

کاهش همزمان هزینه تولید و میزان آلودگی زیست محیطی حاصل از نیروگاه ها در یک سیستم قدرت هوشمند

احمد مختارپور

استادیار، گروه مهندسی برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

در نظر گرفتن میزان آلودگی زیست محیطی حاصل در کنار هزینه های تولید جهت محاسبه و کمی ساختن هزینه های خارجی یک سیستم مدیریت انرژی، امری ضروری است. محاسبه هزینه های خارجی منجر به تشخیص هزینه واقعی تولید در یک نیروگاه می شود. محاسبه هزینه های ذکر شده به عنوان ابزار تصمیم گیری بسیار کاربردی برای مدیریت تولید و مصرف برق بوده به ویژه در بازه های زمانی که افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی پیش بینی می شود. در این مقاله تابع هدفی در راستای کاهش همزمان هزینه تولید و میزان آلودگی زیست محیطی حاصل از نیروگاه ها ارائه میگردد. سپس الگوریتم رقابت استعماری برای حل مسأله بهینه سازی چندهدفه جهت حداقل کردن هزینه تولید و در عین حال کاهش آلودگی ارائه می گردد. نتیجه حاصل اینکه با توزیع مناسب بار بین واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن نوع و هزینه سوخت، اهداف ذکر شده میسر خواهد شد. کدنویسی های لازم در نرم افزار متلب انجام خواهد پذیرفت.

واژگان کلیدی: کاهش هزینه، کاهش آلودگی، سیستم قدرت هوشمند

مقدمه

شبکه هوشمند، در خصوص واحد های تولیدی بر اساس تکنولوژی آن ها، اطلاعات و ابزاری را در اختیار مدیریت شبکه می گذارد تا انتخاب هایی را در مورد بهینه کردن شرایط انجام دهند. تامین به موقع انرژی الکتریکی مورد نیاز از مهمترین موضوعاتی است که نقش انکارناپذیری در توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی ایفا می کند. برنامه ریزی مناسب تولید می تواند به عنوان پاسخی مناسب به مسائل اقتصادی، و زیست محیطی تلقی گردد. با حرکت شبکه های هوشمند به سوی اجرایی شدن، مطالعه سیستم مدیریت انرژی در محیط جدید ضروری تر می گردد. مدیریت انرژی در یک شبکه ارتباط تنگاتنگی با نشر توانهای اکتیو در آن شبکه دارد. امروزه منابع مقیاس کوچک جهت تولید توان الکتریکی در شبکه های قدرت در سطح وسیعی بکارگرفته می شوند. در برخی از این منابع به دلیل ماهیت تصادفی تولید، امکان پیش بینی توان خروجی با چالش هایی همراه بوده که این مسأله مشکلاتی را در برنامه ریزی سیستم قدرت به همراه خواهد داشت. استفاده هوشمندانه از ظرفیت منابع مقیاس کوچک میتواند باعث مدیریت بهتر هزینه ها و کاهش آلودگی های زیست محیطی گردد. در این مقاله پس از بررسی مقدمات مرتبط با سیستم های هوشمند و مدیریت انرژی در بخش اول، در بخش دوم الگوریتم بهینه سازی رقابتی استعماری مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در بخش سوم فرمول بندی مساله به همراه ذکر توابع هدف و قیدهای حل مساله بهینه سازی، مطرح خواهد شد. در بخش چهارم شبیه سازی یک سیستم قدرت نمونه انجام پذیرفته و نتایج حاصل و بررسی خواهد شد. همچنین در بخش آخر نتیجه گیری مقاله ارائه خواهد شد.

