Hydraulics and Water Science, **Vol. 34, NO. 4, Winter 2025, pp. 89-110.**
DOI: 10.22034/hws.2024.18918 **https://hws.tabrizu.ac.ir/**

Research Article

Determining the optimal operation parameters of Alavian dam using the combination of genetic and particle swarm algorithms

B Nikoufar*[1], V Nourani[2]

Received: August 14, 2024 Accepted: December 10, 2024

Revised: November 12, 2024 Published online: December 21, 2024

1- PhD student in Water Resources Management, University of Tabriz, Iran

2- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran.

*Corresponding Author, E-mail: baghernik@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Optimum operation of dam reservoirs is one of the most significant management factors in developing the annual resource and consumption plan of dam reservoirs during operation. The decisions regarding amount of water release are made by having the volume of the reservoir, amount of demand, and the prediction of reservoir inflow in the actual operation of dam reservoirs. Since the volume of release is related to the storage volume of the reservoirs of the dams and should be optimized simultaneously, after introducing the genetic algorithm and the particle swarm algorithm, the performance of these algorithms alone and in combination with each other in the optimal operation of the Alavian dam reservoir are compared with the modeling results in the nonlinear programming and the rule curves of the operation are developed in this study. The performance indicators of the reservoir were been used including reliability, vulnerability and stability to evaluate the performance of the examined algorithms in the optimal operation of the reservoir.

Methodology

In this study, after introducing the genetic algorithm and the particle swarm algorithm, innovatively examines the accuracy and effectiveness of modeling by comparing the performance of these algorithms both individually and in combination. This comparison focuses on optimizing the operation of the Alavian dam reservoir over multi-step ahead, using modeling results from the software Lingo. To enhance decision-making for improved management of the Alavian dam reservoir, operation rule curves have been developed. The model utilizes a series of 25 years of data from the Alavian dam, which includes the volume of inflow, the volume of release from the reservoir, storage volume, and usage data encompassing drinking, agriculture, industry, and environmental needs. Additionally, information such as the volume of overflow from the dam reservoir and the volume of evaporation from the surface of the Alaviyan Dam reservoir has been collected on a monthly basis.

Findings

The results from these optimal solutions indicate that the combined algorithm outperforms other methods, demonstrating a better correlation with the reservoir management policy. Over the last 25 years, the combined algorithm met 85% of the water requirements for agriculture downstream of Alavian dam, compared to 82% for the Particle swarm optimization(PSO) algorithm and 78% for the genetic algorithm (GA). In contrast, the nonlinear programming (NLP) method met 80%. The total shortages over the entire 25-year operational period for the GA, PSO, GA-PSO, and NLP algorithms were 38, 33.7, 27.1, and 35.2 million cubic meters,

©: The Author(S)
Publisher: University of Tabriz

respectively. The GA-PSO algorithm has successfully addressed 10.87 million cubic meters more than the GA algorithm and 6.57 million cubic meters more than the PSO algorithm.

Conclusion

Investigating the results obtained from the optimal solutions revealed that the hybrid algorithm model provides a more favorable result and shows a better correlation regarding the reservoir operation policy. The results indicate the high performance of the hybrid algorithm compared to other studied methods in the optimal operation of the single reservoir system of Alavian dam. Accordingly, the optimal parameters of the Alavian dam reservoir were obtained using a hybrid algorithm. It was proposed to release volume rule curves and reservoir volume for the multi-step ahead.

Keywords: Particle swarm optimization algorithm, Genetic algorithm, Hybrid algorithm, Optimal operation, Rule curve, Alavian dam

نشریه دانش آب و هیدرولیک / جلد ۳۴ شماره ۴ صفحه‌های ۸۹ تا ۱۱۰/ سال ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

تعیین پارامترهای بهینه بهره‌برداری سد علویان با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات

باقر نیکوفر[1]*، وحید نورانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ ویرایش:۱۴۰۳/۰۸/۲۲ تاریخ انتشار انلاین :۱۴۰۳/۱۰/۰۱

۱-دانشجوی دکتری عمران مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز، ایران

۲-استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. ایران.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: baghernik@tabrizu.ac.ir

چکیده

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مدیریتی در دوران بهره‌برداری مخازن سدها، تعیین پارامترهای بهینه بهره برداری می‌باشد. با توجه به اینکه حجم رهاسازی در ارتباط با حجم ذخیره مخازن سدها بوده و بایستی تواماً و باهم بهینه‌سازی گردند، لذا در این تحقیق تلاش می‌گردد، پس از معرفی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات، عملکرد این الگوریتم‌ها به‌تنهایی و در حالت ترکیب با هم، در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان با نتایج مدل‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی مقایسه و منحنی‌های فرمان بهره‌برداری ترسیم گردند. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از مخزن، از شاخص‌های عملکرد مخزن استفاده شده است. جواب بهینه مدل‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب با ۱/۰۸ و ۰/۸۷ و الگوریتم ترکیب آن‌ها با مقدار ۰/۶۲ و روش برنامه‌ریزی غیرخطی جواب بهینه محلی ۰/۹۱ می‌باشند. با توجه به شاخص‌های عملکرد مخزن، الگوریتم ترکیبی توانسته است ۸۵ درصد از نیاز آبی کشاورزی پایاب سد علویان را تأمین کند. جواب‌های بهینه نشان دادند که مدل الگوریتم ترکیبی در مورد سیاست بهره‌برداری از مخزن، نتیجه مطلوب‌تری داشته و نتایج حاکی از عملکرد بالای الگوریتم ترکیبی در مقایسه با دیگر روش‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان بود. بر این اساس، پارامترهای بهینه بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم ترکیبی به‌دست‌آمد.

کلیدواژه‌ها: بهره‌برداری بهینه، الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک، الگوریتم ترکیبی، هیدروانفورماتیک، منحنی فرمان، مخزن سد علویان

مقدمه

با توجه به نقش اساسی آب در زندگی بشر، برآورد دقیق میزان پتانسیل منابع آب و استفاده بهینه از آن‌یک مسئله مهم و قابل توجه در محافل علمی و صنعت آب است. بنابراین بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها، یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مدیریتی در تدوین برنامه منابع و مصارف سالیانه مخازن سدها در دوران بهره‌برداری محسوب می‌گردد. برای تعیین مقادیر پارامترهای بهینه بهره برداری، به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی لازم و ضروری است. تمرکز تحقیقات و مطالعاتی که تاکنون در این باره صورت گرفته، مبتنی بر روش‌هایی است که تنها به یک جواب به‌عنوان گزینه بهینه می‌انجامد. بدین منظور استفاده از روش‌های فرا ابتکاری که به ارائه مجموعه جواب‌های بهینه می‌انجامد، می‌تواند راهگشا باشد. برای تحقق این هدف، ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک (GA[1]) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO[2]) و ترکیب (GA-PSO[3]) آن‌ها در مقایسه با نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار لینگو به‌عنوان برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP[4]) در بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها مورد بررسی قرار گرفته است.

در این ارتباط، ستاری و همکاران (۲۰۱۲) کارآیی سیستم مخزن سد علویان را در طی سه فاز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تابع هدف را به‌صورت بیشینه‌سازی مجموع آب خروجی مورد نیاز کشاورزی تعریف کردند. نتیجه حاصل از تحقیقات آن‌ها نشان داد که ظرفیت برآورده شده در طول مطالعات مقدماتی نسبتاً صحیح بوده و عملیات بهره‌برداری انجام‌گرفته در طول دوره مورد مطالعه در حد نسبتاً رضایت بخشی بوده است، عدم لحاظ جریان زیست‌محیطی رودخانه به‌عنوان ضعف اساسی مدل ایشان قابل ارزیابی است.

در این تحقیق، بهبود الگوریتم ازدحام ذرات برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی منابع آب مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از مشکلات اساسی این روش، همگرایی زودرس می‌باشد. برای بهبود این مشکل، ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. اساس این ترکیب، به‌گونه‌ای است که مزایای الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک به‌طور هم‌زمان به کار گرفته می‌شوند. در الگوریتم حاصل دو عملگر کارآمد الگوریتم ژنتیک، جهش و تقاطع به کار می‌روند، جهش، باعث افزایش گوناگونی جمعیت و تقاطع اطلاعات بین دو ذره از جمعیت را مبادله می‌کند (احمدیان فر و ادیب، ۲۰۱۵). مقایسه نتایج روش ترکیبی با الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک، مشخص کرد که الگوریتم ترکیبی حاصل، باعث افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود توانایی الگوریتم ازدحام ذرات برای ایجاد جمعیتی با سرعت همگرایی بالا شده و کارایی بسیاری در حل مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری منابع آب دارد. ژیان شی[5] و همکاران (۲۰۰۵)، از الگوریتم ژنتیک برای تخصیص بهینه آب خروجی از مخزن استفاده کردند، آن‌ها حساسیت احتمالاتی عملگرهای الگوریتم ژنتیک مانند تقاطع و جهش را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، الگوریتم ژنتیک می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای استفاده در مسائل بهینه‌سازی عمل کند. رانی[6] و همکاران (۲۰۲۰) از الگوریتم (PSO) برای استخراج سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از یک سامانه تک مخزنه برق‌آبی با تابع هدف کمینه کردن مجموع سالانه مجذور اختلاف انرژی برق‌آبی تولیدی از انرژی برق‌آبی مطلوب، استفاده کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن شرایط متفاوت هیدرولوژی، سیاست‌های بهره‌برداری را برای سال‌های خشک، تر و نرمال به‌صورت جداگانه استخراج نمودند. دین پژوه و همکاران (۲۰۱۷) به بهره‌برداری بهینه از آب سد علویان با استفاده از دو روش فرا ابتکاری ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج نشان داد که الگوریتم ازدحام ذرات، مناسب‌تر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

[1] Genetic Algorithm
[2] Particle Swarm Algorithm
[3] Genetic Algorithm- Particle Swarm Algorithm
[4] Non-linear programming
[5] Jian-Xia
[6] Rani

چودهری[1] و همکاران (۲۰۲۲) مقاله‌ای برای بهینه‌سازی بهره‌برداری سیستم مخزن برای بزرگ‌ترین مخزن سد در ایالت ماهاراشترا هند از طریق مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه با دو تابع هدف حداکثر رساندن رهاسازی برای آبیاری و تولید برق‌آبی ارائه نموده‌اند. بیرانوند و آشفته (۲۰۲۳) مطالعه خود را در یک مقاله مروری، با ۷۶ مقاله پژوهشی از معتبرترین مجلات دنیا بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ بررسی نموده و برای بررسی سیستماتیک و انتخاب مقالات مورد مطالعه، از روش متاآنالیز[2] استفاده‌شده است. آن تحقیق، شامل بررسی جامعی در خصوص کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی مختلف در بهره‌برداری از مخازن سد است و توانسته بینشی انتقادی از انتخاب مدل‌های مورد استفاده و دقت روش‌های مختلف مدل‌سازی در بهینه‌سازی مخازن سدها را ارائه نماید.

