تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
Volume 15, No. 1, Spring 2019 (IR-WRR)
۳۶۱-۳۶۴

یادداشت فنی

# استفاده از MOPSO در بهینه‌سازی چندهدفه بهره‌برداری از مخزن برقابی مطالعه موردی: سد کارون ۵

مریم پرهیزکاری[۱] و حامد مازندرانی‌زاده[۲*]

**چکیده**

اغلب مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی به‌ویژه در زمینه مدیریت منابع آب، مسائل چندهدفه‌ای هستند که تصمیم‌گیری بر اساس اهداف متفاوت و متضاد انجام می‌شود. با توجه به اینکه مخازن برقابی در تأمین بار پیک شبکه برق مشارکت دارند، بهینه‌سازی چندهدفه بهره‌برداری از مخزن سد کارون ۵ در ساعت‌های پیک، شامل دو هدف بیشینه‌سازی درآمد سالانه و بیشینه‌سازی حداقل انرژی تولیدشده روزانه، به کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد با کاهش حداقل انرژی تولیدی روزانه از حدود ۱۰۴۰ مگاوات ساعت به ۶۵۰ مگاوات ساعت، شاهد افزایش درآمد حدوداً ده درصد درآمد کل سالانه خواهیم بود.

***کلمات کلیدی:*** قیمت اوج مصرف، بار پیک، شبکه برق.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۱۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Technical Note

# Multi-Objective Operation Optimization of Hydropower Reservoirs by MOPSO Case Study: Karun 5 Dam

*M. Parhizkari [1] and H. Mazandarani Zadeh[2]**

**Abstract**

Almost all real-world decision-making issues, especially in the water resource management area, are multi-objective issues that incorporate different and conflicting objectives. Due to the wide range of such applications, different models have been proposed to tackle multi-objective optimizations, among them NSGA-II and MOPSO are the most important models. The purpose of this study is to compare the performance of NSGA-II and MOPSO algorithms in solving multi-objective optimal operation of a hydropower reservoir. The results showed that by reducing the minimum daily energy production from about 1040 MW to 650 MW, we will meet an increase in the revenue of about 10% of the total annual revenue.

***Keywords:*** Peak Consumption, Peak Load, Electricity Network.

Received: February 10, 2018
Accepted: November 4, 2018

1- M.S. Graduated, Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Assistant Professor of Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir
*- Corresponding Author

## ۱- مقدمه

در ساختار سنتی بازار برق، مالکیت کلیه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع در اختیار یک شرکت با ادغام عمودی قرار داشت که این شرکت‌ها انرژی برق را با نرخ‌های تنظیم‌شده و تحت نظارت سازمان‌های محلی به مصرف‌کنندگان ارائه می‌دادند. این ساختار همواره با مشکلاتی از قبیل عدم وجود رقابت، نیاز به سرمایه‌گذاری بالا جهت توسعه، عدم شفافیت هزینه‌ها، غیرکارا بودن روش قیمت‌گذاری و عدم تطابق صنعت با پیشرفت فنّاوری روبه‌رو بوده است. وجود چنین مشکلاتی، کشورهای زیادی را به سمت تجدید ساختار در صنعت برق سوق داده است. استراتژی قیمت‌دهی از اهمیت ویژه‌ای برای تولیدکنندگان برقابی برخوردار است (Jamalmanesh et al., 2018). در چنین محیط رقابتی هر تولیدکننده برقابی با پیش‌بینی قیمت و برنامه‌ریزی تولید در جهت افزایش سود خود تلاش خواهد کرد. تحقیقات بسیاری در زمینه بهره‌برداری بهینه از مخازن برقابی تاکنون انجام شده است (Zahraie et al., 2018; Afshar and Riahi, 2004; Manzoor and Yadi Poor, 2017; Catalão et al., 2011; Pérez-Díaz et al., 2010; Chazarra et al., 2016).

