پخش‌باراقتصادی 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 پخش‌بار 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 واقعیت 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، پخش‌باراقتصادی، معیار پارتو، EED

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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 گازهـای محیطـی خطرنـاک از سال ۱۹۹۰ باعث شده تا سازمان‌ها موظف به تولید انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن آلودگی‌های محیط زیست شـده باشـند. در ایـن دوره روش‌های زیادی برای کاهش آلودگی‌های محیطی انجام شده است [۷]. در ایـن روش‌هـا از تجهیـزات جدیـدی بـرای کـاهش آلودگی ایجاد شده در سیستم‌هی نیروگاهی استفاده می‌شد. یکی از این تجهیزات بر اساس کلید زنی برای جایابی 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 منظـور کاهش دادن آن می‌باشد[۱۰].

مساله EED ترکیب شده با مسله پخش بار سبب پیچیده‌گی بیشتر در حل مساله بهینه‌سازی می‌شود. در مرجع [۱۰] مسـاله کـاهش 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 نیروگاها 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 درنظر گرفتن حل خطی مساله و ایجاد خطای زیاد عدم تطابق مساله بـا واقعیـت می‌باشد. همچنین به دلیل غیر خطی بودن ذاتی مساله حل روش‌هایی چون روش لامبدا و گرادیان ناکارآمد خواهد بود.

در مراجع [۵،۶] 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 پخش‌بار 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 الگوریتم‌هـا 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 بهینه‌سـازی پـارتو بـه کمـک الگـوریتم جسـتجوی گرانشی استفاده شده است. تبدیل مناسب و توانایی الگوریتم MOGSA در جسـتجوی فضـای حالـت در حـل غیـر خطـی مسـاله بهینه‌سازی و سرعت بالای الگوریتم از ویژگی‌های بارز این روش پیشنهادی می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی بر روی دو سیستم استاندارد نمونه ۳۰ و ۱۱۸ باسه استاندارد بررسی شده است و نتایج به دست آمده با سایر الگوریتم‌ها مقایسه شـده اسـت کـه نشـان از کـارایی الگوریتم پیشنهادی در حل مسایل غیر خطی می‌باشد. همچنین پاسخ مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌ها به دست می‌دهد. این مقالـه در ۴ بخش بعدی پیگیری می‌شود: در بخش ۲ فرمول‌بندی مسأله EED و در بخش ۳ الگوریتم MOGSA معرفی شده اسـت. 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 نتیجه گیری اختصاص یافته است.

فرمول‌بندی مساله EED

در سیستم توزیع مهندسین برق سعی در افزایش بازدهی شبکه قدرت با افزایش تعداد واحدهای تولیدی و میزان تقاضـای بـار و میزان سوددهی می‌باشند تا بتوانند با کم‌ترین هزینه تولید بیشترین سود ممکن را دریافت نموده در حالی که کل بار شبکه بـا در نظـر گرفتن کلیه قیود عملی نیروگاه‌ها و انتقال و... در نظر گرفته شوند. مساله EED یکی مساله بهینه‌سـازی بـا درنظـر گـرفتن آلـودگی محیط زیست و هزینه تولیدی واحدهای تولیدی می‌باشد. هدف در این مساله تولید با کم‌ترین هزینه و آلودگی محیط زیست می‌باشـد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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]:

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

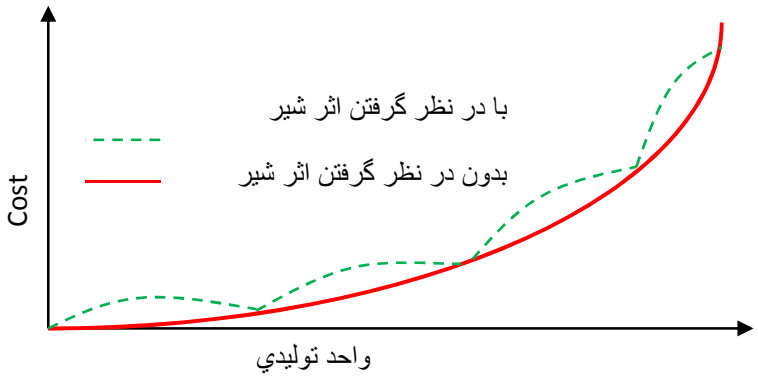
که در رابطه (۱) $F_i(P_i)$ تابه هزینه سوخت i امین واحد تولیدی، N تعداد ژنراتورهای در حال بهره‌برداری سیستم و P_i توان خروجی i امین ژنراتور است. $F_i(P_i)$ معمولاً به صورت معادله درجه دوم پیوسته زیر بیان می‌شود.