صابری و صداقت شایگان (۲۰۲۱)، از الگوریتم فرا ابتکاری CBO[3] و بهینه‌سازی در بهره‌برداری از مخزن سد هراز با الگوریتم‌های FA[4] و GA استفاده کردند و باسیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP[5]) مقایسه کردند. با اجرای الگوریتم CBO، تمام نتایج و خروجی‌های کلیدی مانند زمان اجرای برنامه، کمبودهای آب سالانه و آسیب‌پذیری‌ها بسیار بهتر از محاسبات قبلی به‌دست آمد. فیضی و همکاران (۲۰۲۳)، عملکرد الگوریتم مبتنی بر یادگیری و آموزش در مقایسه با الگوریتم‌های جستجوی هارمونی اصلاح‌شده و ازدحام ذرات به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان را بررسی کردند که نتایج به‌دست‌آمده، حاکی از قابلیت بالای الگوریتم مبتنی بر یادگیری و آموزش در محاسبه مقادیر بهینه آب رها شده از مخزن سد علویان با لحاظ حق آبه زیست محیطی بود. سودی[6] و همکاران (۲۰۱۹)، منحنی فرمان چند سد مخزنی حوضه دریاچه ارومیه از جمله سد علویان را تحت سه سیاست متفاوت بهره‌برداری (۳۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ از میانگین جریان سالانه به عنوان حجم آب قابل رهاسازی) محاسبه کردند و نشان داند که بکار بردن ۸۰٪ از میانگین جریان سالانه، سناریو مؤثری بر احیای دریاچه می‌تواند باشد.

با توجه به اینکه در تحقیقات پیشین بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها و تعیین پارامترهای بهینه رهاسازی و حجم مخزن و ترسیم نمودار منحنی فرمان جهت تصمیم گیری برای مدیریت بهینه مخازن سدها، با روش‌های ترکیبی کمتر مورد توجه بوده است، و صرفا از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات به صورت انفرادی استفاده و نتایج آنها با هم مقایسه شده است، در بررسی‌های انفرادی الگوریتم ها، علیرغم توانایی هر یک ازآنها، ضعف‌ها باقی می‌ماند. از این رو، رویکرد این تحقیق در ترکیب قابلیت‌های الگوریتم های ژنتیک و ازدحام ذرات و استفاده از توانایی هریک از آنها به عنوان نوآوری این تحقیق برای محاسبه پارامترهای بهینه بهره‌برداری و ترسیم منحنی‌های فرمان بهره‌برداری برای تصمیم گیری و مدیریت بهینه از مخزن سدعلویان است. از طرف دیگر، بیشترین مصرف پایین‌دست سد علویان مربوط به کشاورزی است و در نتیجه بدون صرفه‌جویی و بهینه‌سازی در این بخش، امکان اختصاص مصارف سایر بخش‌ها به صورت صد در صد وجود ندارد. لذا بهینه‌سازی تامین آب در بخش کشاورزی و در نتیجه کاهش مصرف آب راه حلی است که با رسیدن به آن می‌توان به قابلیت اطمینان بالاتر در تامین نیاز آب شهری و صنعتی و زیست محیطی رسید.

در مسئله بهینه‌سازی حاضر، تابع هدف به‌صورت کمینه‌سازی اختلاف رهاسازی با نیاز واقعی مصارف طی یک دوره بلندمدت (۲۵ ساله) و یک دوره کوتاه‌مدت (یک‌ساله) بهره‌برداری از سد علویان تعریف شده است. محدودیت‌های معادله پیوستگی مخزن، حجم ذخیره مخزن و حجم رهاسازی از مخزن بر تابع هدف

[1] Choudhari
[2] Meta-Analysis
[3] Colliding Bodies Optimization
[4] Firefly Algorithm
[5] Standard operating policy
[6] Sodi

مسئله اعمال‌شده‌اند. با توجه به اهمیت حیاتی جریان زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای جهت احیاء دریاچه ارومیه، مدل بهینه‌سازی با در نظر گرفتن تأمین کامل حداقل جریان زیست‌محیطی، تأمین صددرصدی نیاز شرب، صنعت و به حداقل رساندن شدت کمبودهای کشاورزی توسعه داده شد.

در این مطالعه، پس از معرفی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات، سپس به‌عنوان نوآوری در مطالعه و افزایش دقت و کارآیی مدل‌سازی‌ها، عملکرد این الگوریتم‌ها به‌تنهایی و در حالت ترکیب با هم در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان با نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار لینگو مقایسه شده است. جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از مخزن، از شاخص‌های عملکرد مخزن شامل اطمینان‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از جواب‌های بهینه، نشان دادند جواب بهینه مطلق حاصل از نرم‌افزار لینگو بر اساس روش برنامه‌ریزی غیرخطی برابر با مقدار ۰/۹۱ به‌دست‌آمده است و جواب بهینه مدل‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب با ۱/۰۸ و ۰/۸۷ و الگوریتم ترکیب آن‌ها با مقدار ۰/۶۲ می‌باشند. با توجه به شاخص‌های عملکرد مخزن، الگوریتم ترکیبی توانسته است ۸۵ درصد و الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۸۲ درصد و ۷۸ درصد و روش برنامه‌ریزی غیرخطی ۸۰ درصد از نیاز آبی کشاورزی پایین‌دست سد علویان را تأمین کند. با بررسی نتایج نشان داد که مدل الگوریتم ترکیبی در مورد تعیین پارامترهای بهینه بهره‌برداری از مخزن نتیجه مطلوب‌تری داشته و همبستگی بهتری از خود نشان می‌دهد و نتایج حاکی از عملکرد بالای الگوریتم ترکیبی در مقایسه با دیگر روش‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان بود. بر این اساس، پارامترهای بهینه بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم ترکیبی به‌دست‌آمد.

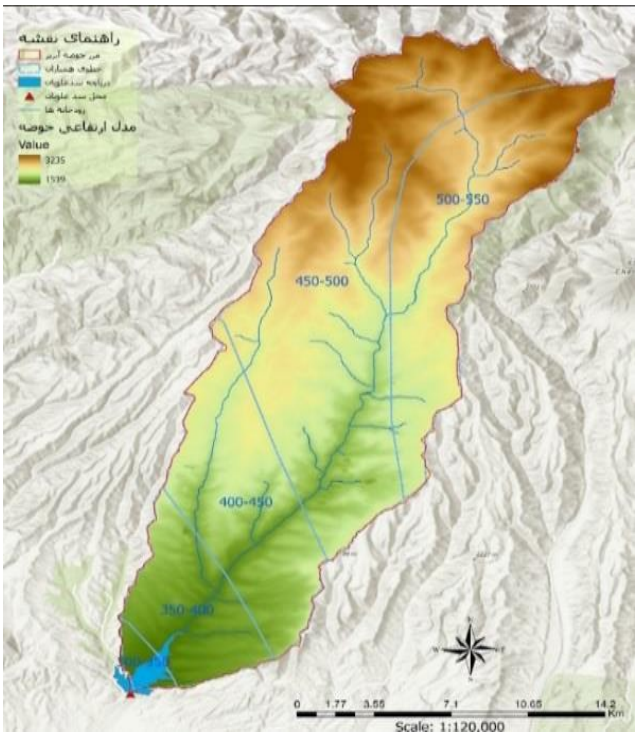
مواد و روش

مناطق مورد مطالعه

حوضه آبریز سد علویان واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مساحت ۲۷۵ کیلومترمربع در محدوده‌ای به عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٦ درجه تا ٤٦ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه صوفی چای با طول ۱۲۰ کیلومتر از دامنه‌های جنوب غربی کوه سهند واقع در استان آذربایجان شرقی سرچشمه می‌گیرد. جریان‌های سطحی این رودخانه از مجموع چشمه‌سارهایی که در دامنه سهند ظاهر می‌شوند و همچنین ذوب ذخیره و پوشش برفی این منطقه تأمین می‌شود. جهت رودخانه تقریباً به‌طرف جنوب بوده و در دره باریک و کم‌عرض جریان دارد. شاخه فرعی اسپیران چای به طول ۱۳/۵ کیلومتر در پایین‌دست، در محلی به نام کهلک دره‌سی (اسپیران) از طرف راست وارد رودخانه می‌شود. رودخانه صوفی چای بعد از طی مسافتی در حدود ٤ کیلومتر از محل اتصال اسپیران، به تازه کند قاسم خان می‌رسد. در این محل، ایستگاه هیدرومتری تازه کند قرار دارد. شاخه اسفستانج یکی دیگر از شاخه‌های فرعی رودخانه صوفی چای است که در فاصله ۲/۵ کیلومتری پایین‌دست تازه کند قاسم خان وارد آن می‌شود. کمی پایین‌تر از این محل نیز، سد علویان قرار دارد که رودخانه نهایتاً در پایین‌دست سد علویان به دریاچه ارومیه ختم می‌شود (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۹۹۵).

سد علویان در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه، بر روی رودخانه صوفی چای در ۳/۵ کیلومتری شمال غربی شهر مراغه در استان آذربایجان شرقی احداث‌شده است. سد علویان در سال ۱۳۷٤ به بهره‌برداری رسیده است و نوع سد خاکی با هسته رسی دارای حجم کل اولیه مخزن ٦۰ میلیون مترمکعب شامل

۵۷ میلیون مترمکعب حجم مفید و ۳ میلیون مترمکعب حجم مرده می‌باشد. ارتفاع آن از پی، ۷٦ متر و طول تاج ۹۳۵ متر می‌باشد. از اهداف اصلی احداث سد علویان تأمین آب موردنیاز کشاورزی در محدوده شهرهای مراغه و بناب با وسعتی برابر با ۱۲۲۰۰ هکتار به‌عنوان مبانی طراحی و در حال حاضر ٦۵۰۰ هکتار از اراضی منطقه بهبود، تأمین آب شرب شهرستان مراغه، تأمین آب موردنیاز صنایع منطقه و همچنین مهار سیلاب رودخانه صوفی چای و محیطزیست می‌باشد.



شکل ۱- حوضه‌ی آبریز سد علویان (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۹۹۵)

داده های مورد استفاده در تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل یک سری داده‌های ۲۵ ساله (۱۳۷٦-۱٤۰۱)، سد علویان اعم از حجم آب ورودی، حجم آب خروجی از مخزن، حجم ذخیره، مصارف اعم از شرب، کشاورزی، صنعت، محیطزیست و سایر اطلاعات مثل حجم سرریز از مخزن سد و حجم تبخیر از سطح مخزن سد علویان به‌صورت ماهانه می‌باشد. علاوه بر داده های مورد اشاره درمدل‌سازی بهینه، در کوتاه مدت از مقادیر حجم جریان ورودی به مخزن و حجم تبخیر از سطح مخزن در ۱۲ ماه آتی بر اساس متوسط آمار پنج سال گذشته و تجربه کارشناسی متخصصین سد و همچنین متوسط رهاسازی در بازه زمانی ۲۵ ساله مطابق جداول ۱ و ۲ و ۳ نیز استفاده شده است.

