

توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی زیست محیطی در سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم چند هدفه مبتنی بر معیار پارتو و منطق فازی

بهمن طاهری^۱، غلامرضا آقاجانی^۲ و مهسا صداقت^۳

۱. عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بيله سوار، اردبیل - ایران b.taheri@iauardabil.ac.ir

۲. عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل - ایران

۳. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان - اردبیل، ایران

چکیده

در این تحقیق، برای حل مساله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی در سیستم‌های قدرت، الگوریتم MOPSO پیشنهاد شده است. در سال‌های اخیر، توزیع بار اقتصادی در سیستم‌های قدرت، مورد توجه محققین واقع شده است، اما در اکثر این تحقیقات، به معضل آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی توجه نشده است. مدل ارائه شده در این تحقیق، قید آلودگی را نیز اعمال نموده است و از این لحاظ مدلی جدید از مساله مذکور به شمار می‌رود. الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO، یک الگوریتم جستجوی تکاملی است که در زمینه‌های مختلف مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله، توانایی الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO، برای حل مساله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم قدرت پیشنهادی بررسی شده است و برای نشان دادن دقت و سرعت همگرایی الگوریتم پیشنهادی نتایج حاصل با روش کلاسیک NLP مقایسه شده است. استراتژی پیشنهادی روی یک سیستم واقعی در شرایط مختلف اعمال شده و در آخر نیز نتایج بدست آمده ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: توزیع اقتصادی بار، اثرات زیست محیطی نیروگاه، بهینه‌سازی چند هدفه، معیار پارتو، الگوریتم MOPSO

۱. مقدمه

تولید گازهای آلاینده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های برق باعث شده است که علاوه بر هزینه‌های بهره‌برداری، کمینه‌سازی میزان آلودگی نیروگاه‌ها نیز مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد. مساله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی از سال ۱۹۹۰ با تصویب قانونی از طرف سازمان هوای پاک به منظور کنترل آلودگی‌های زیست محیطی مانند دی اکسید گوگرد (SO₂) و اکسید ازن (NO_x) و دی اکسید کربن (CO₂) مورد توجه قرار گرفت تا به حال تحقیقات زیادی در این مورد انجام گرفته است که روش‌های متعددی نیز برای کاهش آلودگی ارائه گردیده است. در حال حاضر استراتژی‌های مختلفی برای کاهش این آلودگی‌ها وجود دارد که می‌توان آنها را در سه دسته زیر تقسیم بندی کرد [۱]:

- نصب تجهیزات تمیزکننده آلاینده در محل نیروگاه‌ها

- جایگزینی تجهیزات قدیمی با جدید

- بهره‌برداری از نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن آلاینده‌های زیست محیطی

برای در نظر گرفتن آلودگی نیروگاه‌ها در فرایند توزیع اقتصادی بار، راهکارهای متنوعی وجود دارد، فینگان و فواد برای اولین بار در سال ۱۹۷۴، آلودگی نیروگاه‌ها را در مساله توزیع در نظر گرفتند [۲]، در این مقاله آلودگی به عنوان یک قید در نظر گرفته شده است بگونه‌ای که مقدار آن از حد مجاز نباید بیشتر شود، از این استراتژی در تحقیقات دیگر [۳] برای کنترل آلودگی استفاده شده است. جهت بهبود سرعت همگرایی تابع هزینه بهره‌برداری مرجع [5] استفاده از الگوریتم EMO را پیشنهاد میکند. روش‌های مختلفی برای حل این موضوع در سال‌های گذشته ارائه گردیده است، روش‌های تحلیلی [۶]، لاگرانژ [۷] نیوتن رافسون [۸] که این روش‌ها تقریباً روش‌های اولیه می‌باشند. روش‌های تکاملی همچون الگوریتم ژنتیک [۹] اجتماع ذرات [۱۰] سخت کاری فولاد [۱۱] سیستم امنیتی مصنوعی [۱۲] تکاملی تفاضلی [۱۳] الگوریتم قورباغه [۱۴]. جهت انجام پخش بار اقتصادی برای نیل به هزینه بهینه، مرجع [15] استفاده از الگوریتم هوشمند PSO-SIL را توصیه کرده است. برای حل این مساله مطرح شده‌اند که از نظر سرعت و دقت با هم تفاوت دارند. با توجه به این‌که توزیع اقتصادی بار بدون در نظر گرفتن مساله محیط زیست دارای هزینه است و از طرفی نگرانی‌های زیادی در مورد انتشار آلاینده‌های زیست محیطی وجود دارد اما این تکنیک‌ها فقط هزینه سیستم‌ها را در نظر گرفته‌اند. در این مقاله یک استراتژی تحلیلی برای کمینه‌سازی همزمان هزینه و آلودگی‌های ایجاد شده توسط نیروگاه‌ها بصورت یک تابع چندهدفه با استفاده از الگوریتم MOPSO پیشنهاد شده است. بطوریکه استراتژی پیشنهادی روی یک سیستم واقعی ۶ باسه در شرایط مختلف اعمال می‌گردد. برای بررسی دقت و صحت نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل با روش کلاسیک NLP مقایسه می‌شود. این تحقیق بصورتی که نشان داده شده است بخش بندی می‌شود. در بخش دوم توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم قدرت مدنظر مدل‌سازی شده است. در این بخش قیود تکمیلی همچون حد نرخ شیب و نقاط ممنوعه کاری ژنراتورها و امنیت شبکه نیز بیان شده است و در انتهای این بخش روش حل مساله توضیح داده شده است. در بخش سوم الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO به عنوان الگوریتم پیشنهادی برای حل مساله مذکور، به تفصیل شرح داده شده است. در بخش چهارم شبیه‌سازی و تحلیل نتایج عددی مورد مطالعه بحث شده و نهایتاً بخش آخر به نتیجه‌گیری‌های مهم حاصل از کار ارائه شده، می‌پردازد.