روش تحقیق

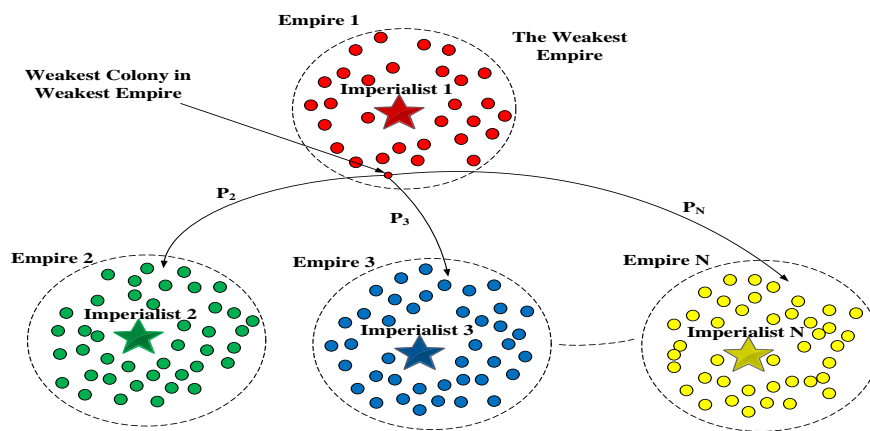
همانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم با انتخاب تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن ها یک کشور نامیده می شوند شروع می شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب می شوند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره در نظر گرفته می شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با روند خاصی به سمت خود می کشند. قدرت کل هر امپراتوری به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست و مستعمرات آن، بستگی دارد. با شکل گیری امپراتوری های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن ها شروع می شود. هر امپراتوری که نتواند در رقابت استعماری موفق عمل کند و بر قدرت خود بیفزاید، از صحنه رقابت استعماری حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراتوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراتورهای رقیب، و به سيطرة در آوردن آن ها خواهد بود. در نتیجه در جریان رقابت های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراتوری های بزرگتر افزوده شده و امپراتورهای ضعیف تر حذف خواهند شد. امپراتوری ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات از لحاظ قدرت به امپراتوری ها نزدیک تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراتوری واحد داشته باشیم، با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت به خود کشور امپریالیست خیلی نزدیک هستند. در حقیقت در حل یک مسئله بهینه سازی توسط این الگوریتم جستجوی بهترین کشور هدف مسئله را تشکیل می دهد. یافتن این کشور در حقیقت معادل یافتن بهترین پارامترهای مسئله است که کمترین مقدار تابع هزینه را تولید می کند. هزینه نرمالیزه امپریالیست ها به صورت رابطه (۱) در نظر گرفته می شود. در این رابطه C_n هزینه نرمالیزه شده هر امپریالیست می باشد.

$$p_n = \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \quad (1)$$

تعداد اولیه مستعمرات یک امپریالیست برابر رابطه (۲) خواهد بود. در این رابطه $N.C_n$ ، تعداد اولیه مستعمرات یک امپراتوری و N_{col} نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است.

$$N.C_n = round\{p_n.N_{col}\} \quad (2)$$

شکل (۱) شمای کلی الگوریتم را نشان می دهد.



شکل (۱) شمای کلی الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری

فرمول بندی مساله

همانطوری که قبلا ذکر شد مساله بهینه سازی در این مقاله به صورت دوهدفه می باشد. هدف اول، کمینه کردن هزینه مربوط به تولید انرژی شامل هزینه های اولیه، سوخت، بهره برداری و نگهداری بوده که به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$C = a + bP \quad (3)$$

در رابطه بالا، P توان اکتیو خروجی بوده و ضرایب a و b از روابط (۴) و (۵) مشخص می شوند.

$$a = \frac{\text{Capital Cost} \left(\frac{\$}{MW} \right) * \text{Capacity (MW)} * Gr}{\text{Life Time (year)} * 365 * 24 * LF} \quad (4)$$

$$b = \text{Fuel Cost} \left(\frac{\$}{MWh} \right) + O\&M \text{ Cost} \left(\frac{\$}{MWh} \right) \quad (5)$$

در روابط فوق Gr نرخ سود سالیانه و LF ضریب بار است. مقادیر لحاظ شده برای دو واحد تولیدی در این مقاله به صورت جدول (۱) می باشد.

جدول (۱) پارامترهای واحد های تولیدی

نوع واحد تولیدی	هزینه پایه (\$/KW)	هزینه سوخت (\$/KWh)	هزینه نگهداری و بهره برداری (\$/KWh)	نرخ سود سالیانه	ضریب بار
میکروتوربین	۱۴۸۵	۰/۰۷۵	۰/۰۱۵	۱	۱
پیل سوختی	۳۶۷۴	۰/۰۲۹	۰/۰۱	۱	۱

برای در نظر گرفتن تأثیرات زیست محیطی و انتشار آلودگی ها به عنوان هدف دوم، سه تا از مهم ترین آلوده کننده ها در مساله بهینه سازی که عبارتند از دی اکسید کربن (CO_2)، دی اکسید سولفور (SO_2)، و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در نظر گرفته می شوند. در حالت کلی تابع هدف دوم می تواند بصورت رابطه (۶) بیان شود.