جدول ۱- متوسط داده‌های حجم جریان ورودی به مخزن سد علویان در پنج سال گذشته (میلیون مترمکعب)

October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	Total
1.0	2	2.5	3.0	3.0	5.0	15.0	20.0	8. 0	2.0	0.8	0.2	62.5

جدول ۲- متوسط داده‌های حجم تبخیر از سطح مخزن سد علویان در پنج سال گذشته (میلیون مترمکعب)

October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	Total
0.12	0.05	0.02	0.0	0.0	0.045	0.15	0.3	0.5	0.55	0.45	0.25	2.43

جدول ۳- متوسط داده‌های حجم رهاسازی از مخزن سد علویان برای تأمین اهداف در بازه زمانی مورد مطالعه(MCM)

October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	Total
2.3	2	2	1.6	1.6	2	3.2	14	19.3	13	11.6	6.6	79.0

در این تحقیق، علاوه بر سری داده‌های جریان ورودی، حجم رهاسازی و حجم تبخیر از سطح مخزن، از داده‌های مصارف سد علویان اعم از شرب، کشاورزی، صنعت و محیطزیست نیز استفاده‌شده است و در این مطالعه دوره آماری، داده‌ها به طول ۲۵ سال (۱۳۷٦-۱٤۰۱) می‌باشند (جدول ٤ و ٥). هدف از این تحقیق، مدل‌سازی برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم های بهینه‌سازی در ۱۲گام بعد و پس از بدست آوردن پارامترهای بهینه بهره برداری، ترسیم منحنی فرمان بهره‌برداری به هنگام سد برای یک سال آبی آینده (۱۲ گام بعد) است.

جدول ۴- نیاز واقعی بخش کشاورزی، شرب، صنعت در مقیاس ماهانه در پایاب سد علویان (MCM)

Type of consumption	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	Total
Drink	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	16
Agriculture	0	0	0	0	0	0	0	8	13	12	8	4	45
Industry	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	5.2

براساس دستورالعمل‌های بهره‌برداری سد علویان، برای محاسبه حداقل جریان زیست محیطی رودخانه صوفی چای از روش هیدرولوژیکی تنانت[1]استفاده شده است. سطح قابل قبول از این روش با توجه به دستورالعمل ابلاغ شده وزارت نیرو معادل ۳۰ درصد دبی ورودی متوسط سالانه برای دوره پرآبی و۱۰ درصد دبی ورودی متوسط سالانه برای دوره کم آبی است. با توجه به دبی رودخانه، ماه‌های بهمن تا ماه تیر به عنوان دوره-های پرآبی، و ماه‌های مرداد تا دی به عنوان دوره‌های کم آبی در نظر گرفته شده است (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۹۹۵).

جدول ۵- حداقل نیاز زیست‌محیطی رودخانه صوفی چای در مقیاس ماهانه (MCM)

October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	Total
0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.5	0.6	0.6	1	1.1	0.6	6

الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد مطالعه

به دلیل پیچیدگی‌ها و مشکلات مختلف در حل برخی مسائل بهینه‌سازی، تلاش‌های گسترده‌ای برای استفاده از الگوریتم‌های تصادفی و تقریبی صورت گرفته است. هرچند این الگوریتم‌ها تضمینی جهت دستیابی به بهینه مطلق ندارند، اما عموماً می‌توان به کسب پاسخ نزدیک به بهینه امیدوار بود. هدف اصلی این الگوریتم‌های حل تقریبی، کاوش مؤثر و کارا در فضای جستجو به‌جای یافتن جواب‌های بهینه (نزدیک به بهینه) می‌باشد. این الگوریتم‌ها، اغلب تقریبی و غیرقطعی می‌باشند. با استفاده از الگوریتم‌ها، ممکن است با استفاده از راهکارهایی، از گیر افتادن در محدوده‌های محصور در قسمت‌هایی از جستجو رهایی یابند. این روش‌ها با الهام از طبیعت و با مشارکت مفاهیم متفاوتی از حوزه‌های مختلف از جمله ژنتیک، هوش مصنوعی ابداع شده‌اند. ازجمله این روش‌ها، می‌توان به الگوریتم (GA)، الگوریتم (PSO)، الگوریتم (CBO) و الگوریتم (FA) اشاره نمود. در این بخش، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات، تشریح شده است.

[1] Tenant

الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت است که بر پایه‌ی رقابت موجودات زنده برای تصاحب منابع طبیعی محدود استوار است. اصول اولیه این روش توسط جان هلند، همکاران و دانشجویانش در دانشگاه میشیگان ایالات متحده ارائه شد. مهم‌ترین عملگرهای روش ژنتیک عملگرهای انتخاب و ترکیب است که در این تحقیق، مورد استفاده قرارگرفته‌اند و توسط سه عملگر تکثیر، تولید مثل و جهش به جستجوی پاسخ بهینه می‌پردازد. تکثیر، عملگری است که در آن، هر کروموزوم برحسب مقدار تابع هدف متناظر با آن برای ایجاد نسل بعدی تکثیر می‌یابد. پس از ایجاد دو کروموزوم جدید، به‌طور اتفاقی امّا با احتمال بسیار کوچک بعضی از ژن‌های کروموزوم تغییر می‌یابند. به‌طور مصنوعی این عمل با تغییر یک یا چند بیت از کروموزوم، از صفر به یک یا برعکس انجام می‌گیرد. این عمل توسط عملگر جهش صورت می‌گیرد (نجاتی و همکاران، ۲۰۱۹).

در فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، در بخش عملگر تولید مثل بخش‌های از اطلاعات ژنتیکی دو کروموزوم باهم معاوضه می‌شوند. این عملیات، از طریق عملگر ریاضی ترکیب انجام می‌شود. این عملگر عموماً بخش‌هایی از کروموزوم والد را به‌صورت تصادفی انتخاب و باهم جابجا می‌کند. انجام عمل ترکیب به‌صورت احتمالی بوده و مقدار احتمال آن معمولاً بیش از ۰/۷ است (کارآموز و همکاران، ۲۰۰۶).

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این الگوریتم، موقعیت هر ذره، یک نقطه از فضای جواب مسئله را نشان می‌دهد. هر ذره، دارای حافظه است و بهترین موقعیتی که در فضای جست‌وجو به آن می‌رسد را به خاطر می‌سپارد. حرکت هر ذره می‌تواند در سه جهت هم سو با مسیر اولیه، حرکت به‌سوی بهترین موقعیت و حرکت به‌سوی بهترین موقعیتی که کل ذرات پیدا کرده‌اند، صورت گیرد (شی و ابرهارت[1]، ۱۹۹۸).

هر ذره، اطلاعاتی شامل بهترین مقدار (موقعیتی) که تاکنون به دست آورده است (بهینه شخصی[2])؛ موقعیتی که در حال حاضر در آن قرار دارد ($X_{i,(t)}$) و بهترین جوابی که تاکنون در کل گروه به‌دست آمده است (بهینه فراگیر[3]) را دارا است. هر ذره، برای رسیدن به بهترین جواب، موقعیت خود را با استفاده از موقعیت کنونی($X_{i,(t)}$)، سرعت کنونی ($V_{i,(t)}$)، فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه شخصی و فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه فراگیر تغییر می‌دهد. لذا بردار سرعت جدید ($V_{i,(t+1)}$)، برای ذره iام طبق رابطه (۱) محاسبه می شود (شی و ابرهارت، ۱۹۹۸).

$$V_{i,(t+1)} = w.V_{i,(t)} + C_1.r_1\left(P_{i,(t)} - X_{i,(t)}\right) + C_2.r_2\left(G_{(t)} - X_{i,(t)}\right) \qquad (۱)$$

که در آن r_1 و r_2 بردارهای تصادفی بین صفر و یک هستند که برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به کارمی روند. C_1 و C_2 پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند؛ انتخاب مقدار مناسب برای این پارامترها منجر به تسریع همگرایی الگوریتم و جلوگیری از همگرایی زودرس در بهینه‌های محلی می‌شود. انتخاب مقادیر بزرگ‌تری برای پارامتر شناختی C_1 نسبت به پارامتر اجتماعی C_2 مناسب‌تر است، اما بایستی همواره شرط $C_1 + C_2 = 4$ رعایت شود. پارامتر w، اینرسی وزنی نام دارد که برای تضمین همگرایی در دسته ذرات به کار می‌رود؛ و مقداری بین ۰/٤ و ۰/۷ برای آن مناسب است. $P_{i,(t)}$ موقعیت بهترین محلی که ذره iام تاکنون داشته و $G_{(t)}$ موقعیت بهترین محلی که کل ذرات تاکنون آنجا را

[1] Shi & Eberhart
[2] Personal Best
[3] Global Best

یافته‌اند. موقعیت جدید ذره iام نیز از رابطه (۲) به دست خواهد آمد (شی و ابرهارت، ۱۹۹۸).

$$X_{i,(t+1)} = X_{i,(t)} + V_{i,(t+1)} \quad (۲)$$

معراجی و همکاران (۲۰۰۵)، از الگوریتم PSO که اساساً برای مسائل بهینه‌سازی پیوسته توسعه داده شده است، در جهت بهینه‌سازی عملکرد سد استفاده کردند. عملکرد الگوریتم PSO برای چند مسئله بهینه‌سازی تست شده و سپس این الگوریتم برای بهینه‌سازی سیاست بهره‌برداری مخزن سد دز به کار گرفته‌شده است. نتایج ایشان در مقایسه با روش برنامه‌ریزی غیرخطی، کار آیی این الگوریتم را نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی غیرخطی

برای اجرای مدل برنامه‌ریزی غیرخطی یک کد در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار لینگو توسعه داده‌شده است. لازم به توضیح است که دلیل توسعه این کد در محیط برنامه‌نویسی لینگو علاوه بر پیشینه مشخص این نرم‌افزار در صحت نتایج، استفاده از توانایی‌های آن برای نوشتن قیود مدل بوده است. برای توسعه مدل در محیط نرم‌افزار لینگو باوجود این که مسئله پیش رو ۳۰۰ متغیر تصمیم و ۹۰۰ قید داشت، ولی مدل توسعه داده شده با حجم کد نویسی کمتری نسبت به کد نویسی انجام‌شده در محیط متلب برای الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات انجام گرفت.