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

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.

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

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 نیتروژتن می‌باشد که به وسیله روابط زیر مدل‌سازی می‌شوند[۹]:

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

که در این رابطه α_i، β_i، γ_i، ζ_i و λ_i ضرایب تابع آلودگی برای iامین ژنراتور می‌باشد.

محدودیت‌های بهینه‌سازی

توازن تولید و مصرف در سیستم

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

$$\sum_{i=1}^{N} P_i - P_D - P_{loss} = 0 \qquad (۲)$$

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.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} P_i B_{ij} P_j \qquad (۳)$$

با در نظر گرفتن ماتریس تلفات حل مساله پخش بار اقتصادی تا اندازه‌ای پیچیده می‌شود. اصطلاحا به فرمول (۶) فرمول جورح می‌گویند که برای محاسبه تلفات شبکه توزیع بکار می‌رود. که در این رابطه P_i و P_j توان‌های تزریقی در باس‌های iام و jام می‌باشد. B_{ij} ماتریس ضرایب تلفات می‌باشد. اما فرمول دیگیر 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]:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} PB_{ij\,i} P_j + \sum_{i=1}^{N} B_{i\,0} P_i + B_{00} \qquad (۴)$$

که در رابطه (۷) B_{00} و B_0 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.

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max} \qquad (۵)$$

$$Q_i^{\min} \le Q_i \le Q_i^{\max} \qquad (۶)$$

$$v_i^{\min} \le v_i \le v_i^{\max} \qquad (۷)$$

که در رابطه‌های فوق $Q_i^{\min}$، $P_i^{\min}$ و $v_i^{\min}$ مقدار مینیمم توان راکتیو، اکتیو و ولتاژ و $Q_i^{\max}$، $P_i^{\max}$ 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

نرخ‌های افزایشی و کاهشی

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.

$$P_i^{\min}(t) \le P(t)_i \le P_i^{\max}(t) \qquad (۸)$$

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

و $P_i^{\max}(t) = \min(P_i(t-1) + RUR_i, P_i^{\max})$ و RUR_i نرخ افزايشي نيروگاه مي‌باشد.

به منظور اعمال محدوديت‌هاي فوق لازم است تا وضعيت توليد اوليه هر نيروگاه 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:

$$\left|P_{Lf,k}\right| \le P_{Lf,k}^{\max}, k = 1,2,...,L \qquad (۹)$$

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

تابع هدف نهایی برای بهینه‌سازی توسط روابط زیر بیان می‌شود:

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

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 iام با X_i نشان داده شده می‌شود.

$$X_i = (x_i^1, ..., x_i^d, ..., x_i^n) \qquad (۱)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

در رابطه بالا n بعد مساله و همچنین x_i^d بعد d از جرم iام 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.

$$F_{ij}^d(t) = G(t)\frac{M_{pi}(t)\times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}\times (x_j^d(t)-x_i^d(t)) \quad (۲)$$

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

$$G(t) = G_0 e^{\frac{-\alpha t}{T}} \quad (۳)$$

که در بالاα و G_0 ضرایب کنترلی الگوریتم وT بیانگر طول عمر سیستم است نیروی وارد بر جرم iام 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 (۱،۰) بوده که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن در نظر گرفته شده است[۱۲].