۲. توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی

در سیستم توزیع مهندسی برق سعی در افزایش بازدهی شبکه قدرت با افزایش تعداد واحدهای تولیدی 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، انتقال و... در نظر گرفته شوند. مساله EED یک مساله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن آلودگی زیست محیطی و هزینه بهره‌برداری واحدهای تولیدی می‌باشد. هدف در این مساله تولید با کمترین هزینه و آلودگی زیست محیطی می‌باشد به نحوی که بتواند تمام قیود مساله را برآورده سازد.

۲.۱. تابع هزینه بهره‌برداری

تابع هزینه بهره‌برداری که شامل هزینه ثابت و هزینه توان خروجی می‌باشد مطابق معادله (۱) است.

(۱)

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{i=1}^N F_i(p_i) = \sum_{i=1}^N a_i + b_i f_i + c_i p_i^2$$

که در آن a_i ، b_i و c_i ثابت‌های هزینه چند جمله ای درجه دو واحد آم، و $F(P_i)$ هزینه سوخت ژنراتور آم، N تعداد ژنراتورهای در حال بهره‌برداری سیستم و P_i توان خروجی ژنراتور آم است.

۲.۲. تابع انتشار آلاینده‌گی

برای کمینه کردن تخریبات زیست محیطی یا نشر کل آلاینده‌های گازی که از سوزاندن سوخت‌های فسیلی درون واحدهای نیروگاهی در محیط مساعد می‌شود، باید مقدار آلاینده گازی نشر شده با توان تولید شده از آن واحد وابسته باشد. لذا می‌توان تابع هدف مینیمم کردن آلودگی‌های زیست محیطی را مطابق معادله (۲) بیان کرد [۳-۴].

$$\text{Min } F_2(x) = \sum_{i=1}^N 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i P_{Gi} + \gamma_i P_{Gi}^2)$$

که در آن α_i ، β_i و γ_i ثابت‌ها و ضرایب آلودگی نشر شده از واحد آم است.

۲.۳. قیود

سیستم قدرت نمونه تحت قیود فنی زیر بهره‌برداری می‌شود:

۲.۳.۱. قید تعادل توان

مجموع توان تولید شده توسط کلیه واحدها باید برابر مجموع بار تقاضا باشد.

$$\sum_{i=1}^N P_i - P_D - P_{Loss} = 0 \quad (3)$$

که در آن P_{Loss} نشان دهنده تلفات سیستم می‌باشد که برای تعیین تلفات سیستم از رابطه تلفات بر اساس ماتریس B استفاده شده است، که این رابطه تلفات بر اساس ماتریس B مطابق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

(۴)

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{i0} P_i + B_{00}$$

۲.۳.۲. قید بهره‌برداری واحدها

در یک سیستم قدرت هر واحد تولیدی به دلایل فنی می‌تواند در یک رنج مناسبی تولید کند چرا که اگر از محدوده خود خارج شود به لحاظ اقتصادی مقرر به صرفه نخواهد بود. بطوری که برای هر واحد تولید حداقل و حداکثر توان اکتیو، مطابق معادله (۵) تعریف می‌شود.

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

که در آن P_i^{\min} مقدار مینیمم توان اکتیو و P_i^{\max} مقدار حد بالا برای هر واحد نیروگاهی می‌باشد.

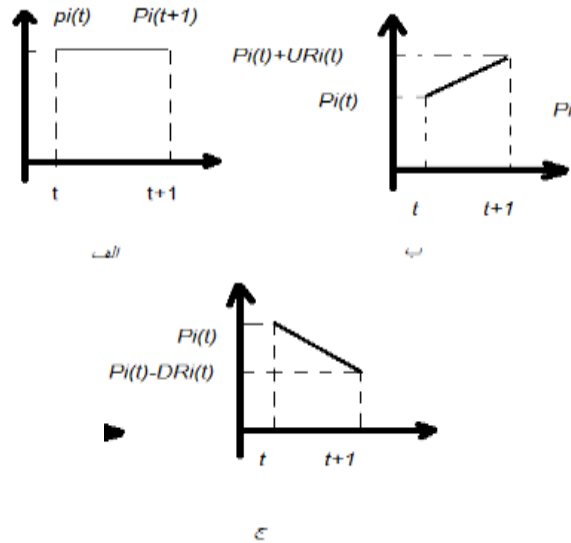
۲.۳.۳. محدودیت حد نرخ شیب

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. توان اکتیو خروجی از واحدها باید قیود (۵)-(۶) را برآورده نماید.