$$\begin{aligned} \text{Min } f_2(X) &= \sum_{t=1}^{NT} \text{Emission}^t \\ &= \sum_{t=1}^{NT} \left\{ \sum_{i=1}^{Ng} [u_i^t P_{Gi}^t E_{Gi}^t + \text{Start}_{Gi} \times \max(u_i^t - u_i^{t-1}) + \text{Shut}_{Gi} \times \max(u_i^{t-1} - u_i^t)] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{j=1}^{Ns} [u_j^t P_{Sj}^t E_{Sj}^t + \text{Start}_{Sj} \times \max(u_j^t - u_j^{t-1}) + \text{Shut}_{Sj} \times \max(u_j^{t-1} - u_j^t)] + P_{Grid}^t E_{Grid}^t \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

در این رابطه E_{Gi}^t ، E_{Sj}^t و E_{Grid}^t مقادیر آلودگی ها برحسب کیلوگرم بر مگاوات ساعت (Kg/MWh) به ترتیب برای i امین منبع، j امین وسیله ذخیره کننده و شبکه سراسری در ساعت t هستند.

$$E_{Gi}^t = CO_{2\text{Gui}}^t + SO_{2\text{Gui}}^t + NO_{x\text{Gui}}^t \quad (7)$$

در رابطه (۷)، $CO_{2\text{Gui}}^t$ ، $SO_{2\text{Gui}}^t$ و $NO_{x\text{Gui}}^t$ به ترتیب مقادیر آلودگی های CO_2 ، SO_2 و NO_x ناشی از i امین منبع در ساعت t هستند.

$$E_{Sj}^t = CO_{2\text{Sj}}^t + SO_{2\text{Sj}}^t + NO_{x\text{Sj}}^t \quad (8)$$

در رابطه (۸)، $CO_{2\text{Sj}}^t$ ، $SO_{2\text{Sj}}^t$ و $NO_{x\text{Sj}}^t$ به ترتیب مقادیر آلودگی های CO_2 ، SO_2 و NO_x ناشی از j امین وسیله ذخیره کننده در ساعت t هستند.

$$E_{Grid}^t = CO_{2\text{Grid}}^t + SO_{2\text{Grid}}^t + NO_{x\text{Grid}}^t \quad (9)$$

در عبارت بالا، $CO_{2\text{Grid}}^t$ ، $SO_{2\text{Grid}}^t$ و $NO_{x\text{Grid}}^t$ به ترتیب مقادیر آلودگی های CO_2 ، SO_2 و NO_x ناشی از شبکه سراسری در ساعت t هستند. برای مدیریت انرژی یک سیستم قدرت قید اصلی، تامین بارها با استفاده از تولیدکننده های موجود است. توان کل تولیدی واحدها باید تقاضای کلی داخل شبکه را پوشش دهد. با انجام مطالعه در سطح تولید-بار (HL1) تعادل توان اکتیو شبکه بصورت رابطه (۱۰) فرمول بندی می شود.

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{Gi}^t + \sum_{j=1}^{Ns} P_{Sj}^t + P_{Grid}^t = \sum_{D=1}^{ND} P_{LD}^t \quad (10)$$

در این رابطه، P_{LD}^t مقدار D امین سطح بار در ساعت t و ND تعداد کل سطوح بار است. همچنین قید محدوده تولید نیز برای تمام واحدها در نظر گرفته میشود.

شبیه سازی

با توجه به توضیحات قبل مبنی بر انجام مطالعات در بخش HL1 سیستم مورد شبیه سازی دارای یک میکروتوربین، پیل سوختی و باتری در کنار شبکه سراسری می باشد. اطلاعات ساعتی بار در جدول (۲) نشان داده شده است. به صورت پیش فرض تمام واحدها توان اکتیو در ضریب توان واحد تولید می کنند و برای توان راکتیو تقاضا و تولیدی وجود ندارد. علاوه بر این فرض شده است که تمام واحدها در مدل الکتریکی کار کنند و تقاضای بار گرمایی وجود ندارد. قیمت انرژی ساعتی بازار نیز برای دوره زمانی ۲۴ ساعته در جدول (۳) نشان داده شده است. جدول شماره (۴)، محدوده تولیدی واحدهای مقیاس کوچک را نشان می دهد. جدول شماره (۵) میزان آلودگی حاصل از واحد ها را نشان می دهد.

