وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پنجمین کنفرانس ملی مدیریت، اقتصاد و علوم اسلامی
تهران - ۳۱ خرداد ۱۴۰۲
5th National Conference on Management, Economy & Islamic Science
21 June 2023 | Tehran
OxfordCert Universal
Archive of SID

مدلسازی بهینه چند هدفه و تصمیم گیری چند شاخصه؛ توزیع بار همزمان اقتصادی و محیط زیستی

ساناز قاسم‌زاده
کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
S_ghasemzadeh@yahoo.com

چکیده
تولید گازهای آلاینده از مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های برق باعث شده است که علاوه بر هزینه‌های بهره‌برداری، کمینه‌سازی میزان آلودگی نیروگاه‌ها نیز مورد توجه ویژه قرار گیرد. بر این اساس مدل‌های توزیع اقتصادی بار که پیش از آن صرفاً حداقل‌سازی هزینه تولید و تعیین آرایش بهینه تولید کنندگان بر اساس حداقل شدن هزینه کل را مد نظر قرار می‌دادند، امروزه با تغییر بنیادین در نحوه اجرا و مدلسازی مواجه شده‌اند. در این مقاله مسئله توزیع اقتصادی و زیست محیطی بار بین نیروگاه‌های حرارتی با هدف کمینه‌سازی هزینه بهره‌برداری و آلودگی‌های زیست محیطی، با در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید کل به اندازه ۷۰۰ مگاوات و در نظر گرفتن توان‌های متفاوت برای هر نیروگاه توسط الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA-II) حل شده است. سپس در گام بعدی نقاط پرتو[1]بدست آمده توسط الگوریتم تاپسیس[2]و روش وزن‌دهی آنتروپی شانون[3]برای چیدن پاسخ‌ها از بدترین تا بهترین، برای یافتن پاسخ بهینه استفاده شده است. در پایان مقایسه‌ای با پاسخ‌ها از منظر هزینه بهره‌برداری بدون در نظر گرفتن هزینه زیست محیطی و هم چنین بهترین پاسخ از دیدگاه زیست محیطی بدون در نظر گرفتن هزینه‌های بهره‌برداری خواهیم داشت. به منظور نمایش کارایی این روش، الگوریتم پیشنهادی بر روی سیستم‌های باس IEEE در سطوح بار متفاوت، آزمایش شده و نتایج با سایر روش‌ها مقایسه شده است. در این مقایسه مشخص شده که روش پیشنهادی پتانسیل بالایی در حل مسائل پیچیده سیستم قدرت دارد.

واژگان کلیدی: اثرات زیست محیطی نیروگاه‌ها، بهینه‌سازی، توزیع اقتصادی زیست محیطی بار

مقدمه
توزیع اقتصادی بار، بیانگر توزیع بار در میان نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن بحث اقتصادی (کاهش هزینه بهره‌برداری) می‌باشد. امروزه با توجه به بحران‌های زیست‌محیطی ایجاد شده در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی، علاوه بر کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از نیروگاه‌ها،

[1] Pareto frontiers
[2] TOPSIS
[3] Shanon

www.SID.ir

Archive of SID

کمینه‌سازی میزان آلایندگی آنها نیز اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. طبق آخرین گزارش وزارت نیرو در ترازنامه انرژی، بخش نیروگاهی صنعت برق بزرگترین تولید کننده گازهای گوگرد دی اکسید (SO_2) و نیتروژن اکسید (NO) در کشور است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). به کارگیری یک روش بهینه‌سازی مناسب در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت می‌تواند همزمان با کاهش هزینه‌های سوخت، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز کاهش دهد (شریفی و اوکاتی، ۱۳۹۸).