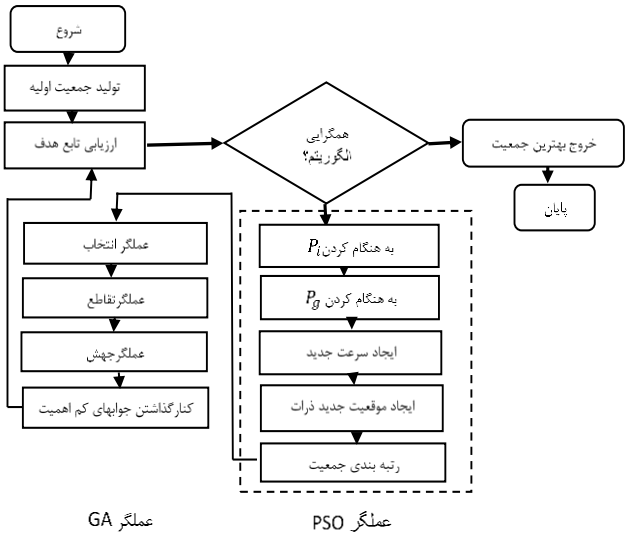
بهبود عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات توسط ترکیب با الگوریتم ژنتیک

توانمندی الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در حل مسائل پیچیده و مختلف بارها به اثبات رسیده است. به‌هرحال، هرکدام از این دو روش دارای نقاط ضعف و قوتی هستند. مقایسه بین الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک توسط شی و ابرهارت (۱۹۹۸) صورت گرفته و با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط آن‌ها، پیشنهاد کردند که با ترکیب این دو الگوریتم مدل به‌دست‌آمده تبدیل به مدلی با کارایی قوی در حل مسائل و ایجاد یک فضای جستجوی خوب خواهد شد. در این تحقیق، هدف اصلی ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک است و اساس کلی این روش بدین‌صورت است که مزایای الگوریتم ازدحام ذرات به همراه عملگرهای بسیار سودمند الگوریتم ژنتیک (جهش، تقاطع و ترکیب)، الگوریتم ترکیبی را به وجود می‌آورند که انتظار می‌رود از دقت بیشتری برخوردار باشد. فرآیند ترکیب الگوریتم های مورد اشاره برای بهینه‌سازی بهره برداری از مخازن سدها در شکل ۲ ترسیم شده است (شی و ابرهارت، ۱۹۹۸). یکی از مزایای الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک، ساده بودن و کم بودن پارامترهای آن نسبت به الگوریتم ژنتیک است. تفاوت واضح دیگر توانایی در کنترل همگرایی به جواب بهینه می‌باشد. نرخ عملگرهای جهش و تقاطع می‌تواند به شیوه بسیار مناسبی کمک به همگرایی الگوریتم ژنتیک کند؛ اما این عملگرها با عملگر استهلاک[1]، وزن سرعت در الگوریتم ازدحام ذرات متفاوت است و در واقع با کاهش اثر این وزن طی تکرارهای متوالی، باعث افزایش همگرایی الگوریتم می‌شود. یکی از مشکلات اساسی الگوریتم ازدحام ذرات همگرایی زودرس این روش است که این همگرایی لزوماً رسیدن به جواب بهینه نمی‌باشد، برای جلوگیری از این اتفاق، موقعیت ذرات و همچنین بهترین ذره[2]، باید تغییر کند و تغییر این موقعیت از طریق همان ترکیب با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. عملگرهای بسیار کارآمد الگوریتم ژنتیک، عملگر جهش و تقاطع می‌باشند که با به کار گرفتن عملگر تقاطع اطلاعات بین دو ذره از جمعیت مبادله می‌شوند و بدین ترتیب ذره موردنظر می‌تواند به یک نقطه جدید در فضای تصمیم

[1] Damping

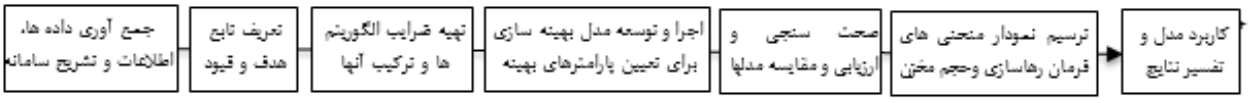
[2] Best Bit

منتقل شود. هدف از به کار بردن دومین عملگر مورد نظر (جهش) افزایش گوناگونی و ایجاد تنوع در جمعیت و نهایتاً جلوگیری از رسیدن به جواب بهینه موضعی می‌باشد. باوجود این که رسیدن به جواب بهینه در مسائل بهینه‌سازی مهم می‌باشد، ولی همواره افزایش سرعت این الگوریتم‌ها از اهداف اصلی توسعه‌دهندگان روش‌های نوین بهینه‌سازی بوده است. در واقع رسیدن به جواب بهینه تنها معیار ارزیابی نمی‌باشد، از این‌رو، مقایسه سرعت الگوریتم‌ها دررسیدن به جواب بهینه، به‌عنوان یکی از معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های به‌کاررفته در این تحقیق، در نظر گرفته‌شده است (زارعی و لاله زری، ۲۰۲۲). نتایج مدل‌سازی‌های انجام گرفته از لحاظ سرعت رسیدن به جواب بهینه در جدول (٦) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل‌سازی از طریق الگوریتم ترکیبی، سریع‌تر به بهترین جواب رسیده است و الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرارگرفته‌اند.



شکل ۲- فرآیند ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک برای استفاده در بهینه‌سازی بهره‌برداری مخازن سدها

مدل مفهومی بهینه‌سازی بهره برداری از مخزن سدعلویان برای تعیین پارامترهای بهینه از قبیل حجم آب رهاسازی و حجم مخزن مطابق فلوچارت شکل ۳ صورت می گیرد.



شکل ۳- مدل مفهومی بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد علویان

تابع هدف

برای استفاده از یک مدل بهینه‌سازی در حل یک مسئله خاص، باید متغیر تصمیم، تابع هدف و قیود را برای مسئله موردنظر تعریف کرد. در مسئله بهره‌برداری از مخزن سد، متغیر تصمیم ممکن است حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی S_t ،یا میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره زمانی R_t، باشد (معینی و افشار، ۲۰۰۷).

در این تحقیق برای حل مسئله بهره‌برداری بهینه سد علویان، میزان رهاسازی از این مخزن به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته‌شده است و پس از تأمین صددرصدی نیازهای شرب و صنعت و محیط‌زیست، تابع هدف کمینه‌سازی میزان اختلاف تقاضا و رهاسازی

صـــرفاً برای کشـــاورزی اســـت که مطابق با رابطه (۳) (کارآموز و همکاران، ۲۰۰۶) تعریف می‌شود.

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^{n=300} \left(\frac{R_t - D_t}{D_{max}}\right)^2 \qquad (۳)$$

R_t مقدار آب رهاشده صرفاً برای کشاورزی در دوره زمانی t، D_t مقدار تقاضا برای کشاورزی در دوره زمانی t، D_{max} بیشـینه میزان تقاضـای کشـاورزی در طول کل دوره و Z تابع هدف مسـئله بهینه‌سـازی می‌باشد.

در مسائل بهینه‌سازی، قیدها یکی از ارکان اصلی هستند که در این مسائل، محدوده جواب‌های شدنی را تعریف می‌کند. قیود مربوط به بیلان آب در مخزن که مهم‌ترین آن‌ها رابطه پیوستگی است در این معادله، پارامترهای ورودی معادله شامل حجم آب ورودی، حجم بارش به سطح مخزن و پارامترهای خروجی شامل (سرریز از مخزن و رهاسازی برای مصارف کشاورزی، شرب، صنایع و محیط‌زیست) و نشت و نفوذ و تبخیر می‌باشد و بر اساس معادله (٤) استوار است. با توجه به تجربه و نظریه کارشناسان و متخصصین بهره‌برداری سدها، یک حجم آب در اثر بارش به‌صورت ورودی وارد مخزن سد می‌شود و یک حجم آبی در اثر نشت و نفوذ از بدنه سد و یا از طریق نفوذ از مخزن سد خارج می‌شود، لذا به دلیل پیچیدگی محاسبات آن‌ها و کمتر بودن مقادیر سالانه آن‌ها، این دو پارامتر باهم تهاتر شده و از معادلات پیوستگی حذف گردیده است؛ بنابراین پارامتر تلفات در این معادله فقط تبخیر از سطح مخزن می‌باشد که در معادله بیلان رابطه(٤) لحاظ شده است.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t - E_t - Spill_t - DM_t - DE_t \quad (t = 1, \dots, n) \qquad (٤)$$

در رابطه (٤)، S_t حجم مخزن در ابتدای دوره t و S_{t+1} حجم مخزن در انتهای دوره t اســت، Q_t حجم آب ورودی به مخزن، E_t حجم تبخیر از سطح مخزن در ماه t، $Spill_t$ حجم ســـرریز از مخزن در ماه t، DM_t مجموع حجم نیاز شـرب و صـنعت در ماه tام، DE_t حداقل حجم حقابه زیسـت‌محیطی رودخانه در ماه tام، می‌باشـد. از طرفی میزان رهاسـازی از مخزن سـد در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشـتر باشـد به‌عبارت‌دیگر همان‌طور که در معادله(٥) مشخص است، رهاسازی در هر بازه R_t باید بین میزان رهاسـازی کمینه R_{min} و میزان رهاسـازی بیشـینه R_{max} باشـد و از طرفی میزان حجم مخازن در هر دوره S_t نیز مطابق با رابطه (٦) باید بین حجم کمینه S_{min} و حجم بیشینه مخزن S_{max} باشد.

$$R_{min} \le R_t \le R_{max} \qquad (٥)$$

$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \qquad (٦)$$

برای محاسبه حجم تبخیر از سطح مخزن با داشتن حجم مخزن در واحد ماهانه طبق رابطه (۷) سطح مخزن بدست آمده است.

$$A_t = -0.0002533\, S_t^{\,2} + 0.05197 S_t + 0.3806 \qquad (۷)$$

که در آن، A_t مساحت دریاچه سد علویان درماه t ام به کیلومترمربع و S_t حجم آب ذخیره شده در مخزن سدعلویان در بازه زمانی به میلیون مترمکعب می‌باشد. در سد علویان روزانه از طریق تشت تبخیر، مقدار ارتفاع تبخیر بدست می آید (این آمار از شرکت آب منطقه ای اخذ شده است) بنابراین با جایگذاری مجموع ارتفاع تبخیر ماهانه در رابطه (۸) حجم تبخیر از سطح مخزن سد به صورت ماهانه تخمین زده می شود.

$$E_t = K \,.\, E_{pan} \,.\, A_t \qquad (۸)$$

در این معادله E_t حجم تبخیر از سطح آزاد آب مخزن سد E_{pan} ارتفاع تبخیر از تشت و K ضریب ثابتی است که مقدار آن برای تشت تبخیر استاندارد کلاس(A امریکایی)

بین 0.58 تا 0.78 (به طور متوسط 0.7) می باشد. ضریب تشت تبخیر برای ماه های مختلف سال متفاوت است که مقدار ضریب تشت در ماه های زمستان کم و در ماه های گرم سال به دلیل جذب حرارت خورشید بیشتر می شود.

