروی وارد بر جرم در آن بعد، بخش بر جرم اینرسی آن که در رابطه (۱۷) بیان شده است، متناسب می‌باشد از طرف دیگر سرعت هر عامل در زمان برابر است با مجموع ضربی از سرعت فعلی و شتاب عامل که طبق رابطه (۵) بیان می‌شود [۱۴].

$$v_i^d(t+1) = rand \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (5)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (6)$$

زمانی که شتاب و سرعت هر جرم محاسبه شد موقعیت جدید عامل i ام در بعد d محاسبه می‌گردد.

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (7)$$

موقعیت‌های جدید به عنوان مکان اجرام جدید در فضای جستجو در نظر گرفته می‌شوند، که وزن اجرام جدید به وسیله معادلات زیر نرمالیزه می‌شوند.

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (8)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (9)$$

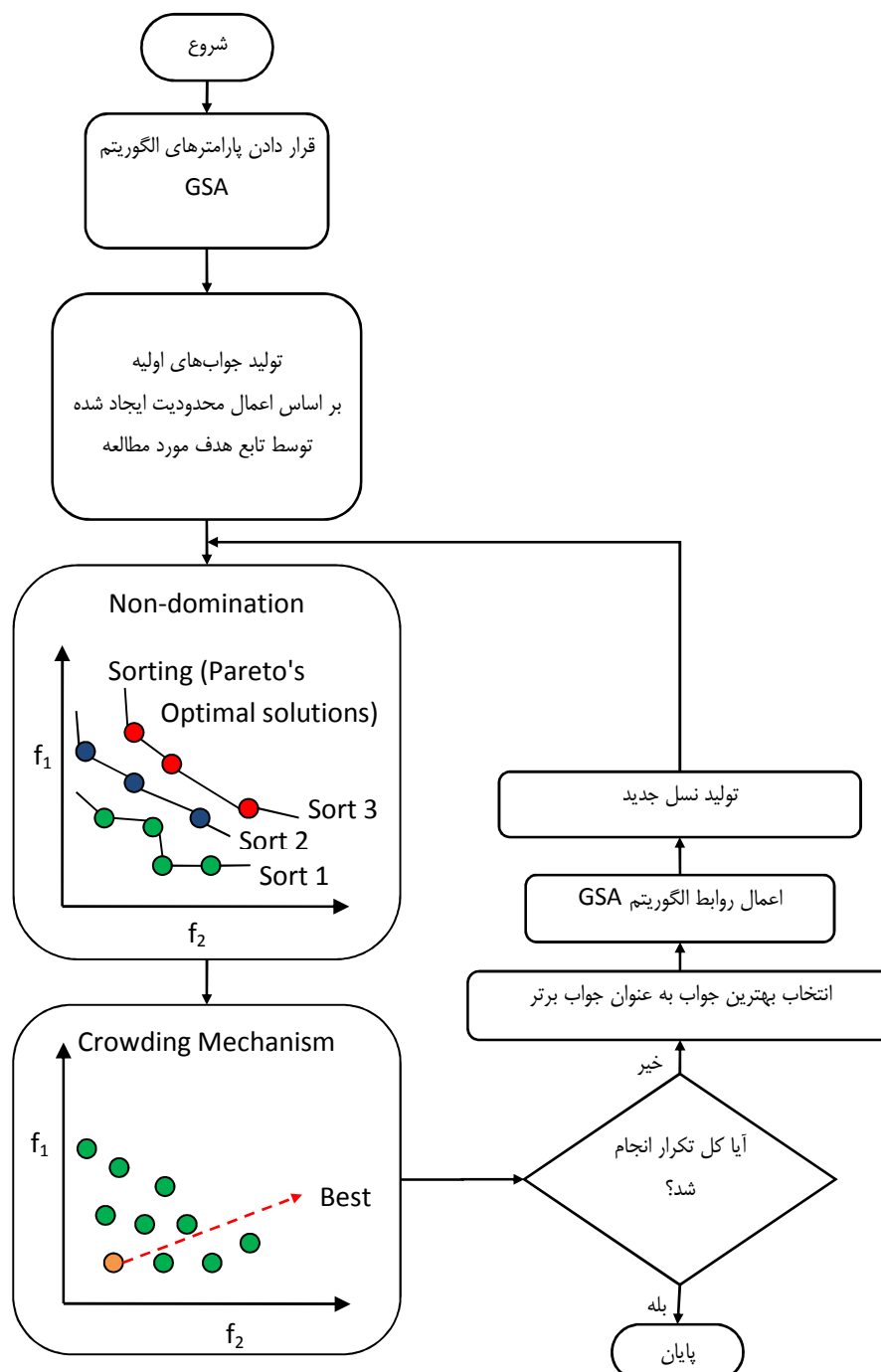
که در آن $\text{fit}_i(t)$ نمایانگر میزان برازندگی جرم عامل i ام در زمان t ، $\text{worst}(t)$ و $\text{best}(t)$ به ترتیب بیانگر میزان شایستگی بدترین و بهترین عامل جمعیت در زمان، هستند که اندازه آن‌ها در مسایل کمینه‌یابی با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند.