در این مطالعه حداقل‌سازی همزمان هزینه تولید برق و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی (توزیع اقتصادی - زیست محیطی بار) با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعادل و حداقل و حداکثر ظرفیت تولید در قالب یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه مورد توجه قرار می‌گیرد. روش مورد استفاده در این بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II می‌باشد. با استفاده از این روش مجموعه جواب پارتو (نامطلوب) بدست می‌آید. مهمترین تفاوت پژوهش حاضر با مطالعات گذشته در بدست آوردن جواب بهینه از مجموعه نقاط پارتو است که با استفاده از تکنیک وزن دهی آنتروپی شانون در تصمیم‌گیری چند شاخصه برای وزن دهی و اولویت‌بندی این معیارها استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی سیستم‌های باس IEEE، در سطوح بار متفاوت و برای شش نیروگاه تولید برق آزمایش شده است (Golden, 1995).

توزیع اقتصادی بار دارای پیشینه قدیمی تری نسبت به مطالعات چند هدفه است. تابع هزینه می تواند به صورت خطی و یا غیرخطی در نظر گرفته شود، اما به منظور افزایش دقت در نتایج عموماً از توابع غیرخطی برای مدلسازی استفاده می شود (ناظمی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌های ریاضی و تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی نیز برای حل این مسئله به کار گرفته می‌شوند (Yalcinoz and Köksoy, 2007).

داسیلوا و همکاران[4](۲۰۲۳) بهینه‌سازی توابع غیرخطی را با استفاده از روش بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) توصیف نموده‌اند. آنها به منظور اجرای مدل توزیع اقتصادی بار از دو روش بهینه سازی انبوه ذرات و الگوریتم ژنتیک استفاده نموده، سپس به مقایسه دو روش پرداخته‌اند. ناندا و همکاران[5](۱۹۸۸) یکی از اولین کسانی بودند که توزیع اقتصادی-زیست محیطی، توزیع بار را با تکنیک‌های بهینه‌سازی چند هدفه همراه با توابع هدف خطی و غیرخطی حل کرده‌اند. تابع آلایندگی برای SO_2 و NO_x توسط کینگ و همکاران[6] (۱۹۹۵) به صورت وزن‌دار کردن و اضافه کردن به تابع هدف هزینه انجام شد که توسط کین و همکاران[7](۲۰۱۹) تعمیم داده شد. آنها از متد جستجوی تابو برای توابع هدف وزن‌دار شده استفاده کردند. هم چنین چانگ و همکاران[8](۱۹۹۶) توابع هدف اقتصادی و زیست محیطی را به صورت همزمان به یک تابع هدف خطی تبدیل کردند.

آبیدو[9](۲۰۰۳) با استفاده از الگوریتم نقاط مرتب شده نامغلوب (NSGA) برای یافتن نقاط بهینه پارتو، موفق به کسب نتایج امیدوار کننده‌ای در حل این مسئله شد. اخیراً نیز استفاده از الگوریتم نقاط مرتب شده نامغلوب تعمیم یافته (NSGA-II) برای حل مسئله توزیع اقتصادی-زیست محیطی بار پیشنهاد شده است (حق نیا خیبی و همکاران ۱۴۰۰)

[4] Da Silva et al.
[5] Nanda et al.
[6] King et al.
[7] Kien et al.
[8] Chang et al.
[9] Abido

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحقیق از روش NSGA-II برای بدست آوردن مجموعه نقاط نامغلوب (پارتو) استفاده شده است و در قدم بعدی به منظور چیدمان مجموعه نقاط نامغلوب با استفاده از مدل TOPSIS در تصمیم‌گیری چند شاخصه برای اولویت بندی معیارها و شاخص‌ها و هم چنین از روش آنتروپی به منظور تعیین وزن معیارها و شاخص‌ها استفاده شده است.