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1 j\neq i}^{N} rand_j F_{ij}^d(t) \quad (۴)$$

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 ضریبی از سرعت فعلی و شتاب عامل که طبق رابطه (۵) بیان می‌شود[۱۴].

$$v_i^d(t+1) = rand \times vi^d(t) + a_i^d(t) \quad (۵)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (۶)$$

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

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (۷)$$

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

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t)-worst(t)}{best(t)-worst(t)} \quad (۸)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} m_j(t)} \qquad (۹)$$

که در آن $fit_i(t)$ نمایانگر میزان برازندگی جرم عامل iام در زمان t، worst(t) و 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.

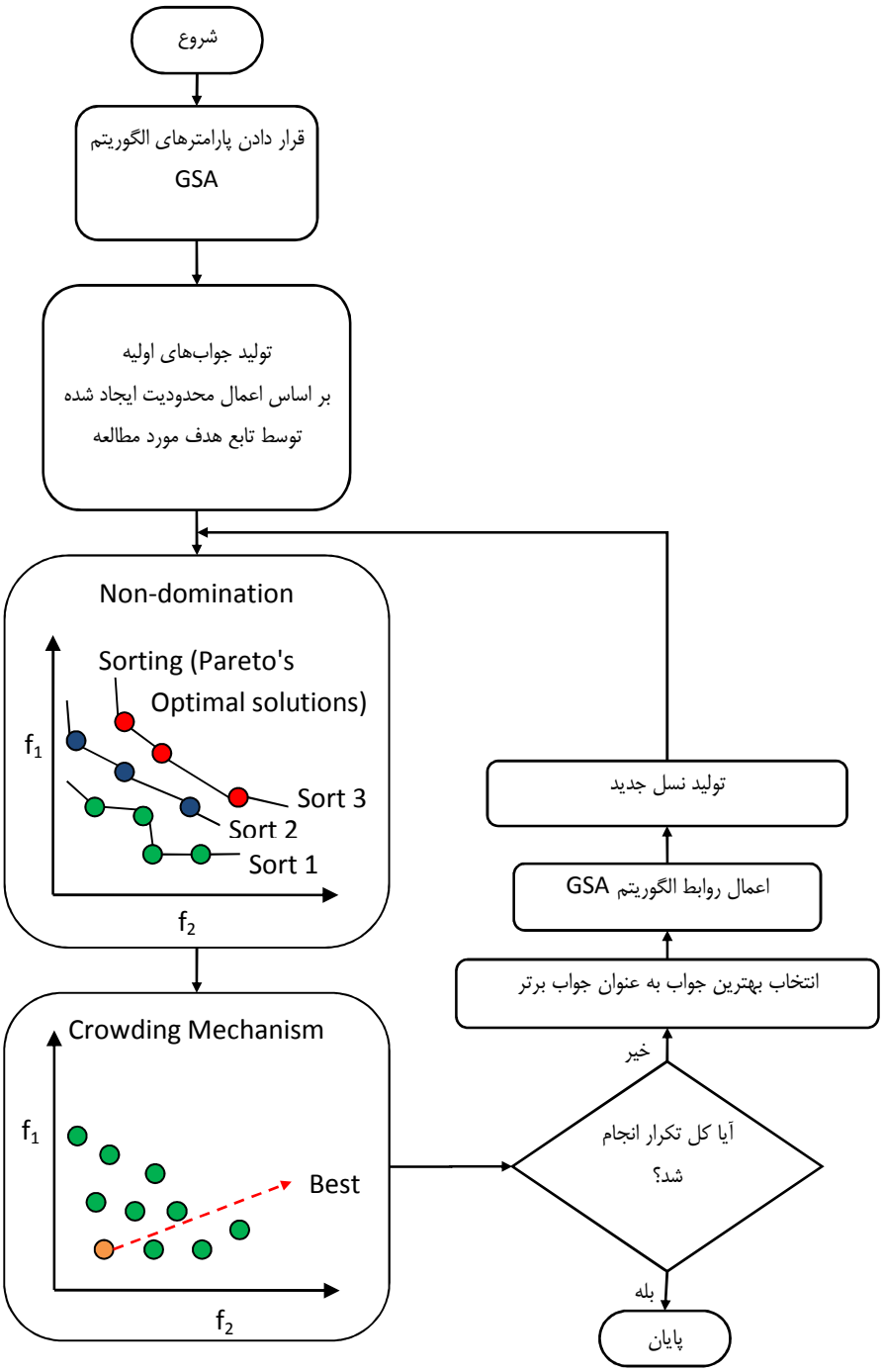
$$\text{Worst}(t) = \max\{fit_i(t)\} \qquad (۱۰)$$