$$\text{Worst}(t) = \max \{ \text{fit}_i(t) \} \quad (10)$$

$$\text{Best}(t) = \min \{ \text{fit}_i(t) \} \quad (11)$$

Multi-Objective (MO)

در تحقیقات انجام شده تا به حال از تابع هدف MO در حل مسایل بهینه‌سازی استفاده شده است. در این مقاله مساله MO به کمک الگوریتم GSA ترکیب شده و بر اساس مقیاس پارتو مرتب شده است [۱]. مقیاس پارتو یک نوع توزیع منابع اقتصادی است متناسب به "پارتو" اقتصاددان مشهور ایتالیائی که به موجب آن تغییر تخصیص منابع برای بهتر کردن وضع یک عامل اقتصادی بدون اینکه وضع عامل دیگری به همین نسبت خراب‌تر شود میسر نیست. در حل مسایل با چند تابع هدف تنها یک جواب مناسب ندارد مجموعه‌ای از جواب‌های مناسب دارد. در مقیاس پارتو از مقیاس نماد جلویی پارتو برای حل مساله استفاده می‌کند. که این نماد بر اساس جواب تابع هدف‌های موجود در فضای جستجو به هر جواب نسبت داده می‌شود. در تابع هدف چند منظوره متغیرهای ورودی X_i به عنوان جواب‌های اولیه وارد مساله بهینه‌سازی شده و در تابع هدف‌های مورد نظر قرار گرفته و مقدار شایستگی آن‌ها تعیین می‌شود. معمولاً این جواب‌ها در مخالف تابع دیگری بوده و جواب‌ها باید در محدوده مجاز ارزش دهی داده شوند تا از قیود مساله تخلف نکرده باشند. شکل (۲) نحوه اعمال این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی بر مساله EED

نتایج شبیه‌سازی سیستم‌های مورد مطالعه

در این قسمت برای نشان داده کارایی الگوریتم مورد نظر بر روی دو سیستم استاندارد ۶ نیروگاهی ۳۰ باسه IEEE و ۱۴ نیروگاهی ۱۱۸ باسه IEEE مساله EED انجام گرفته و نتایج آن با سایر روش‌ها مقایسه شده است. ضرایب سیستم مورد مطالعه در جداول آورده شده است:

IEEE 6-Generator 30-Bus

همان گونه گفته شده این سیستم دارای ۶ واحد نیروگاهی می‌باشد مقدار تقاضای بار ۲/۸۳۴ بر مقیاس ۱۰۰ مگاوات بوده و ضرایب تابع هزینه و آلودگی در جدول (۱) داده شده است. سایر اطلاعات این سیستم در مرجع [۳] داده شده است.