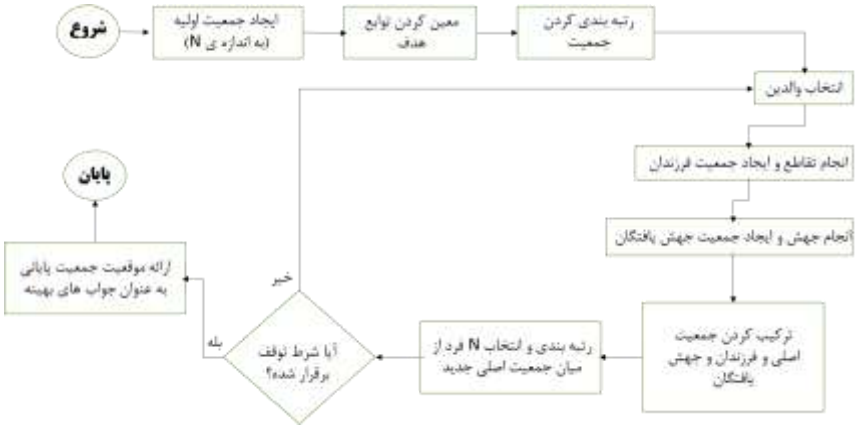
روش تحقیق

بهینه‌سازی چند هدفه[10]

در بسیاری از مسائل دنیای واقعی نیاز است که چندین هدف بصورت همزمان در نظر گرفته شوند. روش‌های بهینه سازی چند هدفه رایج‌ترین روش برای پاسخ دادن به اینگونه مسائل می باشد. مسائل بهینه سازی چند هدفه اینگونه فرمول می‌شوند:

$$\text{minimize } \{f_1(x)=z_1, f_2(x)=z_2, \ldots, f_n(x)=z_n\}$$
$$\text{subject to } x \in \Omega \qquad (1)$$

که در آن x بردار متغییرهای تصمیم و Ω مجموعه‌ای محدود از پاسخ‌های قابل قبول می‌باشد. در این مطالعه از روش پاسخگو و سریع NSGA-II برای بدست آوردن مجموعه جواب پارتو (نامغلوب) استفاده گردیده است. برای جزئیات بیشتر در مورد NSGA-II به مطالعه دب و همکاران[1](۲۰۰۲) مراجعه کنید.



شکل ۱. الگوریتم NSGA-II برای مسئله بهینه سازی چند هدفه.

مدل تصمیم[12]

تصمیم سازی[13] فرآیندی است که به انتخاب یک راه‌حل از میان راه‌حل های موجود جهت حل مساله منجر می‌گردد. تفاوت تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی در انتخاب یک راه‌حل و اجرای آن است. تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه[14] اغلب در مواردی به‌کار می‌روند

---

[1] MODM/Multiple Objective Decision Making
[1] Deb et al.
[1] Decision Model
[1] Decision Making
[1] MADM/Multiple Attributive Decision Making

www.SID.ir

Archive of SID

که در مسأله‌ای خاص با چند شاخص مختلف از جمله شاخص‌های کمی و کیفی به طور همزمان روبرو بوده و مطلوبیت هدف مساله در نظر گرفتن تمامی این شاخص‌ها به طور همزمان و یافتن گزینه‌ای است که در آن برآیند مطلوبیت این شاخص‌ها، بیشینه گردد. اغلب مسائلی که در محیط عمل با آنها روبرو می‌گردیم مسائل چند شاخصه می‌باشند.

در این مطالعه از مدل سطح بالای تصمیم گیری[۵]دو هدف زیست محیطی و اقتصادی به طور همزمان جهت بهینه شدن، مورد توجه قرار می‌گیرند. هدف اصلی در برنامه‌ریزی چندهدفه طراحی نقطه بهینه است، یعنی تصمیم‌گیرنده به دنبال رتبه بندی پاسخ ها از بهترین تا بدترین پاسخ است (Xuebin, 2009)، که روش‌های حل آن عمدتاً به صورت الگوریتم و تنظیم مدل‌های Min و Max می‌باشد. مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با مقیاس سنجش برای بقیه اهداف متفاوت باشد. گاهی این اهداف در یک جهت نیستند و به صورت متضاد عمل می‌کنند. البته تصمیم گیرنده در این مطالعه به دنبال کمترین مقدار برای آلاینده زیست محیطی و همزمان کمترین مقدار هزینه می باشد و هردو تنظیم کننده مدل از نوع Min می باشند.