Yang et al. (2015) ضمن ارایه مدل بهینه‌سازی چند هدفه جدیدی به نام MOSPD به مقایسه میان این الگوریتم و الگوریتم‌های MOPSO، NSGA-II و AMOSA در حل چند مسأله شاخص و همچنین حل بهره‌برداری بهینه از سد OTC واقع در ایالات متحده به منظور تولید انرژی برقابی پرداخت. نتایج نشان می‌دهد منحنی بهینه پارتو حاصل از الگوریتم پیشنهادی دربرگیرنده دامنه وسیعتری از جوابها نسبت به سایر الگوریتم‌ها است. Ehteram et al. (2017) ضمن بررسی الگوریتم فراکاوشی Shark به مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی و مدل‌های بهینه‌سازی GA و PSO پرداخت. نتایج حکایت از برتری روش پیشنهادی Shark نسبت به دو روش دیگر در استخراج منحنی فرمان بهره‌برداری از سیستم‌های تک‌مخزنه و چندمخزنه دارد. Feng et al. (2017) ضمن مقایسه نتایج حاصل از بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم برقابی به‌منظور برآوردن نیاز شبکه برق در چین با دو هدف بیشینه‌سازی تولید کل و بیشینه‌سازی تولید برق مطمئن، با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه MOPSO و NSGA-II نشان داد که روش MOPSO قادر به ارائه راه‌حل‌های بهتری نسبت به NSGA-II است. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد موضوع شبیه‌سازی بازار برق به ویژه بازارهای PAB و بهینه‌سازی چندهدفه بهره‌برداری از مخزن برقابی بر اساس رویکرد بازار PAB کمتر مورد توجه تحقیقات گذشته قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مطالعه موردی

جهت اجرای مدل بهینه‌سازی پیشنهادی، سد کارون ۵ از حوزه آبریز کارون به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. رودخانه کارون به‌عنوان مهم‌ترین و پرآب‌ترین منبع آبی کشور محسوب می‌گردد. مساحت حوزه آبریز سد ۱۰۱۸۶ کیلومترمربع، آبدهی میانگین سالانه ۳۵۸۵ میلیون مترمکعب، بارندگی میانگین حوزه ۶۱۳ میلی‌متر در سال است (Mazandarani Zadeh et al., 2008).

### ۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه MOPSO

الگوریتم MOPSO شامل دو مفهوم غلبه جواب‌ها بر یکدیگر و آرشیو است (Coello et al., 2004). سرعت و مکان ذره در زمان $t+1$ با استفاده از معادلات زیر قابل محاسبه است:

$$v^i[t+1]=wv^i[t]+c_1r_1(x^{i,pbest}[t]-x^i[t])+c_2r_2(rep_h-x^i[t]) \quad (۱)$$

$$x^i[t+1]=x^i[t]+v^i[t+1] \quad (۲)$$

به‌طوری‌که $x^i$ و $v^i$ به ترتیب بردارهای مکان و سرعت ذره $i$ ام در زمان $t$، $rep_h$ عضوی تصادفی از آرشیو، $x^{i,pbest}[t]$ بهترین تجربه شخصی ذره $i$، $w$ ضریب اینرسی، $r_1$ و $r_2$ اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک، $c_1$ و $c_2$ به ترتیب ضریب یادگیری شخصی و ضریب یادگیری جمعی است (Coello et al., 2004). روند الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات به صورت زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه

۲. جداسازی اعضای ناغالب جمعیت و ذخیره آن‌ها در مخزن (rep)

۳. شبکه‌بندی فضای هدف کشف‌شده و انتخاب تصادفی رهبر از میان اعضای rep

۴. به‌روزرسانی موقعیت ذرات

۵. به‌روزرسانی بهترین تجربه شخصی هر ذره

۶. افزودن اعضای ناغالب جمعیت فعلی به rep

۷. حذف اعضای مغلوب rep

۸. کنترل تعداد اعضای rep

۹. تکرار مراحل ۳ تا ۸ به تعداد کافی (Coello et al., 2007).