(۵)

$$P_i^{\min}(t) = \max(P_i(t-1) - RDR_i, P_i^{\min}) \quad (6)$$

که در آن RDR_i نرخ کاهشی و RUR_i نرخ افزایش نیروگاه می‌باشند، که به منظور اعمال محدودیت‌های فوق لازم است تا وضعیت تولید اولیه هر نیروگاه معلوم باشد شکل ۱ نحوه اعمال این محدودیت‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱: انواع محدودیت‌های نیروگاهی ناشی از هر واحد تولیدی

۳. الگوریتم MOPSO

مسائل بهینه‌سازی چندهدفه همانند رابطه زیر شامل چندین تابع هدف ناسازگار، قیود تساوی و ناتساوی بوده که به‌طور همزمان باید بهینه شوند.

$$\min F(\vec{X}) = [f_1(\vec{X}), f_2(\vec{X}), \dots, f_N(\vec{X})]^T \quad (7)$$

فضایی که تابع هدف در آن تعریف می‌شود فضای هدف نامیده می‌شود. در بهینه‌سازی چندهدفه هر دو حل نسبت به همدیگر می‌توانند دو حالت داشته باشند یکی بر دیگری چیره شود و اینکه هیچ یک نتوانند بر دیگری چیره شود که رابطه (۸) نمایانگر این مساله است.

$$\begin{aligned} \forall j \in \{1, 2, \dots, n\} &\Rightarrow f_j(\vec{X}_1) \leq f_j(\vec{X}_2) \\ \exists k \in \{1, 2, \dots, n\} &\Rightarrow f_k(\vec{X}_2) < f_k(\vec{X}_1) \end{aligned} \quad (8)$$

با اعمال مفاهیم بهینه‌سازی پارتو با اصول اساسی الگوریتم PSO [۱۶] می‌توان از این الگوریتم برای حل مسائل چندهدفه استفاده کرد که به آن الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MOPSO) اطلاق می‌گردد [۱۷] در الگوریتم MOPSO برای ذخیره کردن جواب‌ها از یک آرشیو استفاده می‌شود، منظور از آرشیو یک حافظه خارجی بوده که در آن راه حل‌های چیره شده ذخیره می‌شود، این الگوریتم ابتدا با استفاده از یک سری ذرات تصادفی شروع به کار می‌کند و در طول یک پروسه تکراری کلیه ذرات جمعیت با یکدیگر مقایسه شده و مکان (موقعیت) ذرات چیره شده در آرشیو ذخیره می‌شوند. سرعت و موقعیت جدید ذره ام در بعد ام و تکرار $t+1$ با استفاده از رابطه زیر بروز می‌شوند برای جزئیات بیشتر به مراجع [۱۶ - ۱۵] رجوع شود.

$$v_{id}^{t+1} = v_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (9)$$

$$x_{id}^{t+1} = w \times v_{id}^t + c_1 \text{rand}_1 \times (P_{bestid}^t - x_{id}^t) + c_2 \text{rand}_2 \times (g_{bestid}^t - x_{id}^t) \quad (10)$$

نحوه اعمال الگوریتم بر مساله مورد مطالعه در گام‌های زیر قابل پیگیری هست.

گام ۱: تعریف داده‌های ورودی

در ابتدای برنامه داده‌های ورودی مورد نیاز برنامه به‌طور دقیق بیان می‌شود که شامل: ساختار سیستم قدرت، مشخصه‌های بهره‌برداری منابع تولیدی و ضرایب آلودگی هر واحدی تولیدی می‌باشد.

گام ۲: ایجاد جمعیت اولیه

در این مرحله یک جمعیت اولیه با توجه به محدودیت‌های اعمالی از سوی مساله مطابق رابطه زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$X^0 = [X_1, X_2, \dots, X_N]^T \quad (11)$$

که در آن بردار X شامل توان تولیدی واحدهای نیروگاهی می‌باشد.

گام ۳: در این قسمت برای هر جمعیت تولیدشده، الگوریتم پخش بار مشخص شده در شکل ۲ را اجرا کرده و سپس یک برازندگی بر اساس معادلات (توابع هدف) محاسبه می‌شود.

گام ۴: مشخص کردن راه‌حل‌های نامغلوب

گام ۵: جدا کردن راه‌حل‌های نامغلوب و ذخیره کردن آن‌ها در یک آرشیو

گام ۶: انتخاب بهترین ذره از آرشیو پاسخ‌های نامغلوب به‌عنوان رهبر

فرایند انتخاب رهبر بدین صورت است که فضای جستجو کشف شده را به قسمت‌های مساوی تقسیم کرده و به هر قسمت از فضای جستجو کشف یک توزیع احتمالی را اختصاص می‌دهیم و نهایتاً با استفاده از روش چرخ رولت بهترین ذره، به‌عنوان رهبر انتخاب می‌شود.

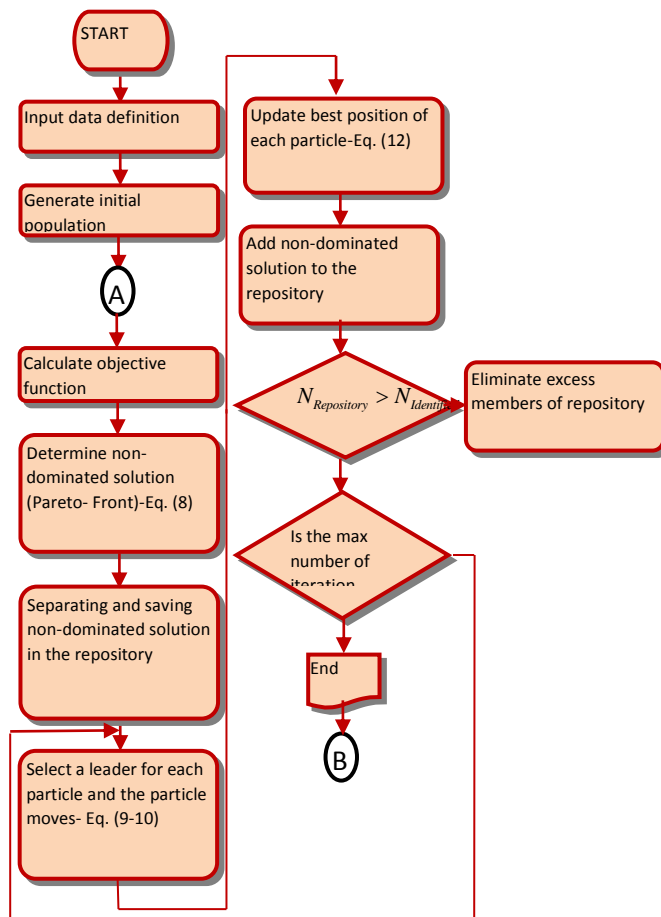
گام ۷: سرعت و موقعیت جدید هر ذره با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌گردد.

گام ۸: به‌روزرسانی بهترین موقعیت برای هر ذره برای به‌روزرسانی بهترین موقعیت، موقعیت جدید ذره با موقعیت قبلی آن مقایسه می‌شود.

(۱۲)

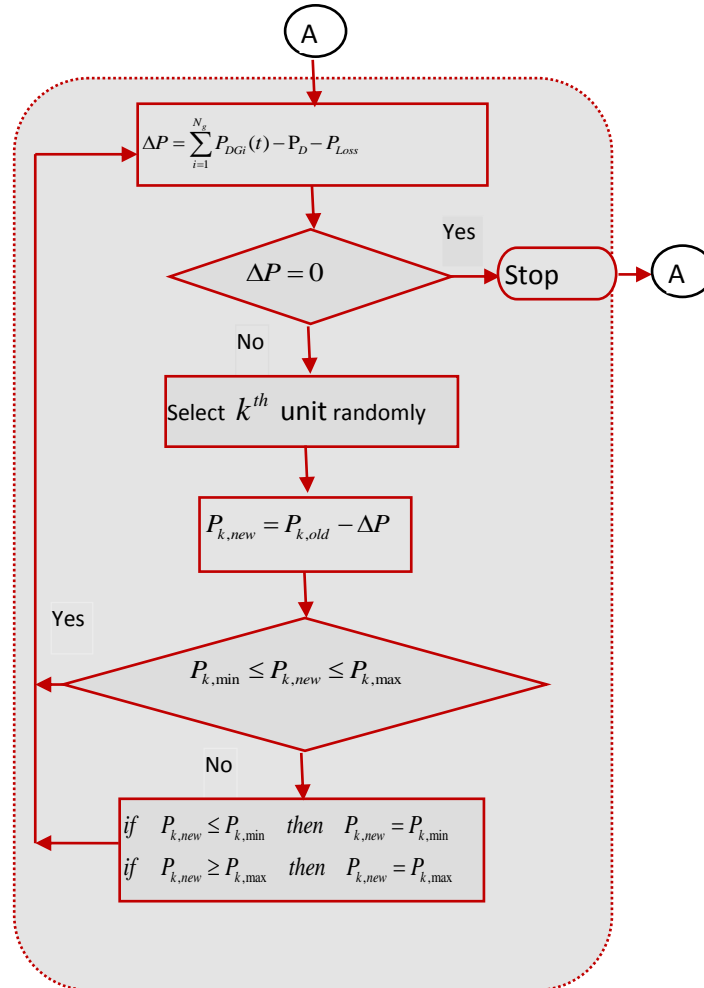
$$P_{best,i}(t+1) = \begin{cases} P_{best,i}(t) & P_{best,i}(t) < X_i(t+1) \\ X_i(t+1) & X_i(t+1) < P_{best,i}(t) \\ \text{select randomly} & \\ (P_{best,i}(t) \text{ or } X_i(t+1)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

گام ۹: اضافه کردن راه‌حل‌های نامغلوب فعلی به آرشیو



شکل ۲: فلوجارت الگوریتم پخش بار

گام ۱۰: حذف اعضای مغلوب از آرشیو
 گام ۱۱: اگر تعداد اعضای آرشیو بیش از ظرفیت تعیین شده باشد اعضای اضافی حذف می شود
 گام ۱۲: بررسی شرط خاتمه یافتن برنامه
 اگر ماکزیمم تعداد تکرار برقرار باشد فرایند بهینه سازی متوقف می شود در غیر این صورت جمعیت فعلی جایگزین جمعیت قبلی شده و الگوریتم به گام ۶ برمی گردد. شکل ۳ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی برای حل مساله بهینه سازی را نشان می دهد.



شکل ۳: فلوجارت پیاده سازی الگوریتم MOPSO

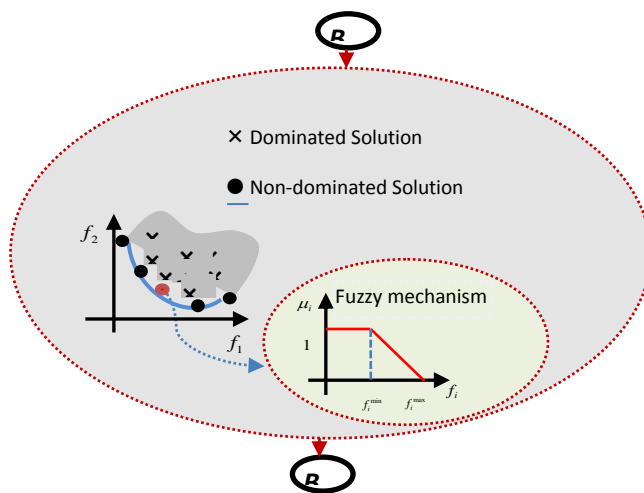
گام ۱۳: انتخاب بهترین راه حل تعاملی
 برای انتخاب یک راه حل بهتر از میان پاسخ های بهینه به دست آمده تابع تصمیم گیری فازی با تابع عضویتی که بتواند مقدار دقیق متغیرها در آن جایگذاری گردد، در نظر گرفته می شود. که در آن تابع عضویت μ_i^k نشان دهنده میزان بهینگی تابع هدف f_i در بین جواب بهینه پارتو می باشد. که مطابق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\mu_i^k = \begin{cases} 1 & f_i \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\max} < f_i < f_i^{\min} \\ 0 & f_i \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (13)$$