$$\text{Best}(t) = \min\{fit_i(t)\} \qquad (۱۱)$$

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 منتسب به "پارتو" اقتصاددان مشهور ایتالیائی که به‌موجب 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 متغییرهای 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. معمولا 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی بر مساله EED

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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 مطاله اول ۳۰ باسه

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

جدول ۲: ضرایب سیستم مورد مطاله دوم ۱۱۸ باسه

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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 [2]	NPGA [19]	NSGA [16]	MOPSO [4]	MODE [11]	MOGSA	
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 ٤: نتیجه به دست آمده بر اساس تابع آلودگی سیستم ۳۰ باسه

SPEA [2]	NPGA [19]	NSGA [16]	MOPSO [4]	MODE [11]	MOGSA	
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}

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

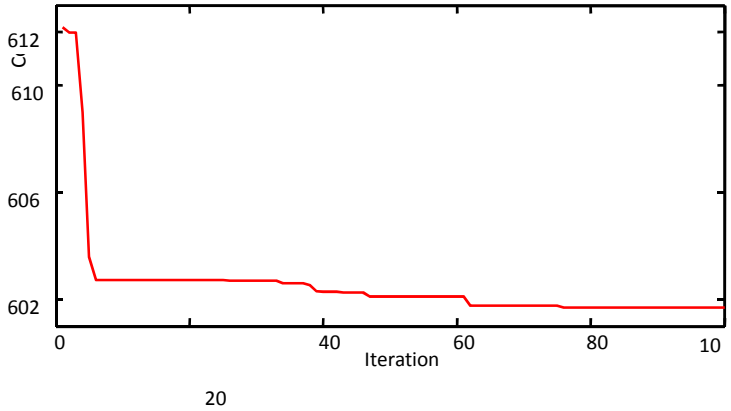
0.5348	0.5386	0.5445	0.5413	0.5676	0.5246	P_{G5}
0.5051	0.4992	0.5192	0.5111	0.47826	0.4146	P_{G6}
644.77	644.23	638.98	644.740	642.849	611.969	Cost ($/h)
0.1943	0.1943	0.1947	0.1942	0.1942	0.1989	Emission (ton/h)

جدول (۵) نتیجه شبیه‌سازی برای سیستم مورد مطالعه با در نظر گرفتن هم زمان تابع آلودگی و تابع هزینه می‌باشد. نتیجه بـه دسـت آمده پس 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

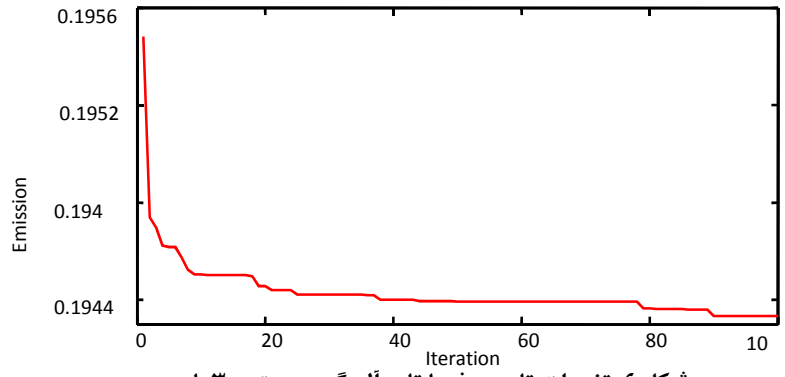
SPEA [2]	NPGA [19]	NSGA [16]	MOPSO [4]	MODE [11]	MOGSA	
0.2752	0.2976	0.2935	0.2367	0.23555	0.3973	P_{G1}
0.3752	0.3956	0.3645	0.3616	0.34896	0.4633	P_{G2}
0.5796	0.5673	0.5833	0.5887	0.57001	0.5660	P_{G3}
0.6770	0.6928	0.6763	0.7041	0.72519	0.3996	P_{G4}
0.5283	0.5201	0.5383	0.5635	0.55357	0.5150	P_{G5}
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.