از مهم‌ترین مفاهیم موجود در تصمیم‌گیری چندشاخصه ماتریس تصمیم[۶]است که نمایش‌دهنده‌ی میزان عملکرد گزینه‌ها نسبت به شاخص‌ها است. ماتریس تصمیم به تعداد گزینه‌های مسأله سطر و به تعداد شاخص‌های مساله ستون دارد. فرم عمومی ماتریس تصمیم:

$$R=\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nm} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{سطر اول} \\ \text{سطر دوم} \\ \dots \\ n \text{ سطر ام} \end{matrix} \qquad (۲)$$

روش‌های متفاوتی برای حل کردن یک مثال چند شاخصه وجود دارد. که در این مطالعه از روش تاپسیس یا مرتب کردن اولویت‌ها با شبیه بودن به پاسخ ایده آل استفاده شده است (نقی پور و همکاران، ۱۴۰۱). تقریبا تمامی روش‌های MADM نیاز به اطلاعات از پیش تعیین شده بر اهمیت نسبی شاخص‌ها دارند، که معمولا توسط مجموعه‌ای از وزن‌های نرمال شده مشخص می‌شوند. روش‌های بسیاری برای استخراج وزن‌ها وجود دارد.

وزن دهی آنتروپی شانون که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است از پاسخ ها برای وزن دهی استفاده می‌کند، به اینگونه که شاخصی که مقادیر مشابهی برای گزینه‌های متفاوت ارائه می‌دهد را وزن کمتری می‌دهد. گام‌های روش آنتروپی شانون:

گام ۱: نرمال‌سازی در تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به معنای بی‌مقیاس سازی است و امکان مقایسه داده‌ها با معیارهای سنجش متفاوت را میسر می‌کند. نرمال‌سازی روش‌های مختلفی دارد نظیر روش نرم مجموع، نرم اقلیدسی، نرم خطی، نرم‌های فازی و استاندارد و ... در این مطالعه از روش نرم مجموع استفاده شده است. در این روش کافی است هر عدد در یک مجموعه بر مجموع عناصر آن مجموعه تقسیم شود. در این صورت جمع کل عناصر پس از نرمال‌سازی یک خواهد بود. نرمال‌سازی یک عمل منحصرا ستونی است.

[1] higher-level decision-making model
[1] decision matrix
[5]
[6]

www.SID.ir

Archive of SID

$$P_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} R_{kj}} \quad i=1,2,...,n \qquad (۳)$$

بنابراین ماتریس تصمیم نرمال شده بصورت زیر خواهد بود:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

گام ۲: میزان آنتروپی هریک از شاخص های C_j را به روش زیر محاسبه می‌کنیم:

$$c_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^{n} p_{ij} \ln p_{ij} \qquad (۵)$$

گام ۳: تعیین اندازه عدم اطمینان یا درجه انحراف برای شاخص C_j:

$$d_j = 1 - c_j \qquad (۶)$$

گام ۴: تعیین وزن هریک از شاخص‌های C_j:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^{m} d_k} \qquad (۷)$$

گام ۵: مقدار نرمال شده و وزن دار شده v_{ij} بدست می‌آید:

$$v_{ij} = w_i p_{ij} \qquad j=1,2,...,m \; ; \; i=1,2,...,n \qquad (۸)$$

گام ۶: مشخص کردن راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی:

$$A^+ = (\max(v_{i1}), \max(v_{i2}), ..., \max(v_{im})) = (v_1^+, v_2^+, ..., v_m^+)$$
$$A^- = (\min(v_{i1}), \min(v_{i2}), ..., \min(v_{im})) = (v_1^-, v_2^-, ..., v_m^-) \qquad (۹)$$

که بسته به نوع شاخص‌ها مقدار بیشینه یا کمینه برای راه حل‌های ایده آل انتخاب می‌شوند.