که در آن f_i^{\min} و f_i^{\max} به ترتیب حد بالایی و پایینی تابع هدف آم هستند که در روش پیشنهادی این مقادیر با استفاده از نتایج بهینه‌سازی هر تابع هدف به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. μ_i^k در محدوده ۰ تا ۱ قرار دارد بطوریکه $\mu_i^k = 0$ نشان‌دهنده عدم سازگاری جواب با اهداف طراح و $\mu_i^k = 1$ نمایانگر سازگاری کامل می‌باشد. برای هر جواب بهینه پارتو k تابع عضویت نرمالیزه شده به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu^k = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i^k}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \mu_i^k} \quad (14)$$

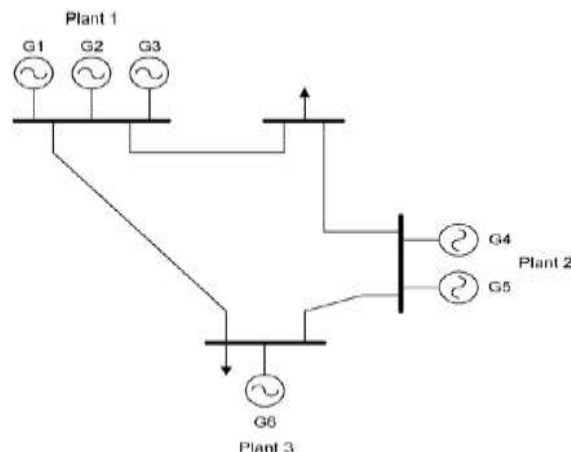
که در آن n نمایانگر تعداد جواب‌های نامغلوب و m تعداد تابع هدف را نشان می‌دهد. راه‌حل با بیشترین مقدار تابع عضویت به عنوان بهترین جواب سازگار می‌باشد.



شکل ۴: نحوه اعمال روش فازی برای انتخاب بهترین راه‌حل از مجموعه جواب پارتو

۴. سیستم مورد مطالعه و نتایج شبیه‌سازی

برای نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی از یک سیستم ۶ واحدی استاندارد استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی این سیستم در شرایط باری مختلف اجرا گردیده و نتایج آن با روش کلاسیک NLP مقایسه شده است. این سیستم پیشنهادی تقریباً ۲۵ ساله بوده و متوسط هزینه افزایشی واحدهای تولیدی ۴۵ دلار برمگاوات ساعت است. سیستم مورد نظر در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: سیستم مورد مطالعه

سیستم مورد مطالعه شامل ۳ نیروگاه و ۶ واحد تولیدی می باشد. هزینه سوخت، ضرایب آلاینده‌گی واحدهای تولیدی به ترتیب در جداول ۱ و ۲ داده شده است. برای سادگی فقط یک نوع آلاینده NO_x در نظر گرفته شده است. جدول ۳ ضرایب تلفات انتقال سیستم را نشان می دهد. روش استفاده شده در این مقاله بر پایه اصول اساسی الگوریتم PSO است که به صورت یک تابع چند هدفه استفاده می شود به این ترتیب که با اعمال مفاهیم بهینه سازی پارتو، الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات (MOPSO) را جهت حل مساله تشکیل داده می شود. و در ادامه جهت نشان دادن دقت و صحت الگوریتم پیشنهادی، نتایج با الگوریتم NLP مقایسه گردیده است.

جدول ۱. هزینه سوخت واحدهای تولیدی

واحد نیروگاه	ضرایب هزینه سوخت			P_{Gmin}	P_{Gmax}	
	a_i	b_i	c_i			
G ₁	۰,۱۵۲۴۷	۳۸,۵۳۹۷۳	۷۵۶,۷۹۸۸۶	۱۰	۱۲۵	
۱	G ₂	۰,۱۰۵۸۷	۴۶,۱۵۹۱۶	۴۵۱,۳۲۵۱۳	۱۰	۱۵۰
	G ₃	۰,۰۲۸۰۳	۴۰,۳۹۶۵۵	۱۰۴۹,۳۲۵۱۳	۴۰	۲۵۰
	G ₄	۰,۰۳۵۴۶	۳۸,۳۰۵۵۳	۱۲۴۳,۵۳۱۱	۳۵	۲۱۰
۲	G ₅	۰,۰۲۱۱۱	۳۶,۳۲۷۸۲	۱۶۵۸,۵۶۹۶	۱۳۰	۳۲۵
	G ₆	۰,۰۱۷۹۹	۳۸,۲۷۰۴۱	۱۳۵۶,۶۵۹۲۰	۱۲۵	۳۱۵

۱.۲. هزینه بهره برداری

در این مرحله نتایج حاصل از کمینه سازی هزینه بهره برداری در دو حالت بدون/با لحاظ کردن تلفات سیستم در نظر گرفته شده اند. نحوه تخصیص توان بهینه تولیدی واحدها در آن دو حالت با استفاده از دو روش الگوریتم MOPSO و NLP به ترتیب در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