IEEE 14-generator 118-bus

این سیستم دارای ۱۴ نیروگاه و ۱۱۸ باس به منظور تامین ۹۵۰ مگاوات به عنوان سیستم دوم مورد استفاده قرار گرفته است. ضرایب تابع هدف‌های مورد مطالعه در جدول (۲) داده شده است. کلیه اطلاعات دیگر این سیستم در مرجع [۳] داده شده است.

جدول ۱: ضرایب سیستم مورد مطالعه اول ۳۰ باسه

NO	a	b	c	α	β	γ	ζ	λ	P_{Gmax} (MW)	P_{Gmin} (MW)
P_{G1}	10	200	100	4.091	-5.543	6.490	2.0e-4	2.857	150	5
P_{G2}	10	150	120	2.543	-6.047	5.638	5.0e-4	3.333	150	5
P_{G3}	20	180	40	4.258	-5.094	4.586	1.0e-6	8.000	150	5
P_{G4}	10	100	60	5.326	-3.550	3.380	2.0e-3	2.000	150	5
P_{G5}	20	180	40	4.258	-5.094	4.586	1.0e-6	8.000	150	5
P_{G6}	10	150	100	6.131	-5.555	5.151	1.0e-5	6.667	150	5

جدول ۲: ضرایب سیستم مورد مطالعه دوم ۱۱۸ باسه

NO	a	b	c	α	β	γ	P_{Gmax} (MW)	P_{Gmin} (MW)
----	---	---	---	----------	---------	----------	-----------------	-----------------

50	300	23.333	-1.500	0.016	0.50	189	150	P _{G1}
50	300	21.022	-1.820	0.031	0.55	200	115	P _{G2}
50	300	22.050	-1.249	0.013	0.60	350	40	P _{G3}
50	300	22.983	-1.355	0.012	0.50	315	122	P _{G4}
50	300	21.313	-1.900	0.020	0.50	305	125	P _{G5}
50	300	21.900	0.805	0.007	0.70	275	70	P _{G6}
50	300	23.001	-1.401	0.015	0.70	345	70	P _{G7}
50	300	24.003	-1.800	0.018	0.70	345	70	P _{G8}
50	300	25.121	-2.000	0.019	0.50	245	130	P _{G9}
50	300	22.990	-1.360	0.012	0.50	245	130	P _{G10}
50	300	27.010	-2.100	0.033	0.55	235	135	P _{G11}
50	300	25.101	-1.800	0.018	0.45	130	200	P _{G12}
50	300	24.313	-1.810	0.018	0.70	345	70	P _{G13}
50	300	27.119	-1.921	0.030	0.60	389	45	P _{G14}

برای شبیه‌سازی دو سناریو مختلف را در نظر می‌گیریم:

۱- مقایسه روش پیشنهادی با دو تابع هدف آلودگی و تابع هزینه واحدهای تولیدی.

۲- تابع هدف شامل تابع هزینه، تابع آلودگی و تلفات سیستم می‌باشد.

در ادامه جدول (۳) شبیه‌سازی برای سیستم ۳۰ باسه با در نظر گرفتن تابع هزینه به عنوان تابع هدف انجام شده برای یافتن جواب بهتر ۱۰ بار برنامه اجرا شده است و نتایج بر اساس کم‌ترین هزینه تولید به دست آمده است.

جدول ۳: نتیجه به دست آمده بر اساس تابع هزینه سیستم ۳۰ باسه

SPEA	NPGA	NSGA	MOPSO	MODE	MOGSA	
[2]	[19]	[16]	[4]	[11]		
0.1279	0.1425	0.1447	0.1207	0.1332	0.1344	P _{G1}
0.3163	0.2693	0.3066	0.3131	0.2727	0.2873	P _{G2}
0.5803	0.5908	0.5493	0.5907	0.6018	0.6039	P _{G3}
0.9580	0.9944	0.9894	0.9769	0.9747	0.8854	P _{G4}
0.5258	0.5315	0.5244	0.5155	0.5146	0.5685	P _{G5}
0.3589	0.3392	0.3542	0.3504	0.3617	0.3551	P _{G6}
607.86	608.06	607.98	607.790	606.126	601.690	Cost (\$/h)
0.2176	0.2207	0.2191	0.2193	0.2195	0.2144	Emission (ton/h)

جدول (۴) نتایج شبیه‌سازی برای سیستم مورد مطالعه با در نظر گرفتن تابع آلودگی به عنوان تابع هدف نشان می‌دهد. برای یافتن جواب بهتر ۱۰ بار برنامه اجرا شده است.