جهت بررسی نحوه‌ی عملکرد این روش‌ها از اطلاعات سد علویان استفاده‌شده است. حجم حداقل و حداکثر مخزن به ترتیب معادل ۷ و ۵۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. جهت مدل‌سازی از اطلاعات ۳۰۰ دوره ماهیانه بهره گرفته‌شده است. همان‌طوری که اشاره گردید جواب‌هایی که به دست می‌آید می‌بایست در قیود صدق کنند. در صورت نقض هر یک از قیود اصلی ذکرشده در روابط (۵) و (٦)، متناسب با میزان نقض شدن قید مثلاً در اثر بارش و افزایش رواناب‌های ورودی به مخزن و سرریز از مخزن، یک پنالتی نسبتاً بزرگ در تابع هزینه مربوط به آن در نظر گرفته می‌شود، در مسئله بهره‌برداری از مخزن سد، بایستی این مطلب را در نظر داشت که در هیچ‌کدام از قسمت‌های دوره در نظر گرفته‌شده نباید مقادیر به‌دست‌آمده برای رهاسازی و حجم ماهانه مخزن، از حدود در نظر گرفته‌شده تخطی داشته باشد، بنابراین در زمان در نظر گرفتن قیود زنجیرهای استفاده از ضریب جریمه مطابق رابطه (۹) نیز الزامی است و در این مقاله به شرح روابط ذیل در نظر گرفته‌شده است (دشتی و همکاران، ۲۰۱۷).

$$\begin{aligned} &\text{If } S_t < S_{min} \\ &\text{Penalty=Penalty} + \left(\frac{S_t - S_{min}}{S_{min}}\right)^2 \\ &\text{If } S_t > S_{max} \\ &\text{Penalty=Penalty} + \left(\frac{S_t - S_{max}}{S_{max}}\right)^2 \end{aligned} \qquad (۹)$$

در این تحقیق برای حل تابع هدف از الگوریتم های فرا ابتکاری استفاده شده است و این الگوریتم ها در بهینه سازی ساختار مشابهی دارند. در الگوریتم ژنتیک برای حل تابع هدف دو گزینه موقعیت جمعیت و تابع هدف در نظرگرفته شده است، در حالی که در الگوریتم ازدحام ذرات جمعیت علاوه برموقعیت ذره و تابع هدف، خاصیت های مهمی مثل سرعت، موقعیت بهینه و تابع هدف بهینه نیز در نظر گرفته شده است، همینطور بهینه سازی با کمینه سازی تابع هدف و نیز به کارگیری الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به کمک نرم افزار متلب انجام شده است و عملکرد این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه شده و برای بهبود نتایج از ترکیب الگوریتم ها به عنوان نو آوری تحقیق استفاده شده است.

معیارهای ارزیابی

به‌منظور امکان ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های به کار گرفته‌شده در این پژوهش از سه شاخص قابلیت اعتماد، آسیب‌پذیری و پایداری مخزن استفاده می‌شود که در ادامه به‌اختصار شرح داده می‌شود.

شاخص قابلیت اعتماد[1]

احتمال اینکه سیستم در طول دوره‌ی عملکرد خود در حالت بهره‌برداری نرمال (عدم شکست) قرار گیرد را ارائه می‌دهد. درواقع این پارامتر متمم احتمال شکست مخزن می‌باشد و در حالت کلی می‌توان گفت که درصد اعتمادپذیری یا قابلیت اعتماد بیانگر درصدی از زمان است که مخزن قادر به تأمین تقاضا می‌باشد که به صورت رابطه (۱۰) تعریف می گردد (رزاقی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\delta = 100\left(1 - \frac{f}{T}\right) \qquad (۱۰)$$

که در آن f تعداد کل دوره‌های شکست، T تعداد کل دوره‌های بهره‌برداری و δ قابلیت اعتمادپذیری می‌باشد.

شاخص آسیب‌پذیری[2]

بیانگر شدت کمبود در طی دوره شکست می‌باشد که به‌صورت نسبت کل آب عرضه‌شده در طول دوره‌های شکست به‌کل تقاضا در طول همان دوره‌های

[1] Reliability index
[2] Vulnerability index

که شکست اتفاق افتاده است، می‌باشد که به‌صورت رابطه (۱۱) تعریف می‌گردد (رزاقی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\eta = \frac{\sum R_t^* - \sum R_t}{\sum R_t^*} \qquad (۱۱)$$

که در آن R_t^* تقاضای موردنظر در طول tامین دوره شکست، R_t مقدار آب رهاشده از سیستم در طول tامین دوره شکست، f تعداد کل دوره‌های شکست می‌باشد. و η شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد.

شاخص پایداری[1]

با توجه به عدم وجود رابطه‌ی همگرایی بین شاخص‌های عملکرد مخزن در برخی بررسی‌ها، لاکس شاخص پایداری را که ترکیبی از سه شاخص فوق بود را معرفی نمود. گزینه‌ای که بیشترین شاخص پایداری را داشته باشد به‌عنوان گزینه بهینه معرفی می‌شود. شاخص پایداری از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود (رزاقی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\varphi = \delta\gamma(1-\eta) \qquad (۱۲)$$

که در آن φشاخص پایداری، δ شاخص اعتمادپذیری، γ شاخص سرعت برگشت‌پذیری و η شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد. رابطه شاخص سرعت برگشت‌پذیری از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$\gamma = {}^{1}\!/_{f}\!/_{f_s} \qquad (۱۳)$$

که در آن، f_s تعداد دوره‌های شکست به‌طور پیوسته و f تعداد کل دوره‌های زمانی شکست می‌باشد.

نتایج و بحث

در این تحقیق مسئله بهره‌برداری بهینه است و درواقع هدف از انجام این مطالعه تهیه مدلی به‌منظور بهره‌برداری بهینه و به هنگام مسئله سد علویان است. با توجه به اینکه مدل‌های بهینه‌سازی معمولاً تصمیمات خود را بر روی‌داده‌های دوره آماری گذشته می‌گیرند، در این پژوهش سعی شده با استفاده از داده‌های آماری در دسترس یک الگوی تصمیم‌گیری در خصوص بهره‌برداری بهینه از مخازن در زمان‌های آینده توسعه داده شود. این مهم با استفاده از مدل ترکیبی که از مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و ازدحام جمعیت تشکیل‌شده، محقق گردیده است. در این تحقیق در گام اول مقادیر بهینه رهاسازی و حجم مخزن محاسبه‌شده است و از آنجائی که تغییرات مقادیر رهاسازی‌ها و حجم مخزن در طول سال آبی در ارتباط باهم هستند و عوامل بهره‌برداری باید اثرات آن‌ها را در هم ببینند و به عبارتی در بهره‌برداری از مخازن سدها، بر اساس دستورالعمل‌های بهره‌برداری، آب رهاسازی شده از مخزن از منحنی‌های فرمان بهره‌برداری تنظیم‌شده، تبعیت می‌کند. در این شرایط بهره‌بردار می‌تواند نقشی اساسی را در تصمیماتش در مورد رهاسازی آب ایفا کند. لذا برای بهره‌برداری بهینه و تصمیم گیری در مدیریت منابع آب پشت مخازن سدها، می باید منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم مخزن ترسیم گردند، کما اینکه در بدو ساخت و بهره‌برداری از مخزن سد نیز منحنی‌های فرمان‌بر اساس دستورالعمل‌های بهره‌برداری تدوین‌شده و می‌بایستی در طول دوران بهره‌برداری به‌روزرسانی گردند.

جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و ترکیب آن‌ها در یک شرایط کاملاً یکسان با تعداد جمعیت برابر ۵۰ در محیط نرم‌افزار متلب کد مربوطه نوشته‌شده و اجرا گردید. بدین منظور در این تحقیق، روش‌های بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های GA و PSO و ترکیب آن‌ها بوده و با یکدیگر مقایسه شده و از بین آن‌ها، روش ترکیب به‌عنوان روش مناسب برای محاسبه پارامترهای بهینه بهره برداری جهت ترسیم منحنی‌های فرمان پیشنهادی به کار گرفته‌شده است. دو معیار برای مقایسه در نظر گرفته‌شده است. اولین سنجه

[1] Stability index

مورداستفاده، مقایسه مقادیر بهینه به‌دست‌آمده برای تابع هدف و دومین سنجه به‌کاررفته در این تحقیق، مقایسه سرعت رسیدن به جواب بهینه می‌باشد که در ادامه آورده شده است. برای تحلیل و بررسی عملکرد مخزن در بلندمدت و کوتاه‌مدت جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد علویان و ترسیم منحنی‌های فرمان در یک سال آبی آینده (۱۲ گام بعد) و ارائه نتایج آن در سه بخش مجزا تبیین شده است.

تحلیل مدل‌سازی در یک دوره آماری بلندمدت (۲۵ ساله)

به‌منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های GA و PSO و GA-PSO در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان، نتایج هر یک از الگوریتم‌ها با یکدیگر و روش برنامه‌ریزی غیرخطی مورد مقایسه قرار گرفت. برای بهبود نتایج حاصل از مدلسازی انتخاب دقیق متغیرهای الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و ترکیب آن‌ها ازجمله اندازه جمعیت، تکرار، احتمال تقاطع، احتمال جهش و ضرایب C1، C2 و W در زمان رسیدن مدل به جواب بهینه تأثیر زیادی دارد، از این‌رو آنالیز حساسیت پارامترهای مدل الگوریتم‌های مذکور به‌منظور تعیین بهترین مقادیر با کد نویسی در محیط برنامه Matlab و تغییر مقادیر آن‌ها و با روش سعی و خطا انجام شد. به عنوان مثال اندازه جمعیت زیاد اگرچه باعث حفظ تنوع بیشتر و احتمال رسیدن به جواب بهینه را افزایش می‌دهد اما از طرفی باید مدت‌زمان بیشتری صرف بهینه‌سازی مسئله گردد. به‌منظور انجام آنالیز حساسیت اندازه جمعیت، مقدار اولیه آن از ۱ شروع‌شده و تا ۱۰۰ افزایش داده شد، مقدار تابع هدف نیز به‌تبع آن کاهش یافت. تا جمعیت ۵۰، روند کاهشی تابع هدف چشمگیر بوده، اما با افزایش بیشتر اندازه جمعیت تغییر چشمگیری در مقدار تابع هدف مشاهده نشد و همین‌طور در شکل‌های ٤ الی ٥ ملاحظه می‌گردد الگوریتم GA-PSO در تکراری کمتر از ۱۰۰ به جواب بهینه همگرا شد، درحالی‌که در الگوریتم‌های GA و PSO در تکراری کمتر از ۷۰۰ و ۵۰۰ به جواب بهینه همگرا شده است با مقایسه سه روش الگوریتم های ژنتیک، ازدحام ذرات و ترکیب آنها، نشان داد جواب بهینه روش ترکیب آنها از تغییرات کمتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است و در تعداد اجرای کمتری به همگرایی رسیده است و همچنین از نظر زمان اجرا، الگوریتم ترکیبی نیاز به زمان کمتری دارد. با مطالعه و آنالیزحساسیت مقادیر پارامترهای الگوریتم ها، اثرات متقابل آنها را نسبت به هم مورد ارزیابی قرارداد و خلاصه نتایج بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های مورداشاره در جدول (٦) ارائه گردید.