### ۲-۳- مدل بهینه‌سازی پیشنهادی

مدل پیشنهادی در این مطالعه کسب بیشترین سود سالانه و بیشترین حداقل انرژی تولیدی روزانه است.

$$\max \quad \left( \sum_{t=1}^{365} Pr_t \times E_t \quad \text{and} \quad \min E_t \right) \quad (۴)$$

Subject to:

$$S_{t+1}=S_t+I_t-R_t-L_t-Sp_t \quad (۵)$$

$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \quad (۶)$$

$$0 \le R_t \le R_{max} \quad (۷)$$

$$E_t=2730\times u\times h_{net,t}\times R_t \quad (۸)$$

$$h_{net,t}=h_t-h_{tailwater} \quad (۹)$$

در رابطه فوق $Pr_t$ قیمت پیک انرژی روزانه (هزار ریال بر مگاوات ساعت)، $E_t$ انرژی تولیدی در روز t (مگاوات ساعت)، $S_t$ حجم مخزن در ابتدای روز t (میلیون مترمکعب)، $I_t$ جریان ورودی به مخزن در روز t (میلیون مترمکعب)، $L_t$ تلفات آب در طول روز t، $R_t$ جریان خروجی از مخزن در طول روز t (میلیون مترمکعب)، $Sp_t$ جریان سرریز از مخزن در روز t (میلیون مترمکعب)، $S_{min}$ و $S_{max}$ به ترتیب حداقل و حداکثر حجم مخزن (میلیون مترمکعب)، $R_{max}$ حداکثر جریان خروجی از مخزن، u راندمان نیروگاه و $h_{net}$ ارتفاع آب خالص روی نیروگاه (متر) در روز t است که از $h_{net}=h_t-h_{tailwater}$ قابل‌محاسبه است. $h_{tailwater}$ تراز آب در پایاب نیروگاه و $h_t$ تراز آب مخزن در روز t است. در این مسأله $R_t$ به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است.

## ۳- نتایج حاصل از مدل‌های بهینه‌سازی

پارامترهای MOPSO برابر $W = 0.5, C_1=1, C_2=1$ و $\beta = 1$ و میزان تکرار برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است الگوریتم در محیط نرم‌افزار Matlab 2014 در رایانه Intel Core i5 @2.5GHz با حافظه داخلی ۶ گیگابایت اجرا شد. شکل ۱ جبهه پرتو به‌دست‌آمده از روش‌های MOPSO را نمایش می‌دهد. در این شکل مجموعه‌ای از جواب‌های ناغالب مشاهده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در جواب‌های بخش پایین سمت راست، هدف درآمد کل سالانه مورد توجه قرارگرفته و در جواب‌های بالا سمت چپ، هدف بیشترین انرژی تولیدشده روزانه مورد توجه قرار گرفته است. تغییرات درآمد کل سالانه و حداقل انرژی تولیدی روزانه نشان می‌دهد با کاهش حداقل انرژی تولیدی روزانه از حدود ۱۰۴۰ مگاوات ساعت به ۶۵۰ مگاوات ساعت، شاهد افزایش درآمد حدوداً ده درصد درآمد کل سالانه خواهیم بود.

جدول ۱ نتایج اجرای مدل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میانگین زمان اجرای در طی ۵ اجرا برابر ۹۶۸ ثانیه است.

## ۴- خلاصه و جمع‌بندی

از آنجا که بهره‌برداری از نیروگاه‌های برقابی غالباً با اهداف متفاوتی صورت می‌گیرد، در این تحقیق به بررسی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه MOPSO در بهره‌برداری از سد و نیروگاه کارون ۵ پرداخته شده است. به نحوی که دست‌یابی هم‌زمان به دو هدف بیشینه‌سازی درآمد کل سالانه و بیشینه‌سازی حداقل تولید روزانه برق مد نظر قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مدل پیشنهادی از عملکرد قابل قبولی برای دستیابی به هدف‌ها برخوردار است.