جدول ۴: نتیجه به دست آمده بر اساس تابع آلودگی سیستم ۳۰ باسه

SPEA	NPGA	NSGA	MOPSO	MODE	MOGSA	
[2]	[19]	[16]	[4]	[11]		
0.4145	0.4064	0.3929	0.4101	0.39266	0.3142	P _{G1}
0.4450	0.4876	0.3937	0.4594	0.46256	0.1480	P _{G2}
0.5799	0.5251	0.5815	0.5511	0.56311	0.5019	P _{G3}
0.3847	0.4085	0.4316	0.3919	0.40309	0.6613	P _{G4}

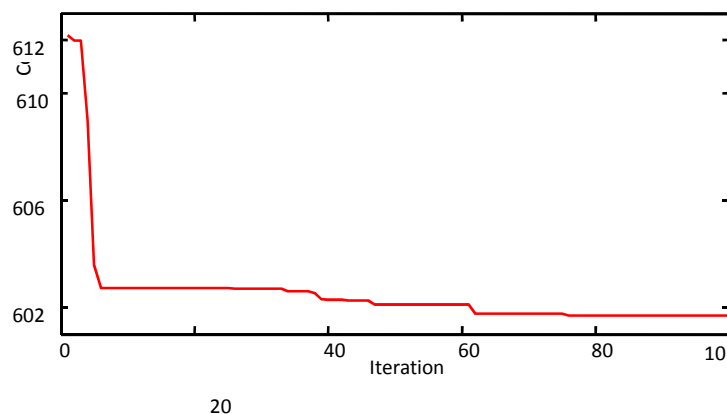
0.5348	0.5386	0.5445	0.5413	0.5676	0.5246	P _{G5}
0.5051	0.4992	0.5192	0.5111	0.47826	0.4146	P _{G6}
644.77	644.23	638.98	644.740	642.849	611.969	Cost (\$/h)
0.1943	0.1943	0.1947	0.1942	0.1942	0.1989	Emission (ton/h)

جدول (۵) نتیجه شبیه‌سازی برای سیستم مورد مطالعه با در نظر گرفتن هم زمان تابع آلودگی و تابع هزینه می‌باشد. نتیجه به دست آمده پس از ۱۰ بار اجرا برنامه به دست آمده است.

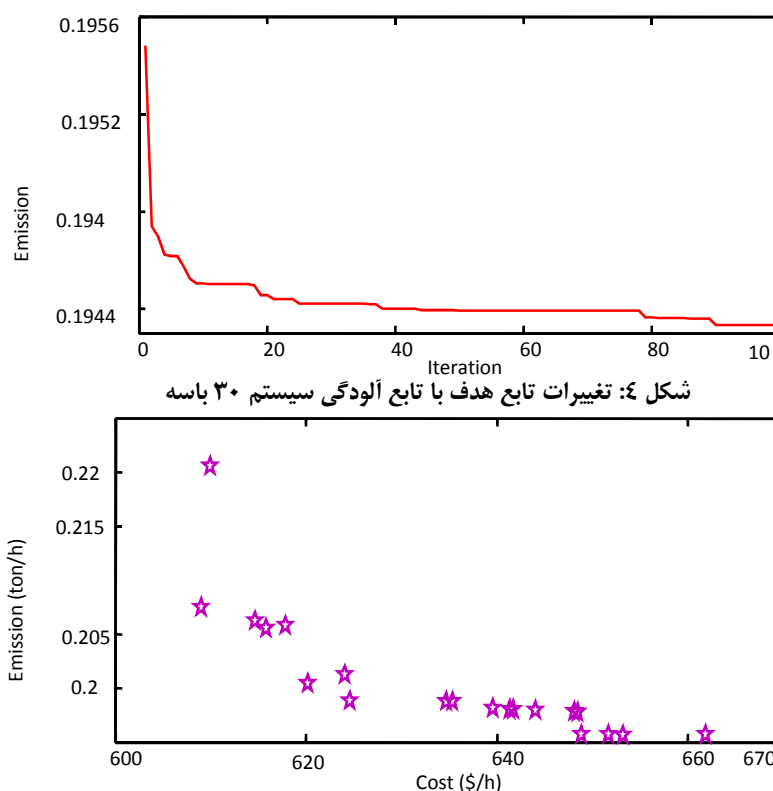
جدول ۵: نتیجه به دست آمده بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی و تابع هزینه با مقیاس پارتو سیستم ۳۰ باسه