جدول ۶- مقادیر انواع پارامترهای بکار رفته در کد نویسی الگوریتم‌های فرا ابتکاری در متلب

GA		PSO		GA-PSO			
Item	Amounts	Item	Amounts	Item	Amounts	Item	Amounts
Number of population	50	Number of particles	50	Population	50	C1	۱.۵
The number of repetitions	700	Number of repetitions	500	Number of repetitions	100	C2	۱.۵
Intersection probability (percentage)	65	C1	۱.۵	Intersection probability (percentage)	70	W	Between 0.4 and 0.7
Mutation probability (percentage)	25	C2	۱.۵	Mutation probability (percentage)	30		
Variable number	300	W	Between 0.4 and 0.7	Lambda	0.729		

مقدار تابع هدف و شاخص‌های عملکرد مخزن حاصل از اجرای الگوریتم‌ها بر روی تابع هدف در کل دوره آماری (۳۰۰ ماه) در جداول ۷ و ۸ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود مقدار

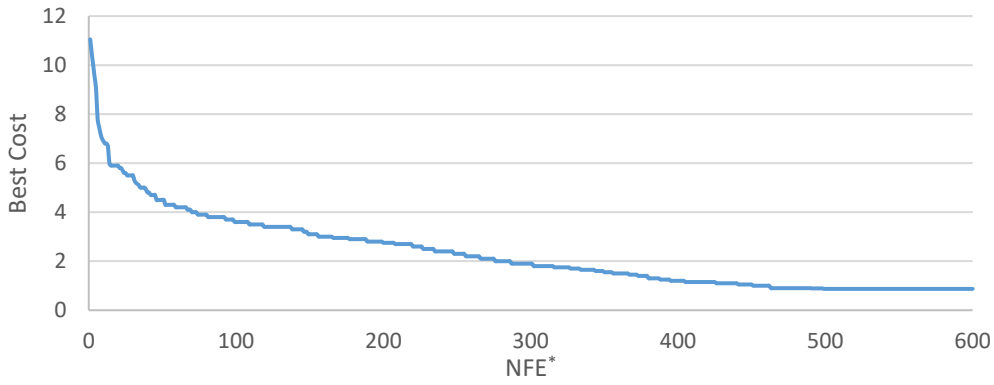
تابع هدف در الگوریتم ترکیبی ۰/۶۲ به‌دست‌آمده درحالی‌که در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب برابر با ۱/۰۸ و ۰/۸۷ و روش برنامه‌ریزی غیرخطی جواب بهینه محلی ۰/۹۱ می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر جدول ۷ متوسط گیری شده از ۱۰ بار اجرای مدل‌ها به‌دست‌آمده است. با توجه به شاخص‌های عملکرد مخزن، الگوریتم ترکیبی توانسته است ۸۵ درصد و الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۸۲ درصد و ۷۸ درصد و روش برنامه‌ریزی غیرخطی ۸۰ درصد از نیاز آبی کشاورزی پایین‌دست سد علویان را تأمین کند. همچنین شاخص پایداری برای الگوریتم‌های GA، PSO، GA-PSO و NLP به ترتیب برابر ۹، ۱۱، ۱۲ و ۱۰ می‌باشد.

با تحلیل نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات شاخص پایداری نسبت به سایر شاخص‌ها کمتر بوده است، ولی دامنه تغییرات شاخص اعتمادپذیری در مقایسه با سایرشاخص‌ها زیاد بود، بر همین اساس، قابلیت اطمینان بیشتری برای ارزیابی وضعیت سیستم را دارد. رفتار سیستم مخازن به شاخص‌های عملکرد سیستم وابسته بوده و با کاهش ضریب اعتمادپذیری یا افزایش ضریب آسیب‌پذیری مقدار کمبود تأمین آب کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین برای کاهش کمبودها یکی از روش‌ها کاهش تقاضای کشاورزی و همچنین استفاده از روش‌های بهینه و مدیریتی می‌باشد.

به طور کلی با بررسی عملکرد هر سه الگوریتم نتایج قابل‌قبول بوده و با دقت مناسبی توانسته‌اند مقدار نیاز پایین‌دست سد علویان را تأمین کنند، بااین‌حال، الگوریتم GA-PSO نسبت به الگوریتم‌های GA و PSO بهتر عمل کرده و توانسته مقادیر نیاز را با اطمینان بیشتری تأمین کند. مجموع کل کمبودها در جدول شماره ۸ در طول کل دوره ۲۵ ساله بهره‌برداری برای الگوریتم‌های GA، PSO و GA-PSO از مجموع تقاضای کل (کشاورزی) ۱۳۳۱ میلیون مترمکعب به ترتیب ۳۸ و ۳۳/۷ و ۲۷/۱۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. الگوریتم GA-PSO به‌اندازه ۱۰/۸۷ میلیون مترمکعب بیشتر از الگوریتم GA و ۶/۵۷ میلیون مترمکعب بیشتر از الگوریتم PSO توانسته است نیازها را برآورده سازد.

در این تحقیق برای بهینه سازی با کمینه سازی تابع هدف و نیز به کارگیری الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به کمک نرم افزار متلب انجام شد و برای بررسی عمکرد این دو الگوریتم با یکدیگر نتایج حاصل از تعداد توابع ارزیابی شده[1]

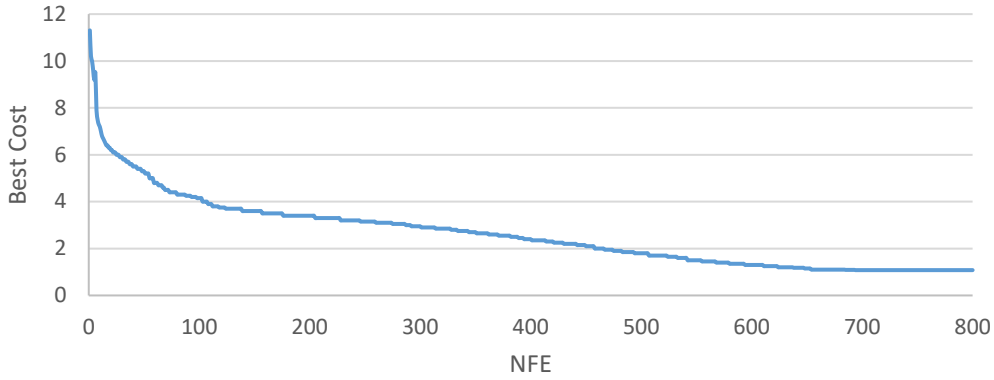
هر دو الگوریتم با هم مقایسه گردید و نشان داد که سرعت همگرایی الگوریتم ازدحام ذرات در یافتن کمترین تابع هزینه نسبت به الگوریتم ژنتیک بالاتر است و همینطور سرعت همگرایی الگوریتم ترکیبی در مقایسه با دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک بیشتر می باشد. نتایج در نمودارهای ٤، ٥ و ٦ ارائه شده است.



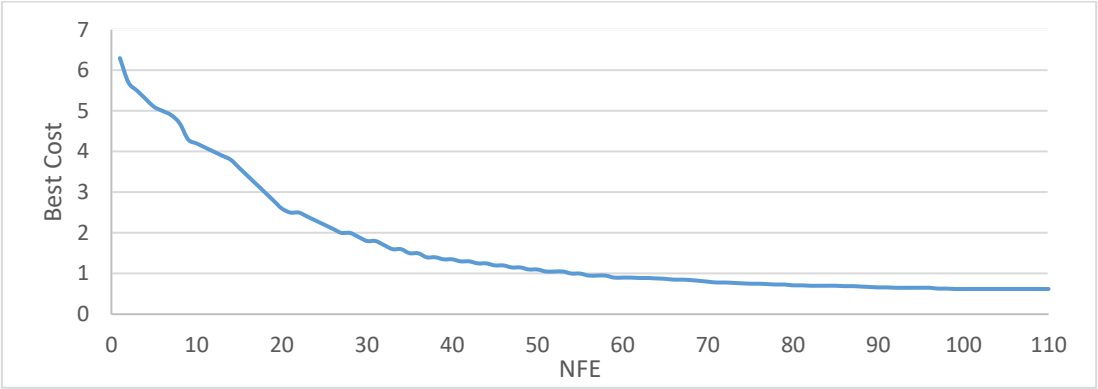
[1] Number of Evaluated Functions

شکل ۴- تغییرات تابع هدف با تعداد تکرار متفاوت در بهترین اجرای الگوریتم ازدحام ذرات-بلندمدت

* مفهوم (NFE): تعداد توابع ارزیابی شده است.



شکل ۵- تغییرات تابع هدف با تعداد تکرار متفاوت در بهترین اجرای الگوریتم ژنتیک-بلندمدت



شکل ۶- تغییرات تابع هدف با تعداد تکرار متفاوت در بهترین اجرای الگوریتم ترکیبی-بلندمدت

با مقایسه نتایج هر دو الگوریتم با نتایج الگوریتم ترکیبی در جداول ۷ و ۸، نشان می دهدالگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک بهتر عمل کرده و همینطور الگوریتم ترکیبی در مقایسه با دو الگوریتم توانسته مقادیر تابع هدف را به مقدار بهتری کمینه نماید. در واقع مقادیرنیاز مصارف پایین دست سد علویان را با اطمینان بیشتری تامین نماید.