گام ۷: محاسبه فواصل:

$$d_j^+ = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_i^+) \right\}^{\frac{1}{2}} \qquad j=1,2,...,m$$
$$d_j^- = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_i^-) \right\}^{\frac{1}{2}} \qquad j=1,2,...,m \qquad (۱۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID

گام ۸: محاسبه نزدیکی نسبی یک گزینه به ایده آل و رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب ارجعیت:

$$C_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-} \qquad j=1,2,...,n \tag{۱۱}$$

اینگونه می‌توانیم بهترین پاسخ را از میان نقاط جبهه پارتو انتخاب کنیم.

یافته‌ها

روش‌های مختلفی برای قرار دادن فرمول زیست محیطی در کنار فرمول اقتصادی در مدار تولید وجود دارد. یکی از این روش‌ها ترکیب کردن فرمول اقتصادی و انتشار آلاینده‌ها است (CEED)[۱]که بصورت یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه عمل می‌کند و باید هر دو تابع هزینه سوخت و آلایندگی را کمینه کند. این مسئله بصورت ریاضی وار اینگونه بیان میشود:

توابع هدف

حداقل کردن دو تابع F و E بطوریکه F هزینه سوخت‌ها ($/h) و E میزان انتشار آلاینده‌ها (kg/h) می‌باشند. تابع F فرض می‌شود که با فرمول:

$$F(P_i) = \sum_{i=1}^{N} (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \tag{۱۲}$$

که در آن a_i و c_i نمایانگر ضرایب تابع هزینه ژنراتور iام می‌باشند.

P_i : میزان تولید برق ژنراتور iام (MW)

N: تعداد ژنراتورها

از آنجایی که ژنراتورهایی با سوخت فسیلی از عوامل اصلی تولید نیتروکسید (NO_x) در محیط زیست هستند ما شاخص محاسبه آلایندگی را نیتروکسید قرار می‌دهم تا با فرمول:

$$E(P_i) = \sum_{i=1}^{N} (d_i P_i^2 + e_i P_i + f_i) \tag{۱۳}$$

بتوانیم میزان انتشار آلاینده‌های ژنراتور iام را هم محاسبه کنیم.

محدودیت‌ها

این تحقیق فرض را اینگونه گرفته است که ما توسط شش ژنراتور می‌خواهیم تقاضای برق به میزان ۷۰۰ مگاوات را تولید کنیم پس محدودیت اول تحقیق ما اینگونه می‌شود که:

[1] Combined economic and emission dispatch [7]

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{i=1}^{N} P_i \geq 700 \qquad (۱۴)$$

همچنین برای هر ژنراتور یک محدودیت حداقل توان تولید و حداکثر توان تولید با توجه به مثلا تکنولوژی‌های هر ژنراتو خواهیم داشت که میزان تولید هر ژنراتور باید رقمی در بین این دو مقدار حداقل و حداکثر توان مربوط به آن ژنراتور باشد، در واقع:

$$P_{\min\ i} \leq P_i \leq P_{\max\ i} \qquad (۱۵)$$

جدول ۱. ضرایب مدل

NO	$P_{\min\ i}(MW)$	$P_{\max\ i}(MW)$	a_i	b_i	c_i	d_i	e_i	f_i
۱	۱۰	۱۲۵	۰,۱۵۲۴۷	۳۸,۵۳۹۷۳	۷۵۶,۷۹۸۸۶	۰,۰۰۴۱۹	۰,۳۲۷۶۷	۱۳,۸۵۹۳۲
۲	۱۰	۱۵۰	۰,۱۰۵۸۷	۴۶,۱۵۹۱۶	۴۵۱,۳۲۵۱۳	۰,۰۰۴۱۹	۰,۳۲۷۶۷	۱۳,۸۵۹۳۲
۳	۳۵	۲۲۵	۰,۰۲۸۰۳	۴۰,۳۹۶۵	۱۰۴۹,۹۹۷۷	۰,۰۰۶۸۳	-۰,۵۴۵۵۱	۴۰,۲۶۶۹
۴	۳۵	۲۱۰	۰,۰۳۵۴۶	۳۸,۳۰۵۵۳	۱۲۴۳,۵۳۱۱	۰,۰۰۶۸۳	-۰,۵۴۵۵۱	۴۰,۲۶۶۹
۵	۱۳۰	۳۲۵	۰,۰۲۱۱۱	۳۶,۳۲۷۸۲	۱۶۵۸,۵۶۹	۰,۰۰۴۶۱	-۰,۵۱۱۱۶	۴۲,۸۹۵۵۳
۶	۱۲۵	۳۱۵	۰,۰۱۷۹۹	۳۸,۲۷۰۴۱	۱۳۵۶,۶۵۹۲	۰,۰۰۴۶۱	-۰,۵۱۱۱۶	۴۲,۸۹۵۵۳

جدول ۲. پارامترهای NSGA-II

parameters	Value
Population	۵۰۰
Number of generations	۱۰۰۰۰
Probability of directional crossover	۰,۵
Probability of selection	۰,۰۵
Probability of mutation	۰,۱
Solution mutation rate	۰,۰۵
Elitism	Enabled

پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ مشخص شده‌اند. تقاضای کل برای این تحقیق مقدار ۷۰۰ مگاوات فرض شده است. پارامترهای استفاده شده در روش NSGA-II در جدول ۲ نمایه شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. پاسخ راه حل های مختلف برای تقاضای ۷۰۰ مگاوات

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	$F(\$/h)$	E(kg/h)
بهترین پاسخ ترکیبی	۲۴,۹۶۲	۱۰	۱۰۲,۶۶۴۱	۱۱۰,۶۳۶	۲۳۲,۶۸۶۲	۲۱۹,۰۵۱	۳۶۰۰۳	۴۸۸
بهینه سازی از منظر اقتصادی	۲۴,۹۶۲	۱۰	۱۰۲,۶۶۴۱	۱۱۰,۶۳۶	۲۳۲,۶۸۶۲	۲۱۹,۰۵۱	۳۶۰۰۳	۴۸۸
بهینه سازی از منظر زیست محیطی	۷۷,۳۴	۷۷,۳۴	۱۱۱,۳۷	۱۱۱,۳۷	۱۶۱,۲۸	۱۶۱,۲۷	۳۷۲۱۵	۴۱۷,۷۳
پاسخ آرمانی							۳۶۰۰۳	۴۱۷,۷۳

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک روش ترکیبی برای مشکل توزیع توان اقتصادی - محیط زیستی معرفی شده است. این مسئله به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه با اهداف متقابل اثرات اقتصادی و زیست محیطی فرمول شده است. رویکرد NSGA-II برای یافتن مجموعه‌های پارتو استفاده می‌شود. روش تصمیم‌گیری چند ویژگی برای انتخاب بهترین راه‌حل سازش‌کننده، بر اساس وزن آنتروپی و TOPSIS دنبال می‌شود. مثال‌های عددی با دو هدف و سه هدف برای یک سیستم شش واحدی نشان داده شده است. تکنیک‌های ترکیبی می‌توانند برای مشکلات اقتصادی - زیست‌محیطی اعمال شوند.