SPEA	NPGA	NSGA	MOPSO	MODE	MOGSA	
[2]	[19]	[16]	[4]	[11]		
0.2752	0.2976	0.2935	0.2367	0.23555	0.3973	P _{G1}
0.3752	0.3956	0.3645	0.3616	0.34896	0.4633	P _{G2}
0.5796	0.5673	0.5833	0.5887	0.57001	0.5660	P _{G3}
0.6770	0.6928	0.6763	0.7041	0.72519	0.3996	P _{G4}
0.5283	0.5201	0.5383	0.5635	0.55357	0.5150	P _{G5}
0.4282	0.3904	0.4076	0.4087	0.42609	0.4973	P _{G6}
617.57	617.79	617.80	615.00	613.27	607.356	Cost (\$/h)
0.2001	0.2004	0.2002	0.2021	0.2026	0.1941	Emission (ton/h)

شکل‌های ۳ تا ۵ تغییرات تابع هدف را برای بهینه‌سازی با تابع هزینه، تابع آلودگی و ترکیب این دو تابع را به ترتیب نشان می‌دهد.



شکل ۳: تغییرات تابع هدف با تابع هزینه ژنراتورها سیستم ۳۰ باسه



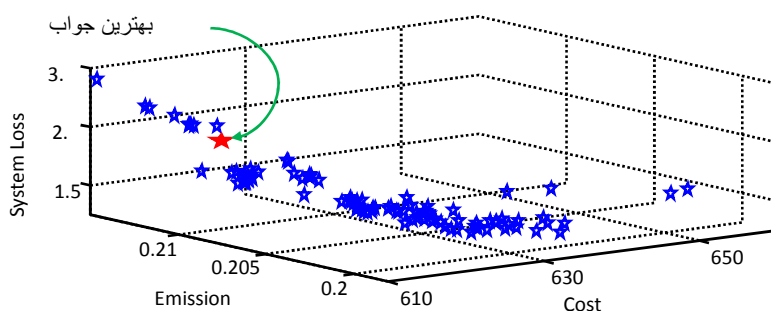
شکل ۵: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission) و تابع هزینه (Cost) سیستم ۳۰ باسه

در ادامه برای سیستم مورد مطالعه سه تابع هدف شامل تابع هزینه تولیدی واحدها (Cost)، تابع آلودگی (Emission) و تابع تلفات (System Loss) می‌باشد. در این قسمت دارای سه تابع هدف بوده که نسبت به حالت‌های قبلی سبب پیچیده‌تر شدن بیشتر سیستم می‌شود. جدول (۶) نتایج به دست آمده برای این سه تابع هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۶: نتیجه به دست آمده بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی، تابع هزینه و تابع تلفات با مقیاس پارتو سیستم ۳۰ باسه

MOPSO	MODE	MOGSA	
[4]	[11]		
0.39768	0.21207	0.2315	P_{G1}
0.41814	0.30659	0.3782	P_{G2}
0.64404	0.68878	0.6530	P_{G3}
0.75147	0.67937	0.6407	P_{G4}
0.44620	0.58218	0.5391	P_{G5}
0.48973	0.38691	0.3952	P_{G6}
614.913	614.170	612.3993	Cost (\$/h)
0.2081	0.2043	0.2010	Emission (ton/h)