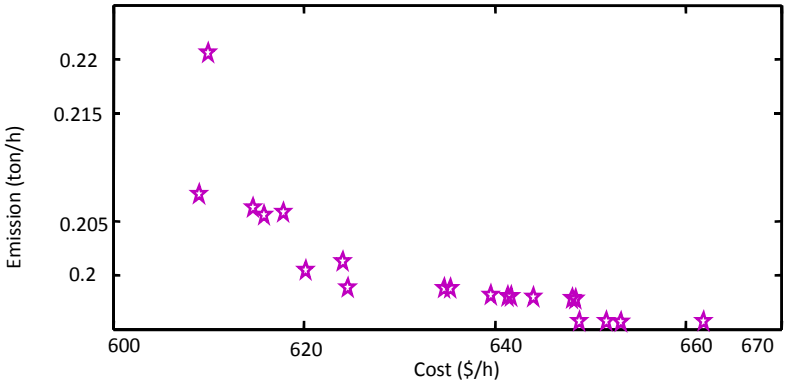


شکل ۳: تغییرات تابع هدف با تابع هزینه ژنراتورها سیستم ۳۰ باسه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]



شکل ٤: تغییرات تابع هدف با تابع آلودگی سیستم ۳۰ باسه



شکل ٥: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission) و تابع هزینه (Cost) سیستم ۳۰ باسه

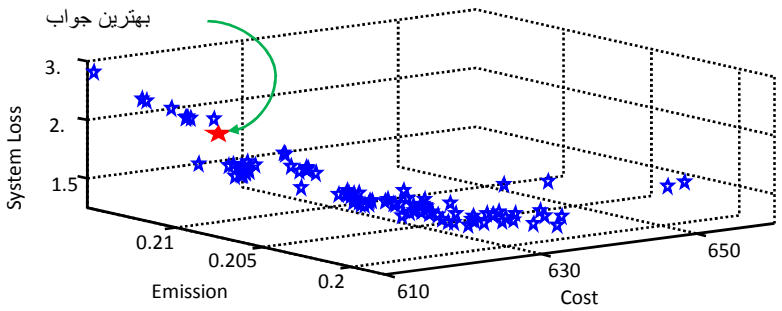
در ادامه برای سیستم مورد مطالعه سه تابع هدف شامل تابع هزینه تولیدی واحدها (Cost)، تابع آلودگی (Emission) و تابع تلفات (System Loss) می‌باشد. در این قسمت دارای سه تابع هدف بوده که نسبت به حالت‌های قبلی سبب پیچیده‌تر شدن بیشتر سیستم می‌شود. جدول (۶) نتایج به دست آمده برای این سه تابع هدف را نشان می‌دهد.

جدول ٦: نتیجه به دست آمده بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی، تابع هزینه و تابع تلفات با مقیاس پارتو سیستم ۳۰ باسه

MOPSO [4]	MODE [11]	MOGSA	
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)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

2.8865	2.2009	2.0810	System loss (MW)



شکل ٦: تغییرات معیار پارتو بر اساس بهینه‌سازی همزمان تابع آلودگی (Emission)، تابع هزینه (Cost) و تابع تلفات (System Loss) سیستم ٣٠ باسه

جدول (٧) نسبت پارامترها و جمعیت انتخاب شده برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های مقایسه شده را نشان می‌دهد.