جدول (۲) بار روزانه بر حسب کیلووات

ساعت	بار	ساعت	بار	ساعت	بار	ساعت	بار
۱	۷۰	۷	۹۰	۱۳	۸۵	۱۹	۴۸
۲	۷۰	۸	۹۵	۱۴	۱۳۰	۲۰	۵۰
۳	۷۰	۹	۱۰۰	۱۵	۹۵	۲۱	۸۵
۴	۷۵	۱۰	۱۳۰	۱۶	۹۶	۲۲	۸۹
۵	۸۰	۱۱	۱۳۵	۱۷	۸۰	۲۳	۷۵
۶	۸۵	۱۲	۱۴۰	۱۸	۵۶	۲۴	۷۰

جدول (۳): قیمت های ساعتی بازار جهت خرید برق از شبکه بالادست

زمان (ساعت)	قیمت (\$/kwh)	زمان (ساعت)	قیمت (\$/kwh)
۱	۰/۲۵	۱۳	۱/۵
۲	۰/۲۱	۱۴	۴
۳	۰/۱۲	۱۵	۲
۴	۰/۱۲	۱۶	۱/۹۵
۵	۰/۱۲	۱۷	۰/۶
۶	۰/۲۱	۱۸	۰/۵۱
۷	۰/۲۳	۱۹	۰/۳۵
۸	۰/۳۸	۲۰	۰/۵۰
۹	۱/۵	۲۱	۱/۱۷
۱۰	۴	۲۲	۰/۵۴
۱۱	۴	۲۳	۰/۳۳
۱۲	۴	۲۴	۰/۳۶

جدول (۴) محدوده تولیدی توان واحدهای تولید مقیاس کوچک نصب شده

شماره	نوع واحد	کمترین توان (kw)	بیشترین توان (kw)
۱	میکروتوربین	۵	۵۰
۲	پیل سوختی	۱۰	۵۰
۳	باتری	۱۰-	۱۰

جدول (۵): مقدار آلودگی ها بر حسب (kg/MWh) برای واحدهای تولیدی

شماره	نوع DG	CO2	SO2	Nox
-------	--------	-----	-----	-----

(kg/MWh)	(kg/MWh)	kg/MWh)		
۰/۱	۰/۰۰۳۶	۷۲۰	میکروتوربین	۱
۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۳	۴۶۰	پیل سوختی	۲
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۱۰	باتری	۳

با اجرای الگوریتم، بهترین عملکرد ارایه شده در مورد بهینه سازی چندهدفه و توان اختصاص داده شده برای واحدها در جدول (۶) مشخص شده است. مقادیر مانده از توان مصرفی توسط شبکه سراسری تامین میگردد.

جدول (۶) نتایج حاصل از شبیه سازی

ساعت	میکرو توربین	پیل سوختی	باتری
۱	۵	۱۰	-۲/۸
۲	۵	۱۰	-۳
۳	۵	۱۰	-۳/۳۳
۴	۵	۱۰	-۳/۳۳
۵	۵	۱۰	-۳/۳۳
۶	۵	۱۰	-۳
۷	۵	۱۰	-۲/۹
۸	۱۰	۲۸	-۲/۴
۹	۴۰	۴۷	-۰/۶۷
۱۰	۵۰	۵۰	۱۰
۱۱	۵۰	۵۰	۱۰
۱۲	۵۰	۵۰	۱۰
۱۳	۳۰	۳۶	-۰/۶۷
۱۴	۵۰	۵۰	۱۰
۱۵	۴۰	۵۰	-۰/۵
۱۶	۴۰	۵۰	-۰/۵
۱۷	۱۷	۳۰	-۵/۲
۱۸	۱۵	۲۸	-۵/۷
۱۹	۱۰	۲۷	-۷/۶
۲۰	۱۵	۲۸	-۱/۷
۲۱	۳۰	۴۵	-۱/۵
۲۲	۱۵	۳۰	-۱/۸
۲۳	۱۰	۲۶	-۲/۵
۲۴	۱۰	۲۸	-۲/۵

بحث و نتیجه گیری

بهره برداری و برنامه ریزی بهینه چندهدفه کوتاه مدت یک سیستم قدرت، با هدف تحلیل و بررسی توان و انرژی تولید شده در بازه زمانی روزانه برای تعادل توان حقیقی تولیدی و مصرفی و دستیابی به اهداف مختلف می باشد و راه حل بهینه، مصالحه ای بین اهداف چندگانه است. در این مقاله کاهش همزمان هزینه کل تولیدی و انتشار آلودگی با رعایت قیدهای مساله در یک سیستم قدرت نوعی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری انجام شد. بررسی نتایج عددی به دست آمده نشان می دهد که در ساعت هایی که نرخ بازار برق ارزان می باشد سهم عمده ای از بارها توسط شبکه سراسری تامین می شود. با رشد

تقاضا در ساعت های دیگر روز متقابلاً سهم تولید منابع متصل مقیاس کوچک بر حسب میزان آلودگی تولیدی، افزایش می یابد. ذخیره ساز موجود در سیستم نیز در ساعات ارزان بودن قیمت بازار در حال شارژ و در ساعات گران قیمت بازار در حال تولید می باشد. به عبارت دیگر واحد های تولیدی توان های خروجی خود را مطابق با اولویت در هزینه و آلودگی کمتر افزایش می دهند و عمل خرید انرژی از شبکه سراسری، برای بدست آوردن سود بیشتر و آلودگی کمتر، جایگزین می گردد.