2.8865	2.2009	2.0810	System loss (MW)
--------	--------	--------	------------------



شکل ۶: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission)، تابع هزینه (Cost) و تابع تلفات (System Loss) سیستم ۳۰ باسه

جدول (۷) نسبت پارامترها و جمعیت انتخاب شده برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های مقایسه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۷: مقایسه بین الگوریتم‌ها براساس میزان جمعیت و تکرار سیستم استاندارد ۳۰ باسه IEEE

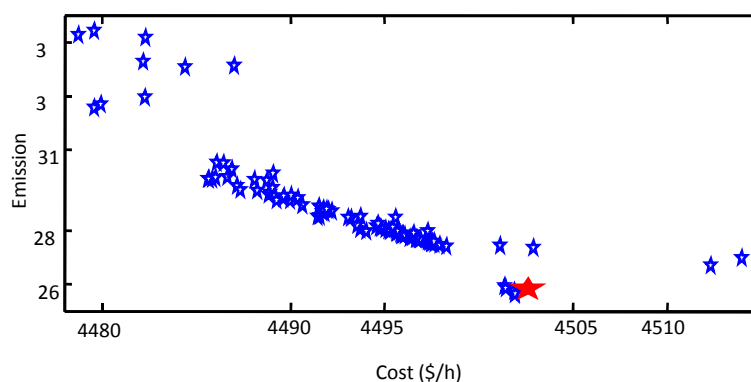
پارامتر انتخاب شده برای مقایسه الگوریتم‌ها		SPEA	NPGA	NSGA	MOPSO	MODE	MOGSA
		[2]	[19]	[16]	[4]	[11]	
جمعیت	بدون تابع تلفات	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰
	با تابع تلفات	---	---	---	۱۰۰	۱۰۰	۵۰
تکرار	بدون تابع تلفات	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰
	با تابع تلفات	---	---	---	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰

سیستم مورد مطالعه بعدی سیستم ۱۱۸ باسه IEEE می‌باشد. کلیه اطلاعات این سیستم در مرجع [۱۸] داده شده است. جدول (۸) نتیجه بهینه‌سازی به کمک دو تابع هزینه تولیدی و تابع آلودگی می‌باشد.

جدول ۸: نتیجه به دست آمده بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی و تابع هزینه با مقیاس پارتو سیستم ۱۱۸ با سه

WA	MOEA	FMPSO	MODE	MOGSA	
[19]	[19]	[19]	[11]		
91.1562	81.6684	94.5703	82.1555	70.0683	PG1
109.584	108.597	105.728	50.4606	50.1975	PG2
51.4286	50.3574	50.992	68.8527	74.6879	PG3
50.1945	50.0378	50.0	83.5687	85.7764	PG4
68.3609	88.2061	75.7894	68.1255	62.8080	PG5
90.6869	89.5116	84.6362	50.0254	50.3820	PG6
53.5931	50.0	53.3723	65.3001	62.7803	PG7
56.4637	51.6133	54.8911	66.7923	65.4152	PG8
77.0796	82.3149	83.6218	75.7799	75.9474	PG9
51.234	54.5174	52.5273	95.4330	99.1036	PG10
87.3122	84.3849	79.5150	50.4028	50.7540	PG11
110.159	112.184	106.104	87.1779	82.8869	PG12
55.1502	51.427	58.1926	65.6425	67.7654	PG13
50.722	50.408	50.1546	50.1148	51.7045	PG14
4558.0	4565.1	4548.6	4508.5	4501.9	Cost (\$/h)
39.2491	39.7978	38.0501	37.3536	25.643	Emission (ton/h)

شکل (۷) تغییرات تابع پارتو بر اساس دو تابع آلودگی و تابع هزینه برای سیستم ۱۱۸ با سه استاندارد را نشان می‌دهد.