جدول ۷- مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه برای انواع روش‌ها - تعداد جمعیت یکسان

Ave	Max	Min	Number of executions										Number of Repetition	Types of Methods
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
1.08	1.19	1.0	1.14	1.0	1.07	1.19	1.03	1.06	1.13	1.09	1.08	1.08	700	GA
0.87	0.93	0.78	0.86	0.87	0.93	0.85	0.85	0.84	0.89	0.78	0.88	0.92	500	PSO
0.62	0.65	0.59	0.65	0.64	0.6	0.62	0.62	0.59	0.62	0.6	0.59	0.64	100	GA-PSO
0.91	1.03	0.78	0.82	1.01	0.90	0.88	0.78	0.93	0.97	1.03	0.96	0.82	-	NLP

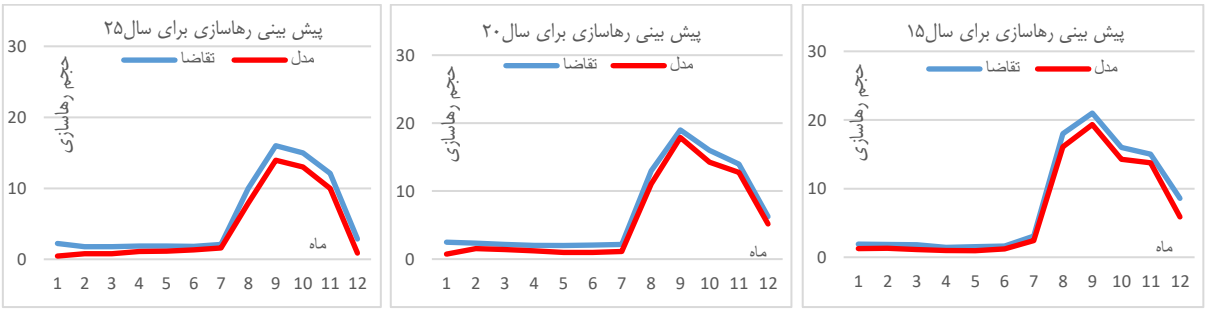
جدول ۸- مقدار تابع هدف و شاخص‌های عملکرد حاصل از اجرای انواع الگوریتم‌ها در بهره‌برداری از مخزن سد علویان

Stability index	Vulnerability (Percent)	Volume Reliability (Percent)	Total Deficiencies (MCM)	Objective Function	Methods
9	28	78	38	1.08	GA
11	25	82	33.7	0.87	PSO
12	23	85	27.1	0.62	GA-PSO
10	27	80	35.2	0.91	NLP

تحلیل مدل‌سازی در دوره‌های آماری ۱۵ ساله، ۲۰ ساله و ۲۵ ساله

در این تحقیق جهت انجام مدل‌سازی از سری تاریخی داده‌های آماری رهاسازی، جریان آب ورودی به مخزن، تبخیر از سطح مخزن، نیازهای واقعی پایاب سد، حجم مخزن در طول ۳۰۰ ماه (۲۵ سال) استفاده گردید، ابتدا سری زمانی داده‌های موجود پس از آماده‌سازی به سه دسته آماری ۱۵ سال (۱۸۰ ماه)، ۲۰ سال (۲٤۰ ماه) و ۲۵ سال (۳۰۰ ماه) مرتب گردید، سپس در گام اول از تعداد داده‌های موجود ۱۵ سال به ترتیب ۱٤ سال برای انجام مراحل آموزش و یک سال آخر برای صحت سنجی یا به‌عنوان سال آماری پیش‌بینی وهمینطور در گام دوم از تعداد داده‌های موجود ۲۰ سال به ترتیب ۱۹ سال برای انجام مراحل آموزش و یک سال آخر برای صحت سنجی یا به‌عنوان سال آماری پیش‌بینی در نظر گرفته شد و درنهایت در گام سوم از تعداد داده‌های موجود ۲۵ سال به ترتیب ۲٤ سال برای انجام مراحل آموزش و یک سال آخر برای صحت سنجی یا به‌عنوان سال آماری پیش‌بینی در نظر گرفته شد. مدل برای داده‌های گام اول تا سوم به‌صورت جداگانه اجرا گردید و نتایج سال‌های آخر به‌عنوان رهاسازی پیش‌بینی با داده‌های مشاهداتی (بهره‌برداری شده) سال‌های آخر مقایسه و تحلیل گردید. شکل ۷ مقادیر تقاضای رهاسازی مشاهداتی (بهره‌برداری شده) با مقادیر رهاسازی محاسباتی توسط الگوریتم ترکیبی باسیاست فعلی سد علویان را در سال های آخر ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ نشان می‌دهد. در شکل ۷ مشاهده می‌شود در سه‌گام برای سال‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ پس از بهره‌برداری، میزان رهاسازی بهینه از طریق الگوریتم ترکیبی برای سال‌های مدنظر محاسبه‌شده است. در گام اول ۹۲ درصد، در گام دوم ۸۷ درصد و در گام سوم ۸۵ درصد از نیازهای مربوط به تقاضاها تأمین‌شده است. با تحلیل و ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های اولیه دقت محاسبات زیاد بوده و نتایج رهاسازی حاصل از مدل محاسباتی به داده‌های مشاهداتی (بهره‌برداری شده) نزدیک بوده و به‌عنوان‌مثال پس از ۱۵ سال از بهره‌برداری توانسته ۹۲ درصد از نیازهای پایین‌دست سد علویان را تأمین نماید و هر چه سال‌های آماری زیاد بوده، دقت محاسبات کاهش‌یافته و درصد تأمین تقاضای نیازها به‌تبع آن کاهش می‌یابد، به‌عنوان‌مثال پس از ۲۵ سال از بهره‌برداری توانسته ۸۵ درصد از نیازهای پایین‌دست را تأمین نماید.

بنابراین در این تحقیق برای بهینه سازی بهره برداری از مخزن سد علویان از مدلهای داده محور استفاده شده است. توضیح اینکه مدلهای داده محور برای تحلیل، پیش بینی، و بهینه سازی از داده های موجود استفاده می کنند، این مدلها براساس داده های ورودی آموزش داده می شوند و به جای تکیه بر روابط تئوریکی مشخص، از الگوها و روابط موجود در داده ها برای بهینه سازی، پیش بینی و تصمیم گیری استفاده می کنند. باتوجه به اینکه در این تحقیق از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک و ازدحام ذرات استفاده شده است و نتایج حاصل از مدل سازی با این الگوریتم هانشان می دهد که استفاده از ترکیب این دو الگوریتم عملکرد بهتری در بهره برداری بهینه از مخزن سد علویان دارد. پس الگوریتم های ژنتیک، ازدحام ذرات و ترکیب آنها به عنوان مدلهای داده محور از داده های تاریخی مربوط به مخزن سد علویان برای بهینه سازی بهره برداری مخزن سد علویان استفاده می کنند و نتایج به دست آمده از آنها با نتایج مدلسازی در نرم افزار لینگو(به عنوان برنامه ریزی غیر خطی) مقایسه شده است.



شکل ۷- مقایسه مقادیر تقاضای رهاسازی مشاهداتی و رهاسازی به‌دست‌آمده از الگوریتم GA-PSO برای سد علویان

ترسیم منحنی فرمان‌براساس پارامترهای بهینه در ۱۲ ماه آتی

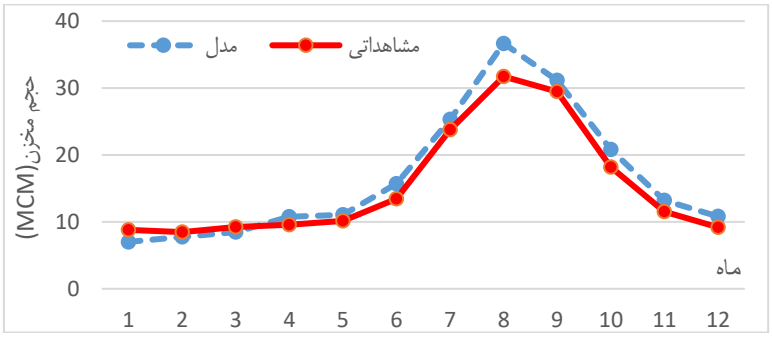
در این تحقیق علاوه بر مدل‌سازی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان، منحنی فرمان سد علویان جهت تأمین نیازهای سد برای ۱۲ ماه آتی ترسیم شده و به بهره‌بردار این امکان را ایجاد می‌کند که بهره‌بردار بتواند در هر مرحله زمانی، با توجه به مشخصات مخزن و کل حجم آب در دسترس، در خصوص میزان خروجی بهینه از مخزن سد تصمیم‌گیری نماید. بر اساس مطالعاتی که بر روی قابلیت‌های هر یک از روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی موجود انجام گرفت، چهار مدل بهینه‌سازی بر مبنای برنامه‌ریزی غیرخطی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات و ترکیب آن‌ها توسعه داده شد. با توجه به اینکه در این تحقیق بهترین نتایج برای تابع هدف در تحلیل مدل‌سازی در یک دوره آماری بلندمدت (۲۵ ساله) مربوط به الگوریتم ترکیبی بود، از نتایج این روش به‌عنوان نوآوری این تحقیق برای به دست آوردن پارامترهای منحنی‌های فرمان با در نظر گرفتن جریان آب ورودی و نیازهای ماهانه پایاب سد و حجم ذخیره استفاده نموده و برای سال ۲۶ حجم رهاسازی مطابق جدول۹ ونمودار ۹ و حجم مخزن مطابق جدول ۹ و نمودار۸ پیش‌بینی گردید. همچنین بر اساس معیارهای اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری و پایداری، الگوریتم ترکیبی GA-PSO به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد و از نتایج این مدل برای ترسیم منحنی‌های فرمان بهره‌برداری برای حجم ذخیره و رهاسازی در ماه‌های مختلف سال آتی استفاده گردید. با توجه به اینکه در زمان تحلیل نتایج این مقاله، داده‌های آماری سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲(سال ۲۶) برای حجم رهاسازی و حجم مخزن مطابق جدول ۱۰ در بهره‌برداری از مخزن سد علویان تحقق‌یافته است، لذا نتایج خروجی حجم رهاسازی که بر اساس داده‌های ورودی پیش‌بینی و حجم اولیه مخزن و سایر داده‌ها، با استفاده از الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی شده است، با داده‌های مشاهداتی تحقق‌یافته سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مقایسه گردید و نتایجی که در نمودار ۹ ارائه‌شده است، نشان از مطابقت و همگرایی مدل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ترکیبی با داده‌های تحقق‌یافته می‌باشد و همین تحلیل برای داده های مشاهداتی حجم مخزن در مقایسه با نتایج داده های حاصل از الگوریتم ترکیبی مطابق نمودار ۸ نیز صادق می باشد.