رویکرد ارائه شده در این مقاله یک چارچوب جهانی برای حل مسئله بهینه‌سازی چند هدفه و تصمیم‌گیری چند ویژگی ارائه کرده است، یعنی در مرحله اول، از تکنیک تکاملی برای به دست آوردن مجموعه تقریبی پارتو از بهینه‌سازی چند هدفه استفاده می‌کنیم و سپس می‌توان بهترین پاسخ را انتخاب کرد. تفاوت اصلی این مطالعه با پژوهش‌های گذشته استفاده از روش آنتروپی به عنوان یک راه حل نهایی برای انتخاب پاسخ بهینه از مجموعه نقاط پارتو بدست آمده است. این رویکرد پتانسیل زیادی در رسیدگی به مسئله بهینه‌سازی چند هدفه دارد و همچنین می‌تواند در توزیع سیستم قدرت در مقیاس بزرگ استفاده شود. علاوه بر این، اولویت نیز می تواند در فرآیند تصمیم گیری معرفی شود.

منابع

حسن نیا خیبری، مهدی، حسینی، سیدحمید و سلیمانی، سودابه، **تاثیر اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی در شبکه توزیع بر کاهش آلودگی محیط زیست**، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هفتم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۰، ۴۱-۶۷.

شریفی، حسین و اوکاتی صادق، محمود، **توزیع اقتصادی توان در نیروگاه ها با در نظر گرفتن آلاینده های زیست محیطی و شاخص های پایداری سیستم با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی چندهدفه**، مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران - الف مهندسی برق، دوره هفدهم، شماره ۱، ۱۳۹۸، ۳۳-۴۱.

صادقی، حبیب‌الله، محمدی مصیری، علی و محمدی تلف‌گردی، سعید، **حکمرانی محیط‌زیست و کارآمدی دولت در ایران**، مطالعات دولت پژوهی در جمهوری اسلامی ایران، دوره هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱، ۳۱-۵۷.

www.SID.ir

Archive of SID

ناظمی، علی، خلیل مقدم، شادی و فشاری، مجید، **مدل سازی توزیع بار همزمان اقتصادی و زیست محیطی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی محدودیت؛ (مورد مطالعاتی: بازار برق منطقه ای اصفهان)**، تحقیقات مدل سازی اقتصادی, دوره دهم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۴، ۱۳۳-۱۶۰.

Abido, M. A. (2003). **Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithms**. IEEE transactions on power systems, 18(4), 1529-1537.

Chang, C. S., Liew, A. C., Xu, J. X., Wang, X. W., & Fan, B. (1996). **Dynamic-security-constrained multiobjective generation dispatch of longitudinally interconnected power systems using bicriterion global optimization**. IEEE transactions on power systems, 11(2), 1009-1016.

Da Silva, L. B. L., Ferreira, E. B., Ferreira, R. J. P., Frej, E. A., Roselli, L. R. P., & De Almeida, A. T. (2023). **Paradigms, Methods, and Tools for Multicriteria Decision Models in Sustainable Industry 4.0 Oriented Manufacturing Systems**. Sustainability, 15(11), 8869.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). **A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II.** IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182-197.

Kien, L. C., Nguyen, T. T., Hien, C. T., & Duong, M. Q. (2019). **A novel social spider optimization algorithm for large-scale economic load dispatch problem**. Energies, 12(6), 1075.

King, T. D., El-Hawary, M. E., & El-Hawary, F. (1995). **Optimal environmental dispatching of electric power systems via an improved Hopfield neural network model**. IEEE Transactions on Power Systems, 10(3), 1559-1565.

Le, K. D., Golden, J. L., Stansberry, C. J., Vice, R. L., Wood, J. T., Ballance, J., ... & Cauley, G. W. (1995). **Potential impacts of clean air regulations on system operations**. IEEE Transactions on Power Systems, 10(2), 647-656.

Nanda, J., Kothari, D. P., & Lingamurthy, K. S. (1988). **Economic-emission load dispatch through goal programming techniques**. Indian Institute of Technology Delhi, 8(4), 42-60.

Xuebin, L. (2009). **Study of multi-objective optimization and multi-attribute decision-making for dynamic economic emission dispatch**. Electric Power Components and Systems, 37(10), 1133-1148.

Yalcinoz, T., & Köksoy, O. (2007). **A multiobjective optimization method to environmental economic dispatch**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 29(1), 42-50.

www.SID.ir