جدول ٧: مقایسه بین الگوریتم‌ها براساس میزان جمعیت و تکرار سیستم استاندارد ٣٠ باسه IEEE

پارامتر انتخاب شده برای مقایسه الگوریتم‌ها		SPEA	NPGA	NSGA	MOPSO	MODE	MOGSA
		[2]	[19]	[16]	[4]	[11]	
جمعیت	بدون تابع تلفات	١٠٠	٢٠٠	٢٠٠	١٠٠	٥٠	٢٠
	با تابع تلفات	---	---	---	١٠٠	١٠٠	٥٠
تکرار	بدون تابع تلفات	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	١٠٠
	با تابع تلفات	---	---	---	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠

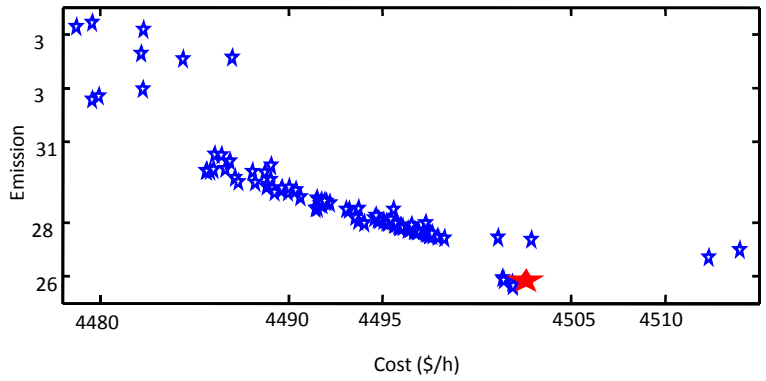
سیستم مورد مطالعه بعدی سیستم ١١٨ باسه IEEE می‌باشد. کلیه اطلاعات این سیستم در مرجع [١٨] داده شده است. جدول (٨) نتیجه بهینه‌سازی به کمک دو تابع هزینه تولیدی و تابع آلودگی می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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

WA [19]	MOEA [19]	FMPSO [19]	MODE [11]	MOGSA	
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 باسه استاندارد را نشان می‌دهد.



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

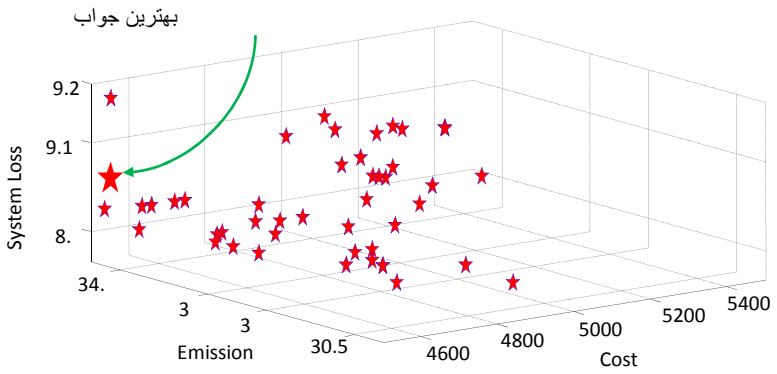
در حالت دیگر به بهینه‌سازی سیستم ۱۱۸ باسه با در نظر گرفتن سه تابع هزینه، آلودگی و تابع تلفات پرداخته شده است.

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

MODE [11]	MOGSA	
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}

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

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 باسه

نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم MOGSA در حل مساله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن توابع آلودگی و تلفات به بهینه‌سازی هم زمان آن‌ها با استفاده از معیار پارتو استفاده شده است. برای نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی از دو سیستم استاندارد ۳۰ و ۱۱۸ باسه استفاده شده است. در شبیه‌سازی در هر سیستم سه حالت در نظر گرفته شده است که در حالت اول شبیه‌سازی بر اساس مینیمم کردن تابع هزینه و در حالت دوم شبیه‌سازی براساس مینیمم 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 واقیت 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

[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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

[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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-19]