جدول ۹- داده‌های مدل رهاسازی و حجم مخزن سد علویان (تا ۱۲ ماه بعد) برای تأمین اهداف مصارف (الگوریتم ترکیبی)- (MCM)

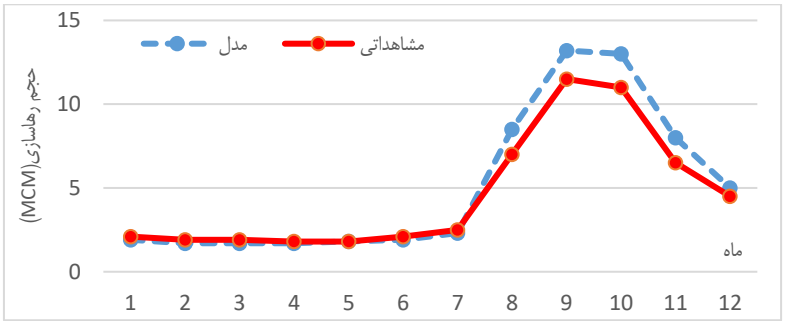
	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September
Release	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	2.3	8.5	13.5	13	8	5
Reservoir	7	7.7	8.5	10.8	11.1	15.7	25.3	36.7	31.2	20.8	13.2	10.8

جدول ۱۰- داده‌های مشاهداتی رهاسازی وحجم مخزن سد علویان در سال آبی(۱۴۰۲-۱۴۰۱) برای تأمین اهداف مصارف (تحقق یافته) - (MCM)

	October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September
Release	2.1	1.9	1.9	1.8	1.8	2.1	2.4	7	11.5	11	6.5	4.5
Reservoir	8.8	8.5	9.2	9.6	10.1	13.5	23.8	31.7	29.5	18.2	11.5	9.2



شکل ۸- منحنی فرمان ماهانه پیش بینی حجم مخزن سد علویان



شکل ۹- مقایسه منحنی فرمان ماهانه پیش‌بینی رهاسازی از مخزن سد علویان با داده های مشاهداتی

با بررسی نمودارهای شماره ۸ و ۹ نشان می دهد نمودار الگوریتم ترکیبی برای حجم ذخیره مخزن سد کاملا با داده های تحقق یافته سال آبی (۱۴۰۱-۱۴۰۲) و رفتار منحنی فرمان واقعی سد علویان که در دوران ساخت سد طراحی شده و در اردیبهشت ماه نقطه پیک دارد همخوانی و مطابقت دارد. همینطور نمودار مربوط به حجم رهاسازی از مخزن سد حاصل از الگوریتم ترکیبی در فصول آبیاری که در بهره برداری واقعی سد علویان از نیمه دوم اردیبهشت ماه شروع و در نیمه اول شهریورماه خاتمه می یابد، در مقایسه با داده های مشاهداتی همخوانی و مطابقت خوبی دارد. منحنی های فرمان ترسیم شده به مدیر سد قبل از شروع فصل آبیاری برای تامین نیازهای آبی در یک سال آتی ، این امکان را فراهم می نماید که برای رهاسازی بهینه در هر یک از ماه های آتی تصمیم گیری کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از انجام این تحقیق، تهیه مدلی به‌منظور بهره‌برداری بهینه و به هنگام مسئله سد علویان است و با استفاده از داده‌های آماری در دسترس یک الگوی تصمیم‌گیری در خصوص بهره‌برداری بهینه از مخازن در زمان‌های آینده توسعه داده شد. این مهم، با استفاده از مدل ترکیبی که از مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات تشکیل‌شده، محقق گردیده است. با توجه به اینکه حجم رهاسازی در ارتباط با حجم ذخیره مخازن سدها بوده و بایستی تواماً و باهم بهینه‌سازی گردند و عوامل بهره‌برداری تأثیر آن‌ها را در مدیریت مخزن در

نظر گیرند، لذا در این تحقیق تلاش گردید، پس از معرفی الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، عملکرد این الگوریتم‌ها به‌تنهایی و در حالت ترکیب (GA-PSO) باهم در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد علویان با نتایج مدل‌سازی برنامه ریزی غیر خطی مقایسه و منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم مخزن برای کمک به عوامل بهره‌برداری مخزن سد علویان در تصمیم‌گیری ترسیم گردند. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی در بهره‌برداری بهینه از مخزن، از شاخص‌های عملکرد مخزن شامل اطمینان‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری استفاد ه‌شد. جواب بهینه مدل‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب با ۱/۰۸ و ۰/۸۷ و الگوریتم ترکیب آن‌ها با مقدار ۰/۶۲ و روش برنامه‌ریزی غیرخطی جواب بهینه محلی ۰/۹۱ می‌باشند، نتایج به‌دست‌آمده از جواب‌های بهینه نشان دادند که مدل الگوریتم ترکیبی در مقایسه با سایر روشها در مورد سیاست بهره‌برداری از مخزن نتیجه مطلوب‌تری داشته و همبستگی بهتری از خود نشان می‌دهد و در این بین الگوریتم ترکیبی ۸۵درصد، الگوریتم ازدحام جمعیت ۸۲درصد و الگوریتم ژنتیک ۷۸درصد از نیاز آبی کشاورزی پائین دست سدعلویان را در ۲۵سال گذشته توانستند در مقایسه با برنامه ریزی غیرخطی که ۸۰درصد بود، تامین کنند و از مجموع کل کمبودها در طول کل دوره ۲۵ ساله بهره‌برداری برای الگوریتم‌های GA، PSO، GA-PSO وNLP به ترتیب ۳۸، ۳۳/۷، ۲۷/۱ و۳۵/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد. الگوریتم GA-PSOبه‌اندازه ۱۰/۸۷ میلیون مترمکعب بیشتر از الگوریتم GA و ٦/٥٧ میلیون مترمکعب بیشتر از الگوریتم PSO توانسته است نیازها را برآورده سازد. بر این اساس حالت بهینه بهره‌برداری از مخزن سد علویان با استفاده از الگوریتم ترکیبی به‌دست‌آمده، برای ترسیم منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم مخزن برای ماه‌های آتی (۱۲ ماه بعد) ارائه گردید. برای صحت سنجی نتایج خروجی حاصل از مدل‌سازی برای رهاسازی بهینه‌شده با استفاده از الگوریتم ترکیبی با داده‌های مشاهداتی تحقق‌یافته سال آبی ۱٤۰۲-۱٤۰۱ مقایسه گردید و نتایج مطابقت و همگرایی مدل بهینه‌سازی با داده‌های تحقق‌یافته را نشان می‌دهد.

در نهایت، برای مطالعات آینده و توسعه این تحقیق، پیشنهاد می‌شود با توجه به وجود مدل‌های متنوع و جدید دیگر، در راستای افزایش دقت مدل‌سازی، از توانایی سایر روش‌هایی مثل الگوریتم تکامل تفاضلی، الگوریتم فرا ابتکاری CBO و یا منطق فازی برای بهینه سازی بهره برداری از مخازن سدها و استخراج منحنی های فرمان بهینه و مقایسه با روش های مرسوم تعیین منحنی فرمان از جمله SOP استفاده گردد و تأثیر روش اعمالی جدید بر روی دقت مدل‌سازی‌ها با مطالعه حاضر مقایسه گردد. همچنین توصیه می‌شود برای رهاسازی بهینه از مخزن سد در ۱۲ گام بعدی، به‌جای استفاده از متوسط آمار جریان ورودی سال‌های گذشته، از مدل‌سازی پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد در ۱۲ گام بعدی با استفاده از هوش مصنوعی مثل ANN، ANFIS، SVR و با در نظر گرفتن ترکیب آنها به عنوان ورودی مدل بهینه‌سازی استفاده گردد. از طرفی با توجه به اینکه جریان ورودی ماهانه به مخزن سدها و تقاضای مصارف کشاورزی از پارامترهای حساس برای مدل بهینه سازی می‌باشند. لذا به خاطر اینکه جریان ورودی ماهیت تصادفی داشته و غیر قابل تغییر است، لذا آنالیز حساسیت صرفا براساس تقاضای کشاورزی با دو سناریوی محتمل (۱۰درصد کمتر ازتقاضا و ۱۰ درصد بیشتر از تقاضا) در نظر گرفته و آنالیز حساسیت انجام شود.

منابع مورد استفاده

Ahmadian Far A and Adib A, 2015. Optimization of hydroelectric energy utilization of dams using the hybrid method of particle swarm algorithm and genetic algorithm (case study: Dez Dam). Journal of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran 38(3): 63-71, (In Persian with English abstract).

Beiranvand B and Ashofteh PS, 2023. A systematic review of optimization of dams reservoir operation using the meta-heuristic algorithms. Water Resources Management. Springer, 37(9): 3457–3526. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03510-3

Choudhari SA, Kumbhalkar MA, Bhise DV and Sardeshmukh MM, 2022. Optimal reservoir operation policy determination for uncertainty conditions. 3c Empresa: investigación y pensamiento crítico. 3ciencias 11(2): 277–295.

Dashti R, Sattari M and Nourani V, 2017. Evaluation of the performance of the differential evolutionary algorithm in the optimal operation of the single reservoir system of Alaviyan Dam. Journal of water and soil resources protection 6(3).

Dinpashoh Y, Sattari MT, Ebrahimi S and Darbandi S, 2017. Optimum operation of reservoir using the Genetic Algorithm and Particle Swarm optimization (case study: Alavian dam). Soil and Water Journal, 27(2): 17–29.

Faizhi H, Dashti R, Sattari M and Nouarani V, 2023. Using optimization algorithms based on learning and training in the optimization of Alavian dam reservoir in terms of environmental water rights. Water and Soil Science 33: 199-216.

Jian-Xia C, Qiang H and Yi-Min W, 2005. Genetic algorithms for optimal reservoir dispatching. Water Resources Management 19(4): 321–331. DOI:10.1007/s11269-005-3018-5

Karamouz M, Ahamdi A and Fallahi M, 2006. System engineering. Tehran: Amir Kabir Publication

Mohab Quds Consulting Engineers, 1995. Alaviyan dam operating guidelines: hydrology report. East Azarbaijan Regional Water Company, Tabriz, Iran.

Meraji SH, Afshar MH and Afshar A, 2005. Reservoir operation by particle swarm optimization algorithm. Proceedings of the 7th International Congress on Civil Engineering, Tarbiat Modares University Press,Tehran, Iran.

Moini R and Afshar M, 2007. Solving the Dez dam hydroelectric reservoir utilization problem using maximum-minimum ant algorithm. Scientific Quarterly - Civil Sharif Engineering Journal (46/1): 85-93. (in Persian with English abstract)

Nejati M, Hosseini P and Rafti A, 2019. Using genetic algorithm in the direction of location of construction workshops. The 14th conference of civil engineering students all over the country, Semnan University, Semnan, Iran. (in Persian with English abstract)

Rani D, Pant M and Jain SK, 2020. Dynamic programming integrated particle swarm optimization algorithm for reservoir operation. International Journal of System Assurance Engineering and Management. Springer 11: 515–529. DOI: 10.1007/s13198-020-00974-z

Razzaghi P, Babazadeh H and Shurian M, 2013. Development of the rationing policy for the use of the multi-purpose reservoir in the conditions Limitation of water resources using the model MODSIM 8.1. Journal of Water and Soil Resources Protection. (in Persian with English abstract)

Saberi AA and Sedaghat Shayegan D, 2021. Optimization of Haraz dam reservoir operation using CBO metaheuristic algorithm. Int J Optim Civil Eng 11(4): 599-610.

Sattari MT, Yurekli K and Pal M, 2012. Performance evaluation of artificial neural network approaches in forecasting reservoir inflow. Applied Mathematical Modeling 36: 2649–2657.

Shi Y and Eberhart R. 1998. Parameter selection in particle swarm optimization. In: Porto VW, Saravanan Nj, Waagen D and Eiben AE (eds). Evolutionary Programming 7: 611-616. https://doi.org/10.1007/BFb0040810

Sodi M, Ahmadi H, Yassi M, Sibila A and Ahmad Hamidi S, 2019. Setting the rule curve of dams using the concept of environmental flow (case study: selected rivers leading to Urmia Lake). Iran Water Resources Research, 15: 329 - 341.

Zareei M and Laleh Zari R, 2022. Efficiency of Multi-Objective Genetic Algorithm and Optimization of Particle Community in Optimal Use of Water Resources in Agriculture. Journal of Civil and Environmental Engineering of Tabriz University, 52: 163-172.