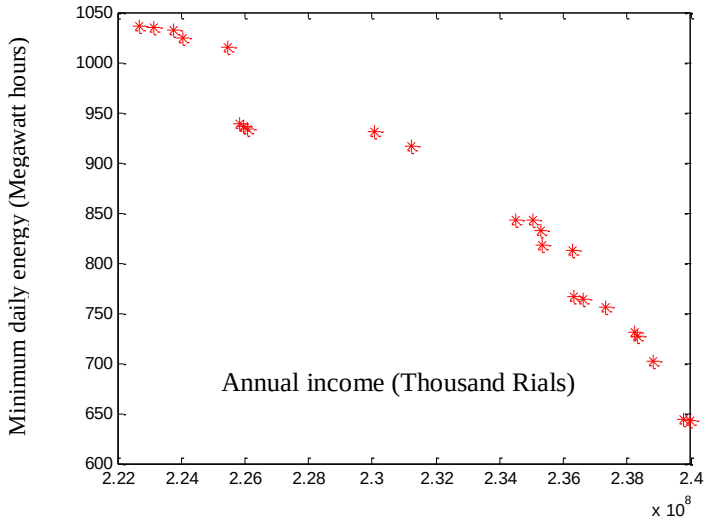


**Fig. 1- Pareto front of MOPSO**

**شکل ۱- نمایش جبهه پارتو در روش بهینه‌سازی دوهدفه MOPSO**

**Table 1- Results of optimization in several different runs**

**جدول ۱- نتایج حاصل از اجرای مدل‌های بهینه‌سازی در چندین اجرای مختلف**

| | Time (s) | Annual income (Billion Rials) | Minimum energy (Megawatt hours) |
|---|---|---|---|
| Run 1 | 1163 | 226 | **934** |
| Run 2 | 898 | 223 | **1023.3** |
| Run 3 | 950 | 233 | **822.6** |
| Run 4 | 899 | 235 | **746.2** |
| Run 5 | 934 | 221 | **1025.7** |
| Average | 968.8 | 227.6 | **910.3** |

نتایج نشان می‌دهد حداقل انرژی تولیدی روزانه و درآمد کل سالانه رابطه معکوس با یکدیگر دارند، به نحوی افزایش یکی باعث کاهش دیگری خواهد شد. کاهش ۶۰ درصد در حداقل انرژی تولیدی روزانه باعث ۱۰ درصد افزایش در درآمد کل سالانه خواهد شد.

## ۵- مراجع


Jamalmanesh A, khodaparast M, Seifi A, and Falahi MA (2018) The production-profitability model designed for hydropower plants with system dynamics approach. Iran-water Resources Research 14(5):42-56 (In Persian)

Zahraie B, Sadeghi F, Porsepahy Samian H and Jamali S (2018) Application of stochastic dual dynamic programming using markovian stochastic modeling for formulating long-term operation policies of hydropower systems. Iran-water Resources Research 14(2):198-211(In Persian)

Afshar K, Riahi R (2008) Restructuring in power industry and pass on the market electricity. Iran Power Network Management Company, 140p (In Persian)

Manzoor D, Yadipoor M (2017) Assess and prediction price fluctuations in Iran electricity market to help ARMAX.GHARCH model. Journal of Quantitative Economics Some 13:97-113 (In Persian)

Catalao J, Pousinho H and Mendes V (2011) Short-term electricity prices forecasting in a competitive market by a hybrid intelligent approach. Energy Conversion and Management 52:1061-1065

Perez-Diaz J, Wilhelmi J and Arevalo L (2010) Optimal short-term operation schedule of a hydropower plant in a competitive electricity market. Energy Conversion and Management 51:2955-2966

Chazarra M, Garcia-Gonzalez J, Perez-Diaz J and Arteseros M (2016) Stochastic optimization model for the weekly scheduling of a hydropower system in day-ahead and secondary regulation reserve markets. Electric Power Systems Research 130:67-77

Mazandarani Zadeh H, Moosavi J and Partovirad F (2008) Optimization of operation of tanks including the economic factors and energy prices hydropower. Journal of Civil and Environmental, AmirKabir, 69:73-93 (In Persian)

Ehteram M, Karami H, Mousavi SF, El-Shafie A and Amini Z (2017) Optimizing dam and reservoirs operation based model utilizing shark algorithm approach. Knowledge-Based Systems 122:26-38

Coello C, Pulido G and Lechuga M (2004) Handling multiple objectives with particle swarm optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 8:256-279

Coello C, Lamont G and Vanveldhuizen D (2007) Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. Springer, New York, USA 621p