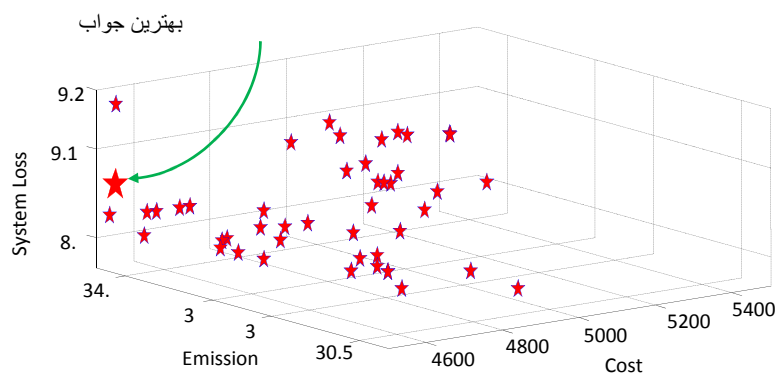
شکل ۷: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission) و تابع هزینه (Cost) سیستم ۱۱۸ با سه

در حالت دیگر به بهینه‌سازی سیستم ۱۱۸ با سه با در نظر گرفتن سه تابع هزینه، آلودگی و تابع تلفات پرداخته شده است.

جدول ۹: نتیجه به دست آمده بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی، تابع هزینه و تابع تلفات برای سیستم ۱۱۸ با سه

MODE	MOGSA	
[11]		
70.9094	74.9570	P _{G1}
51.1464	50.6474	P _{G2}
69.1604	72.8475	P _{G3}
77.3742	75.3713	P _{G4}
68.9120	65.9071	P _{G5}
50.5830	52.7605	P _{G6}

72.0363	74.7267	P_{G7}
69.6698	69.3665	P_{G8}
73.4252	70.5410	P_{G9}
101.0704	95.9182	P_{G10}
53.8714	54.3332	P_{G11}
86.9146	81.1535	P_{G12}
64.1231	69.6266	P_{G13}
50.1213	51.2419	P_{G14}
4524.9	4513.5	Cost (\$/h)
37.629	35.332	Emission (ton/h)
9.3301	9.0435	System loss (MW)



شکل ۸: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission)، تابع هزینه (Cost) و تابع تلفات (System Loss) سیستم ۱۱۸ با سه

نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم MOGSA در حل مساله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن توابع آلودگی و تلفات به بهینه‌سازی هم‌زمان آن‌ها با استفاده از معیار پارتو استفاده شده است. برای نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی از دو سیستم استاندارد ۳۰ و ۱۱۸ با سه استفاده شده است. در شبیه‌سازی در هر سیستم سه حالت در نظر گرفته شده است که در حالت اول شبیه‌سازی بر اساس مینی‌م کردن تابع هزینه و در حالت دوم شبیه‌سازی بر اساس مینی‌م کردن تابع آلودگی و در حالت سوم با بهینه‌سازی هم‌زمان هر دو تابع آلودگی و هزینه به یافتن بهترین جواب پرداخته شده است. همچنین برای نشان دادن کارایی بالای الگوریتم و تطابق بیشتر مساله با واقعیت در سیستم‌های مورد مطالعه با در نظر گرفتن سه تابع هزینه، آلودگی و تلفات به بهینه‌سازی مساله EED پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با سایر روش‌ها مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان از کارایی بالای الگوریتم در حل مساله EED می‌باشد. همچنین جداول نشان از کارایی مناسب الگوریتم در یافتن جواب مناسب می‌باشد که نشان می‌دهد امکان قرار گرفتن آن در نقاط محلی کمتر می‌باشد. از طرفی این الگوریتم با داشتن کمترین تعداد جمعیت و کمترین تکرار در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها (جدول ۷) دارای سرعت بسیار بالاتری بوده است.