جدول ۲: ضرایب آلاینده‌گی واحدهای تولیدی

واحد نیروگاه	ضرایب هزینه آلودگی			P_{Gmin}	P_{Gmax}	
	d_i	e_i	f_i			
۱	G ₁	۰,۰۰۴۱۹	۰,۳۲۷۶۷	۱۳,۸۵۹۳۲	۱۰	۱۲۵
	G ₂	۰,۰۰۴۱۹	۰,۳۲۷۶۷	۱۳,۸۵۹۳۲	۱۰	۱۵۰
	G ₃	۰,۰۰۶۸۳	-۰,۵۴۵۵۱	۴۰,۲۶۶۹	۴۰	۲۵۰
۲	G ₄	۰,۰۰۶۸۳	-۰,۵۴۵۵۱	۴۰,۲۶۶۹	۳۵	۲۱۰
	G ₅	۰,۰۰۴۶۱	-۰,۵۱۱۱۶	۴۲,۸۹۵۵۳	۱۳۰	۳۲۵
	G ₆	۰,۰۰۴۶۱	-۰,۵۱۱۱۶	۴۲,۸۹۵۵۳	۱۲۵	۳۱۵

نتایج حاصل از جدول ۴ و ۵ نشان می دهد که واحدهای ۵ و ۶ که دارای هزینه راه اندازی کمتری نسبت به واحدهای دیگر می باشند سهم بیشتری در تامین توان درخواستی سیستم دارند.

جدول ۳: ضرایب تلفات انتقال

۰,۰۰۰۰۹۱	۰,۰۰۰۰۳۱	۰,۰۰۰۰۲۹
۰,۰۰۰۰۳۱	۰,۰۰۰۰۶۲	۰,۰۰۰۰۲۸
۰,۰۰۰۰۲۹	۰,۰۰۰۰۲۸	۰,۰۰۰۰۷۲

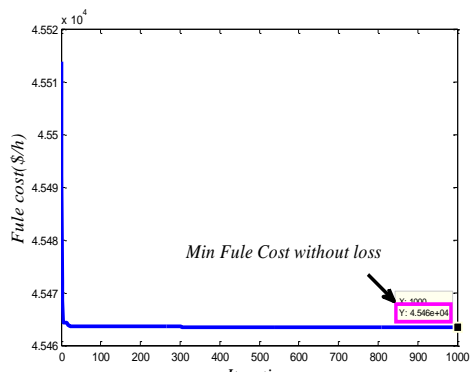
جدول ۴: توزیع اقتصادی بار بدون در نظر گرفتن تلفات سیستم انتقال

واحد	MOPSO	NLP
1	32.4581	32.497
2	10.7287	10.816
3	143.6975	143.646
4	143.1524	143.032
5	287.1629	287.104
6	282.8004	282.905
Total fuel cost(\$/h)	45463.49	45463.492
Total emission (kg/h)	795.1081	795.076

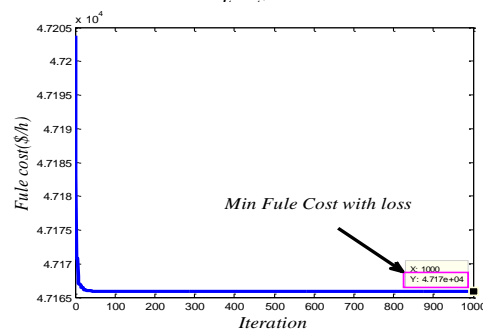
شکل ۶ مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی با کمینه سازی تابع هزینه بهره برداری در صورت بدون بار در نظر گرفتن تلفات سیستم را نشان می دهد. که با توجه به نتایج حاصل می توان گفت هزینه بهره برداری در صورت لحاظ کردن تلفات سیستم انتقال از مقدار ۴۵۴۶۳,۴۹ دلار/ساعت به مقدار ۴۷۱۷۰,۹۲ دلار/ساعت افزایش می یابد.

جدول ۵: توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن تلفات سیستم انتقال

واحد	MOPSO	NLP
1	33.7700	33.994
2	12.5465	12.973
3	153.8285	151.792
4	148.5365	147.276
5	296.2165	294.232
6	293.3019	298.056
Total fuel cost(\$/h)	47170.9204	47328.745
Total emission (kg/h)	856.9961	863.29
Transmission loss(MW)	38.23	38.323



(a)



(b)

شکل ۶. مشخصه همگرایی تابع هزینه بهره برداری (a) بدون در نظر گرفتن (b) با در نظر گرفتن تلفات سیستم انتقال

۴,۲. اتابع انتشار آلاینده

در این مرحله نتایج حاصل از کمینه سازی هزینه ناشی از انتشار آلاینده در دو حالت بدون/با لحاظ کردن تلفات سیستم در نظر گرفته شده اند. نحوه تخصیص توان بهینه تولیدی واحدها در آن دو حالت با استفاده از دو روش الگوریتم MOPSO و NLP به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۶: توزیع اقتصادی آلودگی بدون در نظر گرفتن تلفات