منابع

- [1] Malahat Peik-Herfeh, H. Seifi, M.K. Sheikh-El-Eslami “Decision making of a virtual power plant under uncertainties for bidding in a day-ahead market using point estimate method” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 44, Issue 1, January 2013, Pages 88-98.
- [2] Ali Ghahgharaee Zamani, Alireza Zakariazadeh, Shahram Jadid, Ahad Kazemi “Stochastic operational scheduling of distributed energy resources in a large scale virtual power plant” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 82, November 2016, Pages 608-620.
- [3] Hantao Cui, Fangxing Li, Qinran Hu, Linquan Bai, Xin Fang “Day-ahead coordinated operation of utility-scale electricity and natural gas networks considering demand response based virtual power plants” Applied Energy, Volume 176, 15 August 2016, Pages 183-195.
- [4] Liwei Ju, Zhongfu Tan, Jinyun Yuan, Qingkun Tan, Huanhuan Li, Fugui Dong “A bi level stochastic scheduling optimization model for a virtual power plant connected to a wind-photovoltaic-energy storage system considering the uncertainty and demand response” Applied Energy, Volume 171, 1 June 2016, Pages 184-199.
- [5] Ali Ghahgharaee Zamani, Alireza Zakariazadeh, Shahram Jadid “Day-ahead resource scheduling of a renewable energy based virtual power plant” Applied Energy, Volume 169, 1 May 2016, Pages 324-340.
- [6] Seyyed Mostafa Nosratabadi, Rahmat-Allah Hooshmand, Eskandar Gholipour “Stochastic profit-based scheduling of industrial virtual power plant using the best demand response strategy” Applied Energy, Volume 164, 15 February 2016, Pages 590-606.
- [7] Jie Yu, Yiping Jiao, Xiaolong Wang, Jinde Cao, Shumin Fei “Bi-level optimal dispatch in the virtual power plant considering uncertain agents number” Neurocomputing, Volume 167, 1 November 2015, Pages 551-557.
- [8] Morteza Shabanzadeh, Mohammad-Kazem Sheikh-El-Eslami, Mahmoud-Reza Haghifam “The design of a risk-hedging tool for virtual power plants via robust optimization approach” Applied Energy, Volume 155, 1 October 2015, Pages 766-777.
- [9] J. Zapata Riveros, K. Bruninx, K. Poncelet, W. D’haeseleer “Bidding strategies for virtual power plants considering CHPs and intermittent renewables” Energy Conversion and Management, Volume 103, October 2015, Pages 408-418.
- [10] Saeed Rahmani Dabbagh, Mohammad Kazem Sheikh-El-Eslami “Risk-based profit allocation to DERs integrated with a virtual power plant using cooperative Game theory” Electric Power Systems Research, Volume 121, April 2015, Pages 368-378.
- [11] Kristin Dietrich, Jesus M. Latorre, Luis Olmos, Andres Ramos “Modelling and assessing the impacts of self-supply and market revenue driven virtual power plants” Electric Power Systems Research, Volume 119, February 2015, Pages 462-470.
- [12] Yang Yuan, Zhinong Wei, Guoqiang Sun, Yonghui Sun, Dan Wang “A realtime optimal generation cost control method for virtual power plant” Neurocomputing, Volume 143, 2 November 2014, Pages 322-330.
- [13] A. Tascikaraoglu, O. Erdinc, M. Uzunoglu, A. Karakas “An adaptive load dispatching and forecasting strategy for a virtual power plant including renewable energy conversion units” Applied Energy, Volume 119, 15 April 2014, Pages 445-453.
- [14] Torsten Sowa, Stefan Krengel, Simon Koopmann, Johannes Nowak “Multi criteria operation strategies of power-to-heat-systems in virtual power plants with a high penetration of renewable energies” Energy Procedia, Volume 46, 2014, Pages 237-245.
- [15] Spyros Skarvelis-Kazakos, Evangelos Rikos, Efstathia Kolentini, Liana M. Cipcigan, Nick Jenkins “Implementing agent based emissions trading for controlling virtual power plant emissions” Electric Power Systems Research, Volume 102, September 2013, Pages 1-7.