منابع

- [1] Abido .M.A. (2003), Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms, *IEEE Trans. Power Syst.* 18 (4) 1529–1537.
- [2] Abido M.A. (2003), A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective environmental/economic dispatch, *Electr. Power Energy Syst.* 25 (2), 97–105.
- [3] Abido M.A. (2006) ", Multiobjective evolutionary algorithms for electric power dispatch problem", *IEEE Trans. Evol. Comput.* 10 (3) 315–329.
- [4] Abido M.A. (2009)," Multiobjective particle swarm optimization for environmental/economic dispatch problem", *Electr. Power Syst. Res.* 79 (7), 1105–1113.
- [5] Chang C. S., K. P. Wong, and B. Fan, (1995) "Security-Constrained multiobjective generation dispatch using bicriterion global optimization," *Proc. Inst. Elect. Eng.-Gen. Transm. Dist.*, 142(4), pp. 406–414.
- [6] Dhillon J. S., Parti S. C., and Kothari D. P., (1993) "Stochastic economic emission load dispatch," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 26, pp. 186–197
- [7] El-Keib A., Ma H., and Hart J. L.,(May 1994) "Economic dispatch in view of the clean air act of 1990," *IEEE Trans. Power Syst.*, 9, pp. 972–978.
- [8] Esmat R, Hossein N, Saeid S. , (2009), "A Gravitational Search Algorithm", *Information Sciences*, Vol. 179 , pp. 2232–2248.
- [9] Farag A., Al-Baiyat S., and Cheng T. C., (May 1995) "Economic load dispatch multiobjective optimization procedures using linear programming techniques," *IEEE Trans. Power Syst.*, 10, pp. 731–738.
- [10] Granelli G. P., Montagna M., Pasini G. L., and Marannino P.,(1992), "Emission constrained dynamic dispatch," *Electric Power Syst. Res.* 24, pp. 56–64.
- [11] Guerrero R.P., (2004), Differential evolution based power dispatch algorithms, M.S. Thesis, Electrical Engineering Department, University of Puerto Rico, Mayaguez Campus.
- [12] Knowles JD, Corne DW, (2000)," Approximating the non-dominated front using the Pareto archive evolutionary strategy", *Evolut Comput*, 8(2):149–224.
- [13] Lin W.M., Cheng F.S. and Tsay M.T., (2002)," An improved Tabu search for economic dispatch with multiple minima", *IEEE Trans. Power Syst.*, (17) (1), pp. 108–112.
- [14] Rashedi, E., Nezamabadipour, H. And Saryazdi, S.,(18 May 2010) "Filter modeling using gravitational search algorithm", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*.
- [15] Safari A. and Shayeghi H. (2010)," Iteration particle swarm optimization procedure for economic load dispatch with generator constraints", *Expert Systems with Applications*.
- [16] Venkatesh P., Gnanadass R., Padhy N.P. (2003)," Comparison and application of evolutionary programming techniques to combined economic emission dispatch with line flow constraints", *IEEE Trans. Power Syst.* 18 (2) 688–696.

- [17] Venkatesh P., Gnanadass R., Padhy N.P.(2003), Comparison and application of evolutionary programming techniques to combined economic emission dispatch with line flow constraints, IEEE Trans. Power Syst. 18 (2) 688–696.
- [18] Wang L.F., Singh C.N., (2007), Environmental/economic power dispatch using a fuzzified multi-objective particle swarm optimization algorithm, Electr. Power Syst. Res. 77 (12) 1654–1664.
- [19] Wua L.H., Wanga Y.N., Yuan X.F., Zhou S.W. (2010)," Environmental/economic power dispatch problem using multi-objective differential evolution algorithm", Electric Power Systems Research 80 1171–1181.

پیوست

لیست نماد ها

Environmental/Economic Power Dispatch (EED)

Multi-Objective Gravitational Search Algorithm (MOGSA)

Pareto: معیار پارتو

System Loss: تابع تلفات سیستم

Emission: تابع آلودگی

Cost: تابع هزینه تولیدی

MOGSA: الگوریتم جستجوی گرانشی با تابع چند منظوره