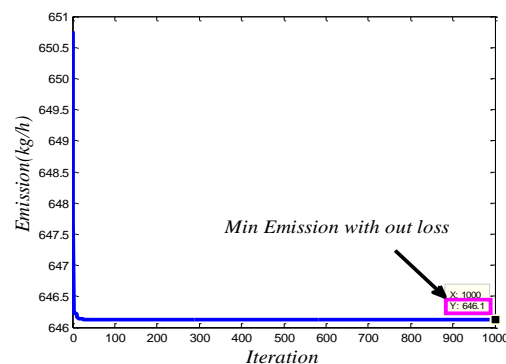
واحد	MOPSO	NLP
1	116.9945	116.999
2 (MW) واحد	116.9894	116.999
3 نیروگاهی	135.6944	135.697
4	135.6941	135.668
5	197.3138	197.319
6	197.3137	197.319
Total fuel cost(\$/h)	48051.2234	48051.51
Total emission (kg/h)	646.1285	646.183

نتایج حاصل از جدول ۶ و ۷ نشان می دهد که واحدهای ۱ و ۲ که دارای میزان آلاینده کمی هستند نزدیک به مقدار حداکثری خود مورد بهره برداری قرار می گیرند به طوریکه سهم بیشتری در تامین توان درخواستی سیستم نسبت به واحدهای دیگر دارند.

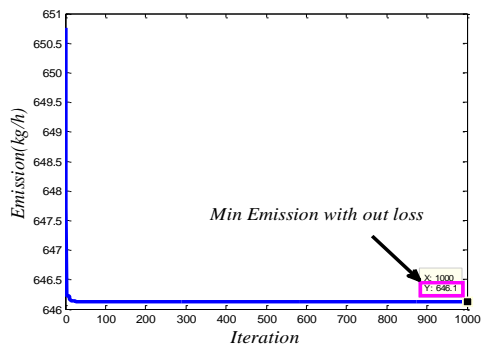
جدول ۷: توزیع اقتصادی آلودگی واحدها با در نظر گرفتن تلفات

واحد	MOPSO	NLP
1	124.6011	122.750
2 (MW) واحد	127.5108	122.750
3 نیروگاهی	140.2728	139.226
4	140.3096	141.963
5	204.1143	206.645
6	204.1910	207.787
Total fuel cost(\$/h)	50223.9757	50262.993
Total emission (kg/h)	697.0345	701.121
Transmission loss(MW)	40.99	41.121

شکل ۷ مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی با کمینه سازی تابع انتشار آلاینده در صورت بدون/با در نظر گرفتن تلفات سیستم را نشان می دهد. که با توجه به نتایج حاصل می توان گفت هزینه آلاینده در صورت لحاظ کردن تلفات سیستم انتقال از مقدار ۶۴۶,۱۲۸۵ kg/h به مقدار ۶۹۷,۰۳۴۵ kg/h افزایش می یابد.



(a)



(b)

شکل ۷. مشخصه همگرایی تابع هزینه آلاینده‌گی (a) بدون در نظر گرفتن (b) با در نظر گرفتن تلفات سیستم انتقال

۳, ۲. در نظر گرفتن همزمان تابع هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی

در این مرحله نتایج حاصل از کمینه‌سازی همزمان تابع هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی در دو حالت بدون/با لحاظ کردن تلفات سیستم در نظر گرفته شده‌اند. نحوه تخصیص توان بهینه تولیدی واحدها در آن دو حالت با استفاده از دو روش الگوریتم MOPSO و NLP به ترتیب در جداول ۸ و ۹ نشان داده شده است.

جدول ۸: کمینه سازی همزمان دو تابع هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی بدون در نظر گرفتن تلفات

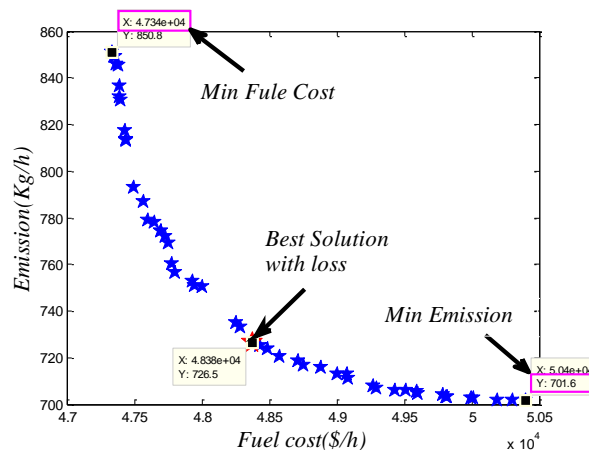
	سیستم		
	unit	MOPSO	NLP
واحد نیروگاهی (MW)	1	68.8685	36.026
	2	66.7789	16.664
	3	143.7724	147.790
	4	156.0152	146.542
	5	244.5592	278.738
	6	220.0077	274.241
Total fuel cost(\$/h)	46112.0968	46248.237	
Total emission (kg/h)	682.3287	775.480	

نتایج حاصل از جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهد که در صورت بهینه سازی همزمان دو تابع هزینه بهره‌برداری و انتشار آلاینده‌گی می‌توان یک مصالحه بین این دو تابع ناسازگار ایجاد کرد به طوری که بهره‌بردار سیستم را در یک نقطه مطلوب انجام داد.

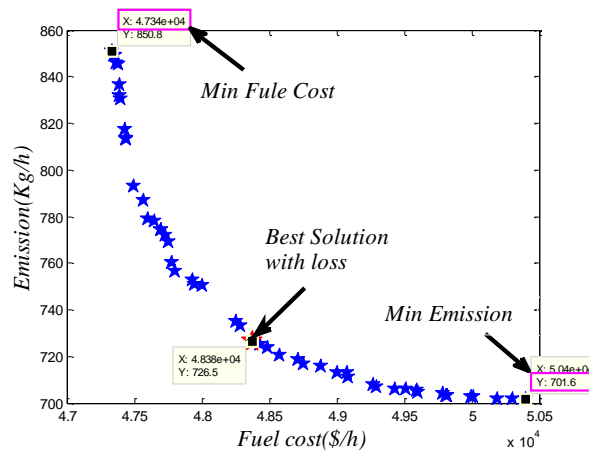
جدول ۹: کمینه سازی همزمان دو تابع هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی با در نظر گرفتن تلفات سیستم

	سیستم		
	unit	MOPSO	NLP
واحد نیروگاهی (MW)	1	81.7109	37.538
	2	79.5778	18.817
	3	152.5122	154.587
	4	162.8266	151.324
	5	232.5866	286.6
	6	228.8479	289.474
Total fuel cost(\$/h)	48381.0968	48181.490	
Total emission (kg/h)	726.5287	843.191	
Transmission loss(MW)	38.1	38.341	

شکل ۸ مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی با کمینه‌سازی همزمان دو تابع هزینه بهره‌برداری و انتشار آلاینده‌گی در صورت بدون/با در نظر گرفتن تلفات سیستم را نشان می‌دهد.



(a)



(b)

شکل ۸: نحوه توزیع معیار پارتو هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی (a) بدون در نظر گرفتن تلفات (b) با در نظر گرفتن تلفات

۵. نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم MOPSO برای حل مساله توزیع بار اقتصادی با در نظر گرفتن تابع آلودگی در سیستم قدرت با قیود مختلف پیشنهاد شد. برای دستیابی به نتایج بهتر ابتدا مساله با در نظر گرفتن تابع هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی به صورت انفرادی مورد تحلیل قرار گرفت و در نهایت جهت ایجاد سازگاری بین دو تابع هدف هزینه بهره‌برداری و آلاینده‌گی که در تقابل با هم قرار داشتند، و رسیدن به یک نقطه بهینه با در نظر گرفتن تلفات سیستم و بدون لحاظ کردن آن مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقایسه ن با الگوریتم NLP گواه بر آن است که الگوریتم پیشنهادی MOPSO از دقت بالاتر و سرعت همگرایی بهتری برخوردار است.

منابع

- [1].Talaq J, El-Hawary F, El-Hawary M. A summary of environmental/economic dispatch algorithms. Power Systems, IEEE Transactions on. 1994;9(3):1508-16.
- [2].Finnigan OE, Fouad A, editors. Economic dispatch with pollution constraints. IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS; 1974: IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC 345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017-2394.
- [3].Brodsky SF, Hahn RW. Assessing the influence of power pools on emission constrained economic dispatch. Power Systems, IEEE Transactions on. 1986;1(1):57-62.

- [4]. Pr Kumar Roy, Su Hazra, Ecocomik emission dispatch for wind-fossil-fuel-based power system using chemical reaction optimisation, International Transactions on Electrical Energy System, 2014;10.1002/etep.2033
- [5]. P kumar Roy, S Bhui . A multi-objective hybrid evolutionary algorithm for dynamic economic emission . International Transactions on Electrical Energy System.
- [6]. Dhillon J, Parti S, Kothari D. Stochastic economic emission load dispatch. Electric Power Systems Research. 1993;26(3):179-86.
- [7]. El-Keib A, Ma H, Hart J. Environmentally constrained economic dispatch using the Lagrangian relaxation method. Power Systems, IEEE Transactions on. 1994;9(4):1723-9.
- [8]. Chen S-D, Chen J-F. A direct Newton–Raphson economic emission dispatch. International journal of electrical power & energy systems. 2003;25(5):411-7.
- [9]. Yang Z, Li K, Niu Q, Zhang C, Foley A, editors. Non-convex dynamic economic/environmental dispatch with plug-in electric vehicle loads. Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), 2014 IEEE Symposium on; 2014: IEEE.
- [10]. Lu S, Sun C, Lu Z. An improved quantum-behaved particle swarm optimization method for short-term combined economic emission hydrothermal scheduling. Energy Conversion and Management. 2010;51(3):561-71.
- [11]. Basu M. A simulated annealing-based goal-attainment method for economic emission load dispatch of fixed head hydrothermal power systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2005;27(2):147-53.
- [12]. Geetha R, Bhuvanewari R, Subramanian S, editors. Artificial immune system based combined economic and emission dispatch. TENCON 2008-2008 IEEE Region 10 Conference; 2008: IEEE.
- [13]. Pandit M, Srivastava L, Sharma M. Environmental economic dispatch in multi-area power system employing improved differential evolution with fuzzy selection. Applied Soft Computing. 2015;28:498-510.
- [14]. Anita JM, Raglend IJ. Power Flow Constrained Unit Commitment Problem Using Improved Shuffled Frog Leaping Algorithm. Power Electronics and Renewable Energy Systems: Springer; 2015. p. 1545-55.
- [15]. N Ghrbani, S vakili, E Babaei, A sakhavati. Particle swarm optimization with smart inertia factor for solving non-convex economic load dispatch problems. International Transactions on Electrical Energy System. Volume 24. Issue 8, pages 1120-1133. august 2014
- [16]. Kennedy J. Particle swarm optimization. Encyclopedia of Machine Learning: Springer; 2010. p. 760-6.
- [17]. Coello Coello CA, Lechuga MS, editors. MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization. Evolutionary Computation, 2002 CEC'02 Proceedings of the 2002 Congress on; 2002: IEEE.